

平成 24 年度
エネルギー自立型排水浄化再利用システム
の調査研究報告書

平成25年3月

一般財団法人 エンジニアリング協会



この事業は、競輪の補助を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

本報告書は、財団法人JKAから機械工業振興資金の補助を受け、一般財団法人エンジニアリング協会が実施した平成24年度「エネルギー自立型排水浄化再利用システムの調査研究」の成果をとりまとめたものであります。

都市のヒートアイランド化防止に有効な都市緑化については、先年の工場立地法の改正や景観緑三法などの追い風を受けて、都市のあらゆる場面で緑化が提案され実施されています。路面を対象とした緑化は確実に面積を増やす必要がありますが、そのためには、緑化植物への最適灌水を少ない環境負荷で確保する必要があります。従来無駄に捨てられていたビル排水等を用いて、低コストの浄化システムを構成し、必要なエネルギーを高効率な太陽光発電システムにより供給することができれば、拡大する都市緑化需要に対応する有効な手段を提供することができるとともに、季節に関係なく浄化再利用水を用いて、しかも太陽光発電装置のエネルギーで行えることで、人間の生活域全ての緑化対象に適用可能となります。太陽光発電に関しては、日照時しか発電できないことから蓄電が大きな課題となっていますが、発電時の余剰処理水を蓄えておけばエネルギー貯蔵と同等の意義を有することになります。また、この技術を支えるリニアレンズ集光型太陽光発電装置に関しては、これら緑化技術への適用だけでなく、メガソーラ発電をはじめとする太陽光発電一般に広く応用できます。このように実用化へのニーズが極めて高い中で、上記調査研究を行いました。

当協会は、創立以来、社会・経済の変化の様相を見定めながら、エンジニアリング及びエンジニアリング産業の新しい活躍の可能性を求め、地球環境保全、資源エネルギーの有効利用、社会資本の充実、地域の活性化等幅広く社会開発型システム関連のテーマを選定し、産学連携のもと、当協会の研究開発企画委員会に技術テーマ別研究会等を設置して、調査研究を推進しております。

本事業は、この研究開発企画委員会の活動の一環として、学識経験者及び関連の専門家からなる研究会（委員長：滝沢 智 東京大学大学院 工学系研究科都市工学専攻教授）を編成し、調査研究を実施したものであります。

この事業にご協力いただいた関係各位に対し心から謝意を表するとともに、本報告書の成果が各方面で有効に活用されることを切望する次第です。

平成25年3月

一般財団法人エンジニアリング協会
理事長 久保田 隆

委員名簿

委員会

委員長	滝沢 智	東京大学 大学院 工学系研究科都市工学専攻 教授
委員	黒川 浩助	東京工業大学 ソリューション研究機構 特任教授
	横山 仁	(財)東京都環境整備公社 東京都環境科学研究所
	門田 典久	農業生産法人 (有)農友園 代表取締役社長
	坂井 剛太郎	(株)朝日興産 代表取締役社長
	苧木 新一郎	メタウォーター(株) エンジニアリング本部
		国際・新事業技術部 技術推進グループ 担当課長
	森嶋 章	(株)竹中土木 環境・エンジニアリング本部 部長
	柳橋 邦生	(株)竹中工務店 技術研究所 先端技術研究部
		エコエンジニアリング部門 マネージャー
事務局	上田 満治	(一財)エンジニアリング協会 技術部長
事務局	平野 範彰	(一財)エンジニアリング協会 研究主幹

オブザーバー

部会長	佐久間 護	(株)竹中工務店 技術研究所 主任研究員
委員	奥田 信康	(株)竹中工務店 技術研究所 グループリーダー
	高橋 幹雄	(株)竹中工務店 技術研究所 グループリーダー
	古川 靖英	(株)竹中工務店 技術研究所 研究員
	徳村 朋子	(株)竹中工務店 技術研究所 研究員
	槌尾 健	(株)竹中工務店 技術研究所 研究員
	廣渡 智晶	(株)竹中工務店 技術研究所 研究員
	關 繭果	(株)竹中工務店 技術研究所 研究員
	石瀬 俊明	元 (株)竹中工務店 技術研究所
経理担当	鶴巻 均	(株)竹中工務店 技術研究所 グループリーダー

目次

序

委員名簿

目次

はじめに	-1-
第1章 太陽光発電及び建物排水の水質と供給方法に関する実態調査	-3-
1.1 既往研究の文献調査	-3-
1.2 既施設・システムのヒアリング調査及び国内外の既開発商品の実態調査	-10-
第2章 集光型太陽光発電装置及び排水浄化装置プロトタイプに関する実験・評価 ...	-47-
2.1 一軸追尾集光型太陽光発電装置プロトタイプの性能確認実験	-47-
2.2 雨水・地下水有効利用の検討ツールの開発	-66-
2.3 排水浄化装置プロトタイプ実験	-90-
2.4 各種センサーを用いた最適灌水システムの検討	-96-
2.5 壁面緑化試験体における灌水循環利用実験	-106-
第3章 水と自然エネルギーの有効活用システムの概念設計	-123-
3.1 概要	-123-
3.2 概念設計フロー	-124-
3.3 ケーススタディ	-125-
3.4 まとめと今後の課題	-128-
おわりに	-129-

補足資料-1 水処理及び灌水技術の先端事例に関する報告書

はじめに

1) 背景

都市の温熱環境はヒートアイランド化の進行と共に都市生活弱者に苦痛を強いる状況となってきた。都市を冷やす工夫は様々な形で行われているが、緑地化を進める対策は有効と考える。屋上緑化や壁面緑化の推進はもとより、路面の緑化も積極的に進められる現状にある。植物の持つ蒸散による大気の冷却効果が期待されてのことである。植物は高温の日中は、土中から吸い上げた水分を活発な光合成活動（30%）と蒸散活動（70%）に使用する。この大量に消費される水分は、ほとんど上水が用いられている。

昨今のような夏場の高温・無降雨状態が続く気象条件において、無灌水で各種の緑化システムでの健全な植物の生育を維持するのは困難であり、何らかの形で植物に害のない水を得て、灌水する必要がある。先述したように、灌水のための水は水道水が用いられる。（中水の灌水利用は、不安定な水温と窒素過多のためほとんど行われていない）しかし、水道水は人が飲むことができるほど水質を良くするために、高度な技術とエネルギーをかけて浄化された水である。そのような水道水を各種緑化の灌水として利用すれば、緑化が環境に優しい技術とは言えず、またランニングコストとしての水道料金についても、決して小さなものではない。

植物の水要求量は植物の種類により異なるが、夏季の晴天時で $8\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ （芝地）～ $11\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ （樹木）程度である。したがって、 $10,000\text{m}^2$ の芝地では 1 日 80m^3 の灌水が必要となる。これは外構、屋上、壁面の緑地の種類にかかわらず適用される数値である。

あるスタジアムで計画される壁面緑化 $2,000\text{m}^2$ は 6 系統の灌水装置が稼働する。最も電気を使用する設備はポンプで、 $750\text{w}/\text{時間} \cdot \text{台}$ である。壁面緑化はドリップ灌水で行い、必要な面積に必要な水量を供給する。1 日当たりの電力使用量は 5kw 程度となる。

ショッピングセンターや運動競技場では、緑化面積が $10,000\text{m}^2$ を超えるものが多く、夏季の水使用量及び灌水設備の稼働電力使用量がランニングコストで事業者を悩ます状況にある。

本研究は、上記問題点を改善するために、雨水および生活排水を対象に植物灌水に適用可能な水を利用する低コストの技術とその動力源としての追尾式でリニア集光レンズを用いた高効率で低コストの太陽光発電技術を開発することにより、エネルギー自立式の排水浄化再利用システムを確立しようとするものである。

2) 目 的

本提案の目的は、都市生活を支える水需要とエネルギー需要に対する排水浄化再利用技術及びエネルギーの自立となる高効率太陽光発電技術の開発であり、局所分散型で水とエネルギーを独立で確保可能な技術を目指すものである。

建物から出る定時定量の雑排水を、ある程度の浄化処理を行った後、再度トイレ洗浄水や灌水に利用できれば環境への貢献と同時にコストの軽減にもつながる。また、雨水を灌水に利用することができれば、上水の製造コストやエネルギー削減につながる。そこで、建物からの排水の再利用技術や雨水・井水の利用可能性について検討を行うと共に、灌水装置や排水浄化装置の動力源の確保および太陽エネルギー活用の併用技術の展開を目的とする調査研究を行う。

具体的には、小型で安価な浄化装置で、雨水や雑排水及び厨房排水の中水製造（灌水及びトイレ洗浄に利用）を行う。その浄化装置及び灌水設備の動力源として、高効率で低コスト化可能なリニアレンズ集光型太陽光発電装置の可能性を実証研究する。また、この二者の組み合わせにより、拡大する緑化需要に対応する、環境負荷の少ない水と電気の供給システムを検討する。

3) 調査研究の内容

本年度の主な調査研究の内容を以下に示す。

(1) 太陽光発電及び建物排水の水質と供給方法に関する実態調査

- ① 文献調査、ヒアリングの実施
- ② 国内外の既開発商品の実態調査

(2) 集光型太陽光発電装置及び排水浄化装置プロトタイプに関する実験・評価

- ① リニアレンズ集光型太陽光発電装置プロトタイプに関する各種実験
- ② 排水浄化装置プロトタイプに関する各種実験
- ③ 各種センサーを用いた最適灌水システムの検討

(3) 水と自然エネルギーの有効活用システムの概念設計

- ① 高効率な集光型太陽光追尾発電装置と使用目的に合わせた排水浄化システムのプロトタイプ試作および緑化植物が健全に育成するための各種目標値設定と概念設計

第 1 章 太陽光発電及び建物排水の水質と供給方法に

関する実態調査

1.1 既往研究の文献調査

1.1.1 太陽光発電

太陽から地球上に 1 時間に到達する光のエネルギーは、人類が消費しているエネルギー 1 年分にも相当するといわれている。太陽光発電は世界のエネルギー需要を賄える大きな可能性を持っている。また発電量当たりの二酸化炭素排出量が少ないという点でも、地球温暖化防止に有効な技術であると考えられる。

このように太陽エネルギーは、無尽蔵であり、環境負荷が小さいというメリットを持つが、エネルギー密度が低いことや発電システムのコストが高い点がデメリットとして挙げられる。

この問題の解決策の一つとして、集光型太陽光発電システムがある。集光型太陽光発電システムとは、レンズやミラー等の集光装置を用いて、太陽光を集光し、太陽光発電セルに照射することで発電を行うことである。エネルギー密度を高めることで、使用する太陽光発電セルの量を減らすことができる。

イギリスの調査会社である IMS・リサーチ(IMS Research)の集光型太陽光発電の市場予測に関するレポート¹⁾によると、現状、全世界における集光型太陽光発電の導入量は 90 MW であるが、発電コストが下がれば導入量は 2016 年までに 1.2GW に達するという。機器コストの低減、および実績の積み上げにより導入に対するハードルが下がれば、大規模発電所の設置に限られる日本のような狭小な国においてメリットが高いものと思われる。

集光型太陽光発電システムに関しては、国内では、豊田工業大学・東京大学・産業技術総合研究所・シャープ(株)・大同特殊鋼(株)らによる研究²⁾³⁾、宮崎大学らによる研究⁴⁾⁵⁾、宇宙航空研究開発機構による研究⁶⁾、長岡科学技術大学による研究⁷⁾、津山工業高等専門学校・豊橋創造大学・大同特殊鋼(株)らによる研究⁸⁾、東京農工大学・大同メタル工業(株)らによる研究⁹⁾がある。

豊田工業大学・東京大学・産業技術総合研究所・シャープ(株)・大同特殊鋼(株)らの研究では、愛知県(あいち臨空新エネルギー実証エリア)や岡山県に導入された集光型追尾システムの発電量実績が報告されている。宮崎大学らによる研究では、各種フレネルレンズによる集光性能の比較評価や、集光型太陽電池と非集光型太陽電池の屋外発電量試験結果が報告されている。宇宙航空研究開発機構による研究では、集光型太陽光発電の太陽追尾装置に用いる太陽位置検出アルゴリズムの追尾精度に関する各種検討が行われている。長岡科学技術大学による研究では集光型太陽光発電に用いるフレネルレンズの屈折率と焦点距離に関する考察が行われている。津山工業高等専門学校・豊橋創造大学・大同特殊鋼(株)らによる研究および東京農工大学・大同メタル工業(株)らによる研究では、集光型太陽光発電システムの表面汚れと発電性能に関しての定量的評価が行われている。

このように国内においても集光型太陽光発電に関する研究は活発に行われており、将来性が有望視されている。

参考文献

- 1) IMS Research : The World Market for Concentrated PV (CPV), 2012
- 2) 田村和之(大同特殊鋼)ほか：集光型太陽光発電システムの開発，太陽/風力エネルギー講演論文集，2009
- 3) 橋本潤(産業総合研究所)ほか：集光型太陽光発電システムの開発，太陽/風力エネルギー講演論文集，2009
- 4) 岩切敏哉(宮崎大学)ほか：フレネルレンズを用いた集光型太陽光発電の検討，宮崎大学工学部紀要，2005
- 5) 柴田直樹(宮崎大学)ほか：集光型太陽電池と結晶Si太陽電池の屋外発電量比較，太陽/風力エネルギー講演論文集，2010
- 6) 木皿且人(宇宙航空研究開発機構)ほか：太陽追尾装置に用いる差分式太陽位置検出アルゴリズムの追尾精度に関する検討，太陽/風力エネルギー講演論文集，2010
- 7) 岡本和也(長岡科学技術大学)ほか：負の屈折率層を有する非結像フレネルレンズの設計，太陽/風力エネルギー講演論文集，2010
- 8) 桶真一郎(津山工業高等専門学校)ほか：集光式PVシステムの発電量に及ぼす黄砂の影響の定量的評価，太陽/風力エネルギー講演論文集，2010
- 9) 小堀大河(東京農工大学)ほか：集光式PVシステムの発電量に及ぼす黄砂の影響の定量的評価，太陽/風力エネルギー講演論文集，2011

1.1.2 建物における水有効利用の現状および課題について

1) 建物における水利用の現状

我が国においては、高度経済成長期における大都市圏を中心とした慢性的な水不足等に対処するため、水資源開発が積極的に推進された。利根川を例にとると、ダムの利水容量によって補給可能な日数は、夏期で約 40 日、冬期で約 50 日と、石油など他の資源の備蓄量ほど多くない。

最近 20 年間の全国的な渇水状況を見ると、四国地方を中心とする西日本や関東、東海地方で渇水が多発し、近年では必ずしも十分な水供給ができていない状況にある。

例えば、関東地方の年平均降水量は 1,500mm であり、日本の年平均降水量 1,700mm の約 90%に当たるが、関東地方には約 4,100 万人の多くの人々が生活しており、一人当たりの使える水の量は 1,300m³/年・人と全国平均 5,000m³/年・人の 26%しかなく、渇水が起こりやすい地域となっている。つまり、使える水が少ない割には、需要が多く、不安定なのが首都圏の水事情である。

渇水を契機として水の有効利用を進める取り組みが行われている。一度使用した水道水や下水処理水の再処理水（再生水）、雨水を水道水と比較して低レベルの水質でも使用可能な水洗トイレ用水、散水などの雑用水用途に利用される。

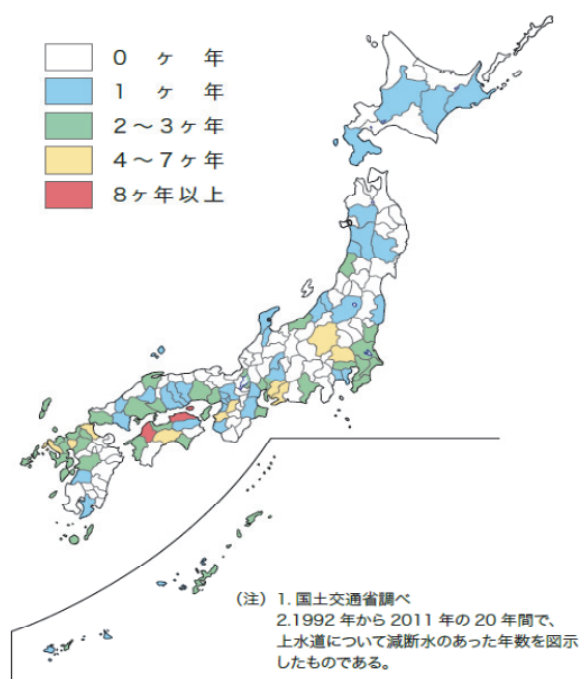
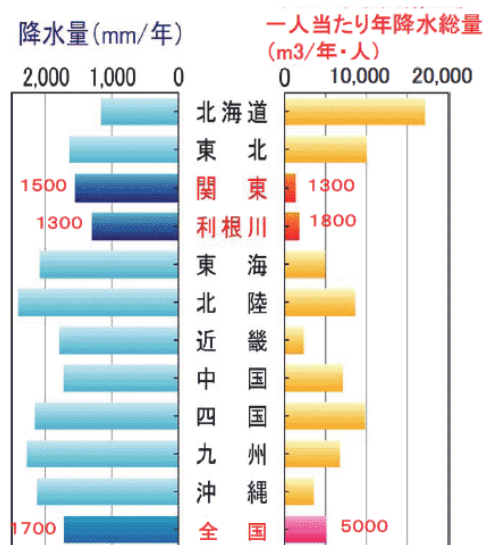


図 1.1.2-1 渇水発生状況



注) 「平成 17 年版 日本の水資源」
及び総務省データで作成
降水量は 1791 年から 2000 年、人口
及び面積は 2003 年で作成

図 1.1.2-2 地区別降水量・一人
当たりの年降水量

出典：平成 24 年版日本の水資源について、国土交通省 水管理・国土保全局 水資源部

雑用水利用は、大きく 2 つのタイプに分類される。

①排水再利用方式（再生水方式）

Ⅰ.個別循環方式：1つの建物で排水を浄化再利用する方式

Ⅱ.地区循環方式：下水処理場の処理水を広域的に供給する方式

Ⅲ.広域循環方式：下水処理場で処理された下水再生水を利用する方式

②雨水利用方式（非循環方式）

雨水を雑用水として利用する方式。①排水再利用方式と併用する場合もある。

雑用水利用の効果としては、水道使用量の減少・水需給逼迫地域における需給ギャップの緩和、節水意識の向上、渇水に強い社会の形成、汚水減少による水域環境の向上などが挙げられる。

2) 全国の雑用水利用施設の現状

雑用水を有効利用する施設は、平成 20 年度末現在全国で約 3,400 施設の導入実績がある。1970 年以降年間導入施設数も増加傾向が見られ、今後も導入施設は増加し続けると考えられる。

地域別に見ると、関東臨海および北九州で全国の約 6 割（1,985 施設）を占めており、特に昭和 50 年代から自治体で利用を推進し、地区循環方式の整備等も進んでいる東京都と福岡県で全国の約 4 割（1,323 施設）の実績がある。

用途別では、01.事務所ビル（915 施設,28%）、02.会館・ホール（319 施設,10%）、03.学校（697 施設,21%）の 3 用途で全数の約 6 割の導入実績がある。その他で多いのは 04.医療・福祉機関（212 施設,6%）、11.工場（115 施設,3%）、公園・緑地・運動場・ゴルフ場（178 施設,5%）、16.水処理関連施設（119 施設,4%）であった。

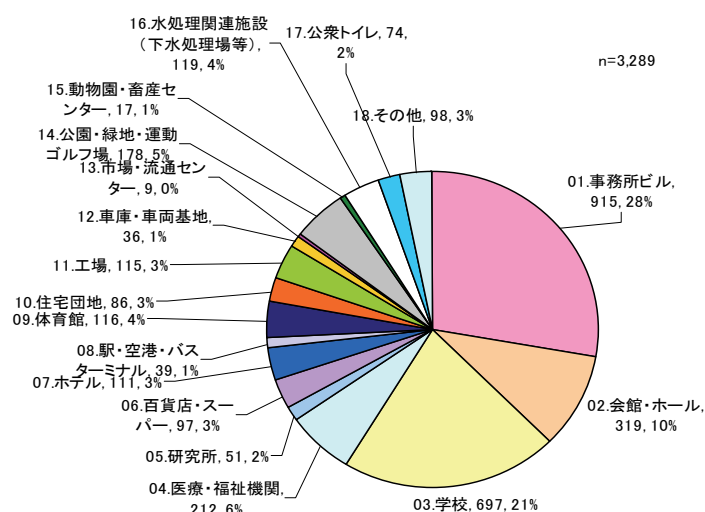


図 1.1.2-3 建物用途毎の雑用水利用設備の導入件数

出典：国土交通省 土地・水資源局水資源部「雨水・再生水利用の現状」

方式別の導入実績を見ると、雨水利用方式（非循環方式）は平成5年あたりから急激に導入施設が増えている。一方、個別循環・地区循環・広域循環などの排水再利用方式（再生水方式）の採用件数の伸びは少ない。

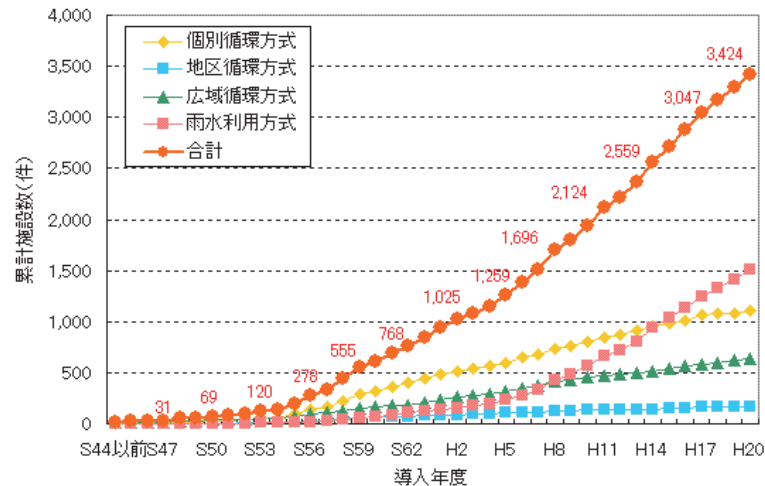


図 1.1.2-4 利用方式別雨水・再生水利用施設数の推移

出典：国土交通省 土地・水資源局水資源部「雨水・再生水利用プラットフォーム」

3) 雨水利用・排水再利用方式の普及の課題

近年は、排水再利用方式よりも雨水利用方式が採用されている。排水再利用方式の普及を阻む原因としては、費用・水質・スペース確保等の課題がある。

建物から生じる排水は水質および水量の変動が大きく、確実に安定的に処理する必要があるため最大排水量に合わせ処理装置容量を決定することになり、施設設置費（インシヤルコスト）が高い。

また、雨水に比べ建物排水は水質が悪く、浄化装置の性能も必然的に高いレベルが要求されると共に、メンテナンスも煩雑となるためランニングコストも割高になる。図 1.1.2-5 に、排水再利用施設の規模別の雑用水利用コストと上下水道料金の関係を示す。雑用水利用コストは、インシヤルコストとランニングコストを含んだものである。水使用量が小さい場合は、雑用水利用コストは、上下水道料金に比べ割高である。水量規模が増加すると低減し、一日当たりの水使用量が $100\text{m}^3/\text{日}$ を超えるあたりで同程度となっている。

以上より、排水再利用方式を普及するには、インシヤルコストを含めたライフサイクルコストで有利となる程度の規模が必要となる。

一方、雨水利用方式は、建物排水に比べ雨水の水質が良好であり、簡易な処理により雑用水用途に使用できるため、排水再利用方式と比べてインシヤルコストを低く抑えられ、少ない水使用量であってライフサイクルコストで上下水道料金よりも有利になる。しかし、降水量の季節・年変動が大きく年間を通じて安定的に水量を確保することが困難である。変動する雨水をできるだけ利用するためには、水使用量に対して過剰な貯留水槽容量が必要となるため、施設状況・用途・地域に応じた降雨集水設備の最適化を図る必要がある。

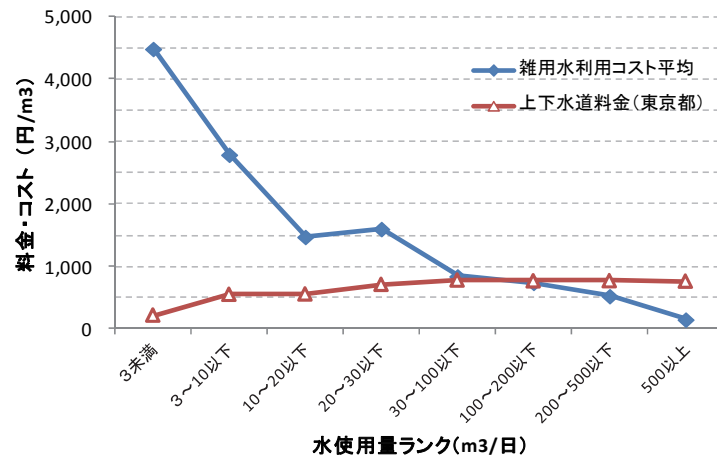


図 1.1.2-5 雑用水利用コストと上下水道料金

出典：平成 19 年版 日本の水資源 国土交通省水資源部

4) 文献調査から明らかになった排水を含む雑用水利用推進上の課題と本研究の方向性
文献調査より、当初の目的である個々の施設における排水浄化再利用(除害施設を設置する個別循環方式)は水質・水量の安定供給や施設設置のインシヤルコストの面から実現性は限定的であり、社会的に見ても雨水利用施設の普及が拡大している傾向が窺えた。文献調査の結果を踏まえた、雑用水を建物で利用する際の水源別の比較検討結果の表を表 1.1.2-1 に示す。

表 1.1.2-1 雑用水を建物で利用する際の、水源別の比較表

雑用水水源	上水道	広域循環 地区循環	個別循環 (除外施設)	雨水利用	地下水
Q: 水質	◎ 飲用	○ 良好	▲ 雑排水を処理	○ 良好	▲~○ 立地影響
C: 調達費	▲ 高	○ 中	▲ 施設設置	◎ 低	○ 井戸設置
D: 実現性	◎	× 地区限定	▲ 限定的	○ 集水面積	▲~○ 立地影響
S: 法規制	◎	○	▲	○	▲ 揚水規制
E: 環境負荷	▲	○	○	◎	▲~○ 地盤沈下
総合評価	22点	16点	12点	24点	12~18点
雑用水利用の留意点	水源水量が少ないときに、補給水として活用	活用可能な場合は、積極的に使用したい	雑排水・厨房排水の処理に高コストな施設が必要	簡易な処理で使用でき、洪水対策にも貢献	自治体に事前届け出の必要あり

以上の文献調査・検討結果より本研究の方向性としては、建物の水利用では雨水利用を第一に考え、地域での排水再利用システムが整っている地域では広域循環・地区循環を利用し、良質かつ安定的な水源が見込める地域では地下水の利用を推進すべきであると考えた。個々の施設で再利用施設を設置する排水浄化再利用は、あくまで雨水利用等の補助的な位置付けとして考え、トータルでの建物の水利用の最適化を図るべきであるとの結論に至った。

雨水利用を促進する上での現状の課題としては、雨量の期間変動が大きいためどうしても過大な雨水貯留槽が必要であること、およびそのために雨水貯留槽の平均利用率が低いことが挙げられる。本研究では、これらの課題を解決するために以下のアプローチを行った。

step1: 文献調査・アンケート調査による既存施設の実態の把握

step2: 個々の施設における井水・排水等も含めた建物全体の水収支を最適化するためのシミュレーションツールの作成

step3: 上記シミュレーションツールを用いたケーススタディを実施し、自律型緑化システムに適した水利用条件を検討

< 参考文献・URL（平成 25 年 2 月 28 日時点） >

- ・国土交通省資料「雑用水利用の現状と課題」

<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/07study/documents/05/doc03.pdf>

- ・国土交通省 土地・水資源局水資源部「雨水・再生水利用プラットフォーム」

http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/g_resources/index_usuisaiseisuiiriyo.html

- ・国土交通省 土地・水資源局水資源部「雨水・再生水利用の現状」

<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/zatsuyousui/genjou.html>

1.2 既施設・システムのヒアリング調査及び国内外の既開発商品の実態調査

1.2.1 太陽光発電

太陽光発電の基盤技術である太陽光発電素子はシリコン結晶系をはじめ、薄膜系、化合物系など幾つかの方式で製造コスト、発電効率の面で発展を遂げている。

この中で広い波長帯の光を吸収する多接合型の太陽光発電素子は次世代の太陽光発電システムとして期待されている。このタイプの太陽光発電素子は最近では発電効率が 43.5% にも達しているが、コストが非常に高いため、発電システムとしては、レンズで集光し太陽光発電セルの所要面積を出来るだけ少なくする方式が追求されている。

今回のテーマとの関連が深いこの集光型太陽光発電について調査した。

1) 集光率と発電効率

太陽光発電は太陽光エネルギーを電力に変換するものなので、発電効率が重要なポイントとなる。図 1.2.1-1 に各種タイプの太陽光発電セルの発電効率を示す。集光型に用いる多接合型セルは、他のタイプと比較して格段に高い発電効率を示す。しかしながら、このタイプのセルはコストが高いため、レンズ集光によりセル所要面積の大幅削減が必要となる。

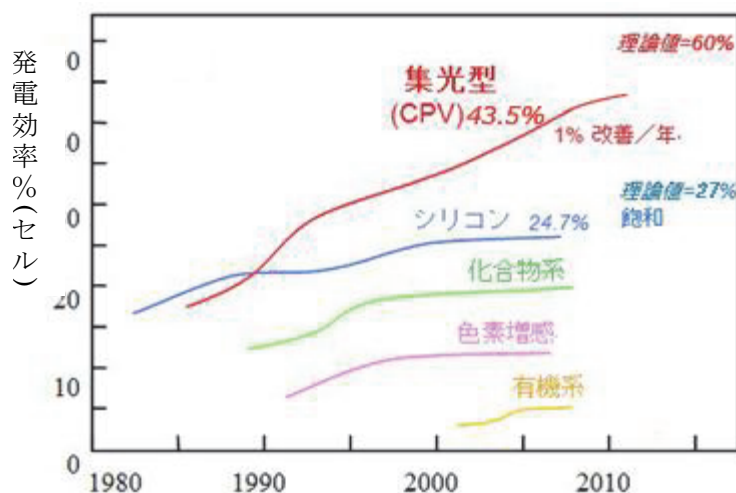


図 1.2.1-1 各種セルの発電効率の年次変化

出展：大同特殊鋼㈱HP

一般にレンズで集光することによって発電効率は増加する。代表的な太陽光発電素子の発電効率と集光率の関係はシャープの高本等によれば図 1.2.1-2 のようになる。

集光率が 100 倍を超えると電流密度が非常に高くなるので、電気を取り出す導体の抵抗による損失が問題となってくるが、導線の配線パターン工夫などによってかなり解決されているとのことである。このため 3 接合タイプでは集光によって 25% 程度の効率 UP が可能となっている。このことから、集光型太陽光発電は使用する太陽光発電セルそのものの高発電効率以上の効率が期待できる。また集光率が 30~40 倍程度までは各セルタイプとも発電効率の低下は少ないことが確認できる。

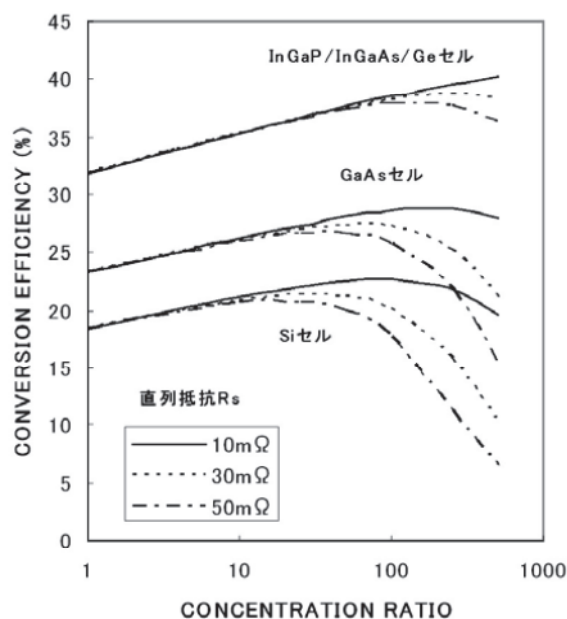


図 1.2.1-2 集光率と発電効率

出典：高本達也、兼岩 実 集光型化合物太陽電池シャープ技報 2005.12

2) 集光方法

集光方法は大きく分けて、図 1.2.1-3 に示すようにレンズによるものと、凹面鏡によるものがある。コストや集光面積の有効利用の観点から、現時点ではレンズによる集光方式が主流となっている。

太陽光発電セルのコストが高価であることや、集光率が高い程発電効率が上昇することから、大型レンズを使うことが有利になる。また焦点距離が短いほど太陽追尾が容易になるため、フレネルレンズを使うのが一般的である。

集光型太陽光発電システムでは、レンズ集光するので太陽光発電セル位置に結像するが、セル面での光の強度分布が不均一になることや、太陽追尾精度により結像位置がセル面から外れ、集光率が低下することを防ぐために、図 1.2.1-3 に示すようなロッドレンズが使用されることが多い。

このロッドレンズに関しては製造方法が確立し、量産可能な状況にあるとのことである。

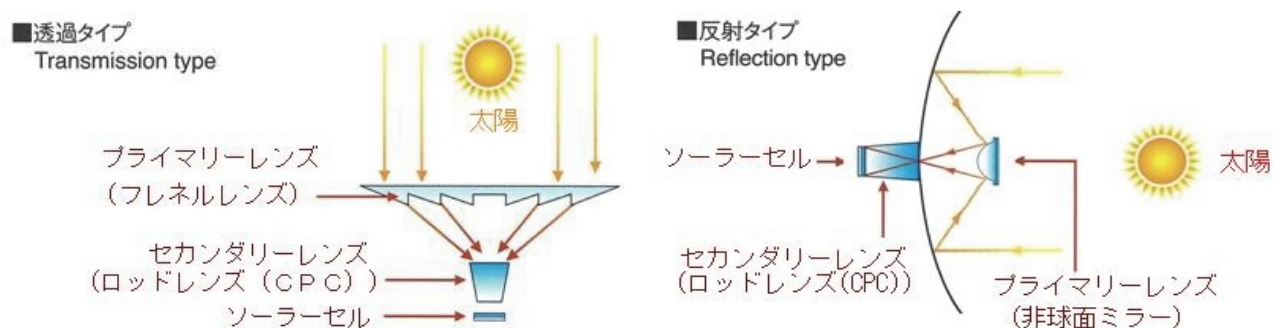


図 1.2.1-3 主な集光方法

出典：五鈴精工硝子(株)HP

3) 集光型太陽光発電の適合地

通常の太陽光発電の発電量は全天日射量に比例するが、集光型の場合、直達日射のみを結像させて発電に利用するため、直達日射のみが有効になる。日本国内においては多くの地点で全天日射量に占める直達日射量の割合は50%程度である。コストを同等に引き下げたとしても同じ太陽追尾で比較した場合、日本国内で適用するためには集光型では発電効率を通常型の2倍以上に高める必要があると考えられる。

集光型太陽光発電は直達日射の多いサンベルト地帯が有利であるとされている。サンベルトにはアメリカ南西部、南スペイン、中東、北アフリカ、オーストラリアなど電力需要が見込まれる広大な地域があり、将来、集光型太陽光発電システムが普及する可能性を有している。

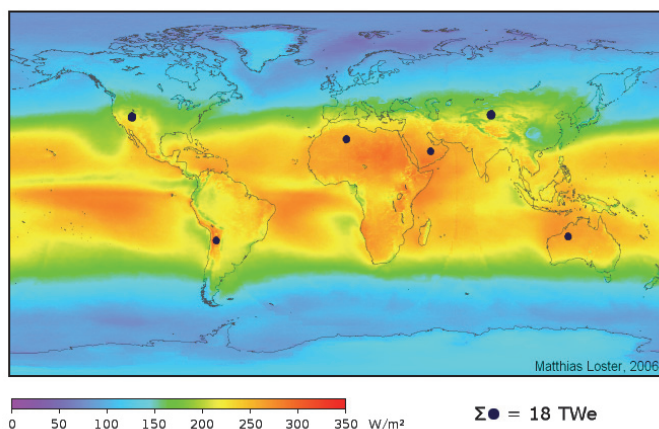


図 1.2.1-4 世界のサンベルト地帯

出典:File:Map_of_USA_highlighting_Sun_Belt.png

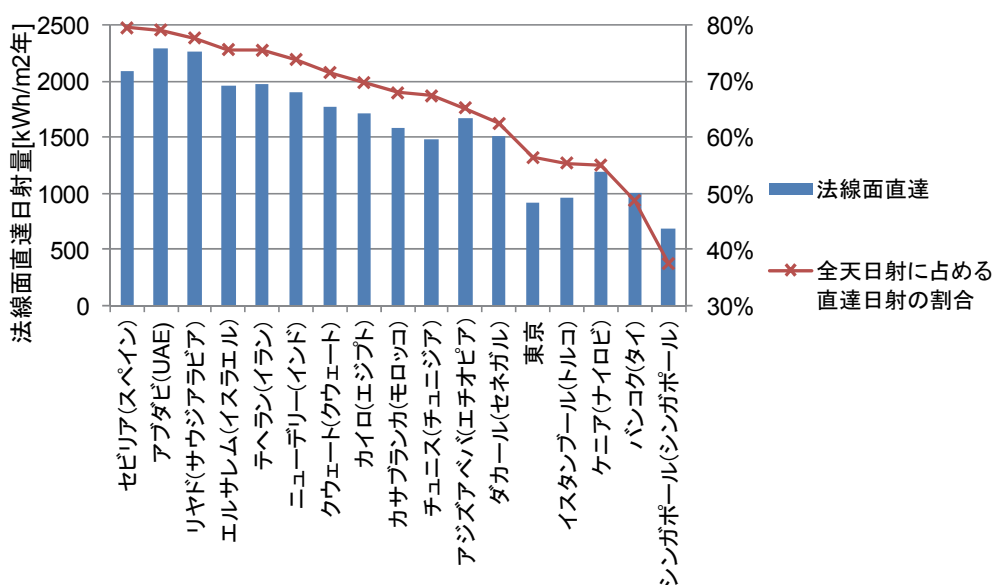


図 1.2.1-5 世界の各地域における直達日射量

図 1.2.1-5 はサンベルト地帯を中心に、世界の各地域における年積算直達日射量および全天日射に占める直達日射の割合を示したものである。スペイン、UAE、サウジアラビアの各都市においては全天日射のうち、8割近くを直達日射が占めており、集光型太陽光発電システムを導入するのに有利な日照条件となっていることが確認できる。

4) 集光型太陽光発電の実施例

日本国内では大同特殊鋼㈱が集光型太陽光発電システム開発の先頭を走っており、幾つかのサイトにおいて実用発電を行っている。そのうちの代表的サイトは資源エネルギー庁の補助金で設けられた愛知県常滑市の「あいち臨空新エネルギー実証研究エリア」で、1基当たり 5kW の集光型太陽光発電装置が 6 基設置されている。

ここで得られた電力は中部国際空港と常滑市の下水処理を担っている常滑浄化センターへ特定供給され、快晴日には電力使用量の約 1 割を賄っているとのことである。

あいち臨空新エネルギー実証研究エリアの集光型太陽光発電装置の設置状況と受光パネル駆動部を写真 1.2.1-1、写真 1.2.1-2 に示す。



写真 1.2.1-1 集光型太陽光発電装置の設置状況



写真 1.2.1-2 集光型太陽光発電装置の駆動装置

1.2.2 中水利用に関する既存施設のアンケート調査と文献調査、および既存の水利用シミュレーションツールに関する調査

本項は「1.1.2 建物排水を含む雑用水の定義と現状、およびその水質と供給方法について」で定めた研究の方針に従い、第一に既存施設の水利用の実態を文献と郵送のアンケートを用いて調査した結果を記す。加えて、その後既存の水利用シミュレーションツールについて調査した結果を記す。

1) 文献調査の概要

本調査は既存施設の実態を調べるため、文献に記載されている調査事例を中心に調査を行った。文献調査の結果、13 施設の水利用の実態についてデータを得た。その施設概要を表 1.2.2-1 に示す。施設について地域別に見ると、東京都 9 施設、神奈川県 2 施設、千葉県 1 施設と主に首都圏の施設が多く、他の地域は愛知県 1 施設の 1 施設のみであった(表 1.2.2-2)。同様に用途別に見ると、オフィスビルが 4 施設、大規模集客施設(競技場)が 1 施設、ホテルが 1 施設、用途複合施設が 2 施設、その他学校や工場等が 5 施設であった(表 1.2.2-3)。水利用の形態ごとに見ると、個別循環施設が 5 施設(内 4 施設は雨水利用との併用)、広域循環施設が 2 施設、雨水利用が 6 施設(内 1 施設が井水利用との併用)であった(表 1.2.2-4)。

次に、それぞれの施設の水利用のデータを表 1.2.2-5 に示す。本調査では、上水利用水量($\text{m}^3/\text{年}$)・上水補給水量($\text{m}^3/\text{年}$)・再生水利用水量($\text{m}^3/\text{年}$)・雨水集水面積(m^2)・雨水貯留槽容量(m^3)・雨水利用水量($\text{m}^3/\text{年}$)・混合水利用水量($\text{m}^3/\text{年}$)・雑用水貯水槽容量(m^3)の 9 項目について調査した。

表 1.2.2-1 文献調査でデータを得られた施設の施設概要

施設名	a	b	c	d	e	f	g
所在地	東京都	東京都	東京都	神奈川県	千葉県	東京都	東京都
用途	オフィスビル	オフィスビル	オフィスビル	オフィスビル	競技場	ホテル	用途複合施設
再生水利用方式	個別循環雨水利用	個別循環雨水利用	広域循環	雨水利用	雨水利用	個別循環	個別循環雨水利用
敷地面積 (㎡)	27,375	4,992	21,102	29,530	25,646	69,200	21,820
延床面積 (㎡)	145,076	58,500	141,825	22,461	7,018	291,000	296,724
竣工年 (年)	1996	2007	1996	1996	2005	1991	1994

施設名	h	i	j	k	l	m
所在地	神奈川県	愛知県	東京都	東京都	東京都	東京都
用途	用途複合施設	工場	学校	学校	ホール	学校
再生水利用方式	広域循環	個別循環雨水利用	雨水利用	雨水利用	雨水利用	雨水利用井水利用
敷地面積 (㎡)	17,400	116,000	4,674	17,826	7,087	74,679
延床面積 (㎡)	88,372	146,000	16,485	31,922	18,232	17,133
竣工年 (年)	2008	1998	2003	2005	1993	2004

表 1.2.2-2 所在地毎の調査施設数

所在地	東京都	神奈川県	千葉県	愛知県	合計
施設数	9	2	1	1	13

表 1.2.2-3 用途毎の調査施設数

用途	オフィスビル	大規模集客施設	ホテル	用途複合施設	その他	合計
施設数	4	1	1	2	5	13

表 1.2.2-4 水利用システム毎の調査施設数

水利用システム	個別循環	個別循環・雨水併用	広域循環	雨水利用	雨水・井水併用	合計
施設数	1	4	2	5	1	13

表 1.2.2-5 文献調査で得られた施設の水利用データ

水利用 区分	施設名	a	b	c	d	e	f	g
上水	利用水量 (m ³ /年)	70,230	43,297	90,889	3,672	3,530	799,812	245,885
	上水補給水量 (m ³ /年)	14,226	9,800	0	900	120	36,000	0
再生水	利用水量 (m ³ /年)	—	4,700	44,116	—	—	219,000	345,082
雨水	集水面積 (m ²)	26,400	430	—	4,181	339	—	26,047
	雨水貯水槽容量 (m ³)	4,950	270	—	420	21	—	75
	利用水量 (m ³ /年)	43,586	4,000	—	7,773	240	—	12,910
混合水 (合計)	雑用水利用水量 (m ³ /年)	175,102	18,500	69,410	8,673	360	255,000	230,908
	雑用水貯水槽容量 (m ³)	512	160	360	45	50	930	976

※雨水は冷熱供給会社へ提供
※余剰再生水は地区内へ供給

水利用 区分	施設名	h	i	j	k	l	m
上水	利用水量 (m ³ /年)	132,000	92,792	14,010	4,970	4,010	6,404
	上水補給水量 (m ³ /年)	960	56,395	不明	869	6,893	2,710
再生水	利用水量 (m ³ /年)	120,000	16,254	—	—	—	—
雨水	集水面積 (m ²)	—	116,085	1,443	4,220	6,693	4,405
	雨水貯水槽容量 (m ³)	—	150	90	62	1,454	201
	利用水量 (m ³ /年)	—	16,254	2,735	2,144	9,915	3,306
混合水 (合計)	雑用水利用水量 (m ³ /年)	不明	72,648	不明	3,013	15,651	6,016
	雑用水貯水槽容量 (m ³)	391	150	60	25	452	79

※雨水貯水槽はなく、再生中水槽に直結

※補給水は井水

2) 文献調査の結果

(1) 水道使用量の実態について

各施設の年間使用量と延床面積およびその比率（ $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）を表 1.2.2-6、図 1.2.2-1 に示す。水道使用量は $3,672 \sim 799,812 \text{ m}^3/\text{年}$ 、比率は最小 $0.16 \sim 2.75 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ の範囲であった。

表 1.2.2-6 各施設の水道年間使用量と延床面積およびその比率

用途	オフィスビル				競技場	ホテル	用途複合施設	
施設名	a	b	c	d	e	f	g	h
年間使用量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	70,230	43,297	90,889	3,672	3,530	799,812	245,885	132,000
延床面積 (m^2)	145,076	58,500	141,825	22,461	10,344	291,000	269,724	88,372
使用量比率 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)	0.48	0.74	0.64	0.16	0.34	2.75	0.91	1.49

用途	その他施設				
施設名	i	j	k	l	m
年間使用量 ($\text{m}^3/\text{年}$)	92,792	14,010	4,970	4,010	6,404
延床面積 (m^2)	146,000	16,485	31,922	18,232	17,133
使用量比率 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)	0.64	0.85	0.16	0.22	0.37

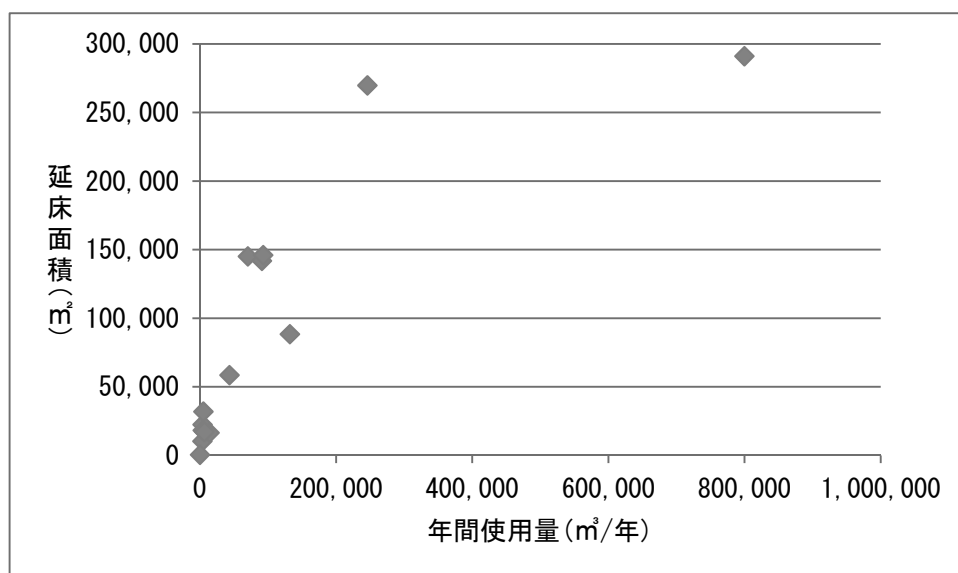


図 1.2.2-1 各施設の水道水の年間使用量と延床面積の関係

(2) 雨水・井水・中水の利用の内訳および割合について

雨水・井水・中水の利用内訳を表 1.2.2-7 に、利用割合を図 1.2.2-2 に示す。

表 1.2.2-7 雨水・井水・中水の利用内訳

施設名	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m
上水使用量 (m ³ /年)	62%	83%	67%	32%	94%	79%	41%	52%	74%	84%	70%	29%	52%
雨水使用量 (m ³ /年)	38%	8%		68%	6%		2%		13%	16%	30%	71%	27%
井水使用量 (m ³ /年)													22%
再生水使用量 (m ³ /年)		9%	33%			21%	57%	48%	13%				

※空欄は 0%

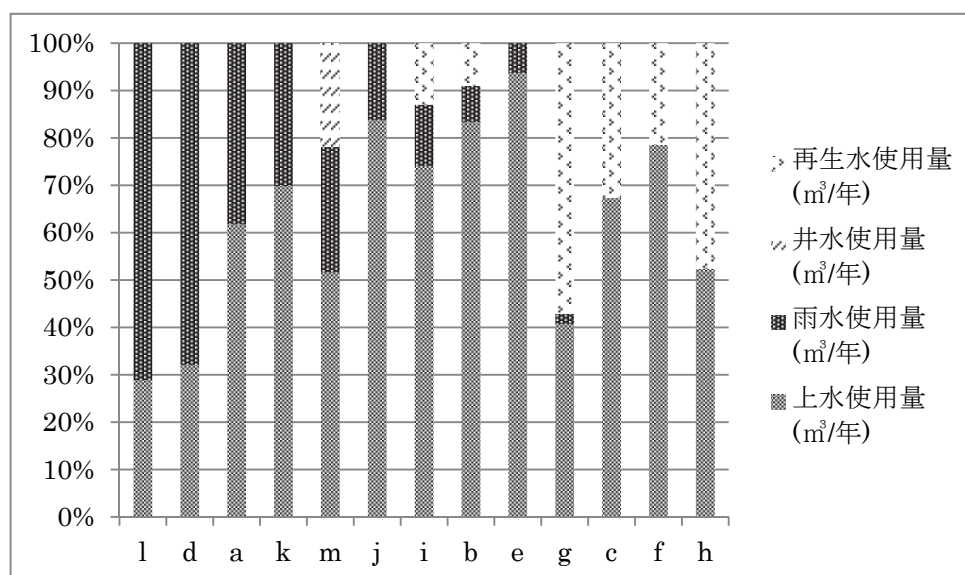


図 1.2.2-2 雨水利用割合順に並べた各施設の雨水・井水・再生水利用の割合

(3) 雨水の集水面積と貯水槽について

雨水使用量($\text{m}^3/\text{年}$)と各施設の集水面積(m^2)と雨水貯水槽容量(m^3)との関係を図 1.2.2-3、図 1.2.2-4 に示す。雨水集水面積は 339~116,085 m^2 まで、雨水貯水槽容量は 21~4,950 m^3 の範囲であった。

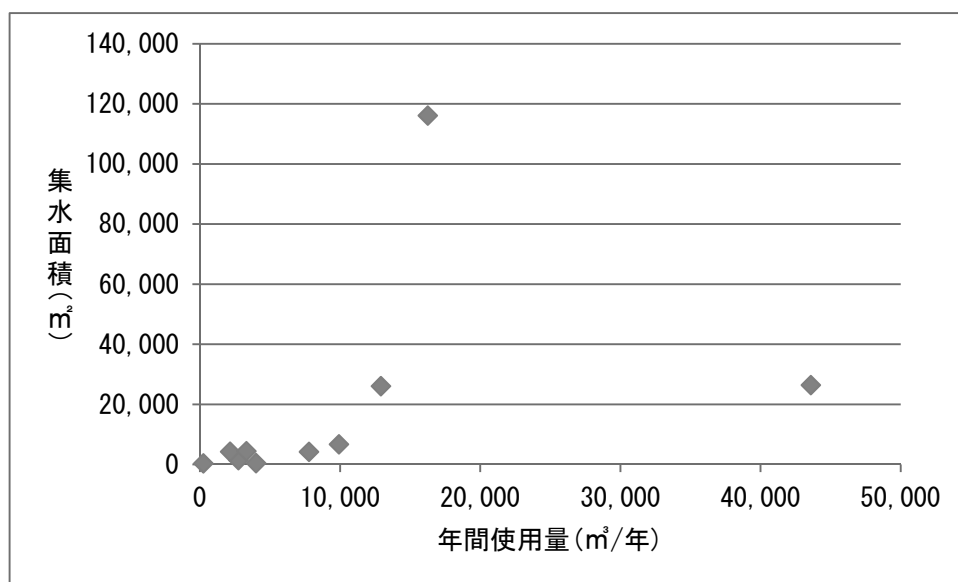


図 1.2.2-3 各施設の雨水集水面積と雨水使用量の関係

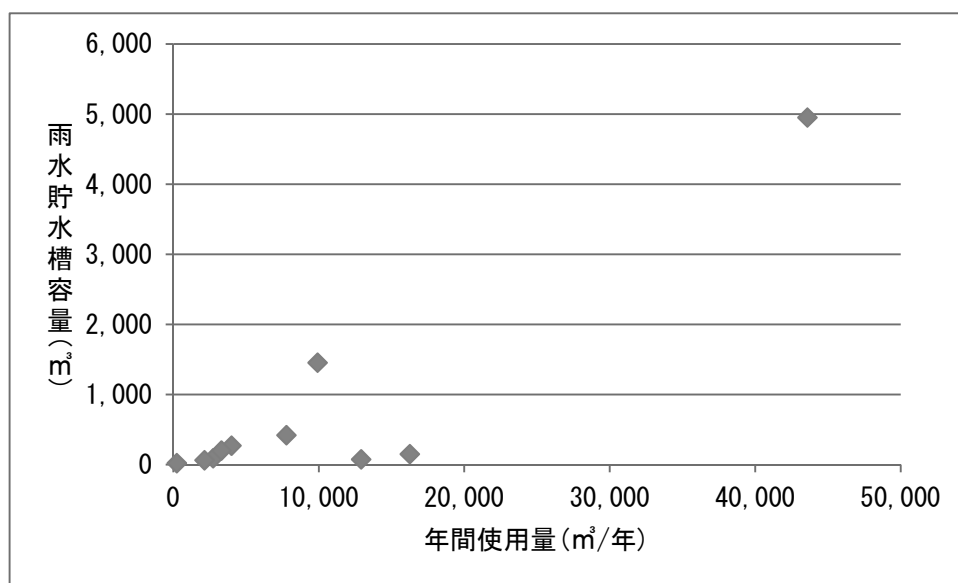


図 1.2.2-4 各施設の雨水貯水槽容量と雨水使用量の関係

(4) まとめ

以上の結果から、水利用の最適化を図るツールを検討していく上で、不足しているデータとして、貯水槽の水量が減ったときに上水補給を開始・停止する水位設定の実態、井水利用の実態、雨水・井水・再生水等の利用方法の詳細等について更に情報収集を行う必要があると考えられた。また、より広域の実態について情報収集することと、サンプルを増やして情報の精度を高める必要もあると考えられた。以上を目的として、次項のアンケート調査を行った。

3) アンケート調査の概要

本調査は、中水利用の実績があると思われる全国の様々な用途の 37 施設を選定し、電話での調査依頼の後、郵送にて行った。郵送したアンケートを本頁の後に別紙①として添付する。また、アンケートを送付した施設の内訳と返送施設数を表 1.2.2-8 に、アンケートを送付した地域の内訳を表 1.2.2-9 に示す。返送施設数は 37 施設中 22 施設、返送率は 59.4%であった。

表 1.2.2-8 アンケートを送付した施設の用途の内訳と返送数

	オフィスビル	住宅	商業施設	大規模 集客施設	ホテル・ 式場	病院・ 研究施設	用途複合 施設	その他 施設	合計
郵送施設数	7	3	4	9	3	4	3	4	37
返送数	5	0	2	7	1	2	2	3	22

表 1.2.2-9 アンケートを送付した地域の内訳

	北海道	関東	中部	関西	中国	九州	合計
郵送施設数	1	22	2	6	1	5	37
返送数	1	12	2	2	1	4	22

4) アンケート調査の結果

(1) 水道水の使用状況について

各施設の水道水の年間使用量($\text{m}^3/\text{年}$)と延床面積(m^2)、および使用量と延床面積の比率($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)を表 1.2.2-10 に、各施設の水道使用量と延床面積の関係を図 1.2.2-5 に示す。同じ用途の施設や延床面積が同規模の施設でも水道水の使用量や建築面積との比率には差があった。文献調査では水道水使用量と延床面積の比率は $0.16 \sim 2.75$ ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) であったが、アンケート調査の結果では $0.18 \sim 59.46$ ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) とより比率が大きい施設も存在する実態が分かった。

表 1.2.2-10 各施設の水道水の年間使用量と延床面積およびその比率

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
年間使用量 (㎡/年)	110,426	41,593	4,730	62,975	616,018	193,500	697,851
延床面積 (㎡)	59,563	75,609	14,300	44,344	25,294	265,869	243,800
使用量比率 (㎡/㎡・年)	1.85	0.55	0.33	1.42	24.35	0.73	2.86

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
年間使用量 (㎡/年)	22,262	10,976	151,176	32,287	34,807	53,140	11,886
延床面積 (㎡)	39,524	60,863	116,463	98,232	86,000	不明	不明
使用量比率 (㎡/㎡・年)	0.56	0.18	1.30	0.33	0.40	-	-

用途	ホテル	病院・研究所		用途複合施設		その他		
施設名	O	P	Q	R	S	T	U	V
年間使用量 (㎡/年)	202,716	152,347	101,846	202,668	44,110	5,262	184,170	15,698
延床面積 (㎡)	138,000	2,562	40,623	251,940	97,403	5,033	31,417	68,879
使用量比率 (㎡/㎡・年)	1.47	59.46	2.51	0.80	0.45	1.05	5.86	0.23

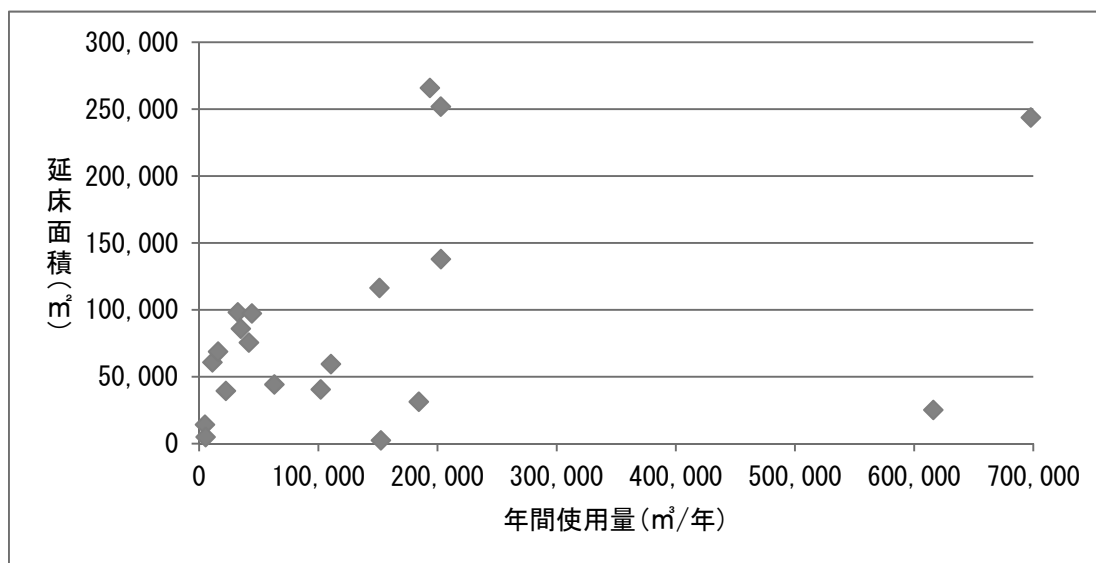


図 1.2.2-5 各施設の水道使用量と延床面積の関係
(延床面積が不明な施設 M と N は除く)

(2) 雨水・中水の利用実態について

各施設の雨水・中水の利用実態を表 1.2.2-11 に示す。全 22 施設のうち、雨水利用施設は 11 施設、井水利用施設は 6 施設、中水利用施設は 11 施設、不使用施設は 3 施設であった。また、雨水と中水を併用している施設が 7 施設、雨水・井水・中水を併用している施設が 1 施設あった。

表 1.2.2-11 雨水・中水の利用実態

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
雨水利用		○		○			
井戸水利用			○			○	
中水利用	○(個別)	○		○(個別)			○
その他							
不使用					○		

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
雨水利用	○	○	○		○		
井戸水利用				○			
中水利用			○(個別)			○	
その他							
不使用							○

用途	ホテル	病院・研究所		用途複合施設		その他			合計
施設名	O	P	Q	R	S	T	U	V	
雨水利用				○	○	○	○	○	11
井戸水利用	○	○		○					6
中水利用	○(個別)			○(個別・広域)	○(個別・広域)	○(広域)		○	11
その他				○					1
不使用			○						3

(3) 雨水・井水・中水の利用の内訳および割合について

雨水・井水・中水の利用内訳を表 1.2.2-12 に、利用割合を図 1.2.2-6 に示す。オフィスビル C、大規模集客施設 H、I、K、M のように全使用水量に対する上水利用の割合が低い施設もあれば、オフィスビル D、商業施設 G、その他 U のように 80%以上を上水に頼っている施設や、オフィスビル E や大規模集客施設 N、病院・研究所 Q のように上水以外を全く利用していない施設もある。

表 1.2.2-12 雨水・井水・中水の利用比率

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
上水使用量 (m ³ /年)	60%	65%	36%	81%	100%	100%	92%
雨水使用量 (m ³ /年)		15%		6%			
井水使用量 (m ³ /年)			64%			不明	
中水使用量 (m ³ /年)	40%	20%		13%			8%

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
上水使用量 (m ³ /年)	39%	26%	75%	27%	74%	100%	100%
雨水使用量 (m ³ /年)	61%	74%	15%		26%		
井水使用量 (m ³ /年)				73%			
中水使用量 (m ³ /年)			11%				

用途	ホテル	病院・研究所		用途複合施設		その他		
施設名	O	P	Q	R	S	T	U	V
上水使用量 (m ³ /年)	68%	86%	100%	72%	57%	63%	97%	47%
雨水使用量 (m ³ /年)				6%	4%	不明	3%	39%
井水使用量 (m ³ /年)	6%	14%		5%	21%			
中水使用量 (m ³ /年)	27%			16%	18%	37%		14%

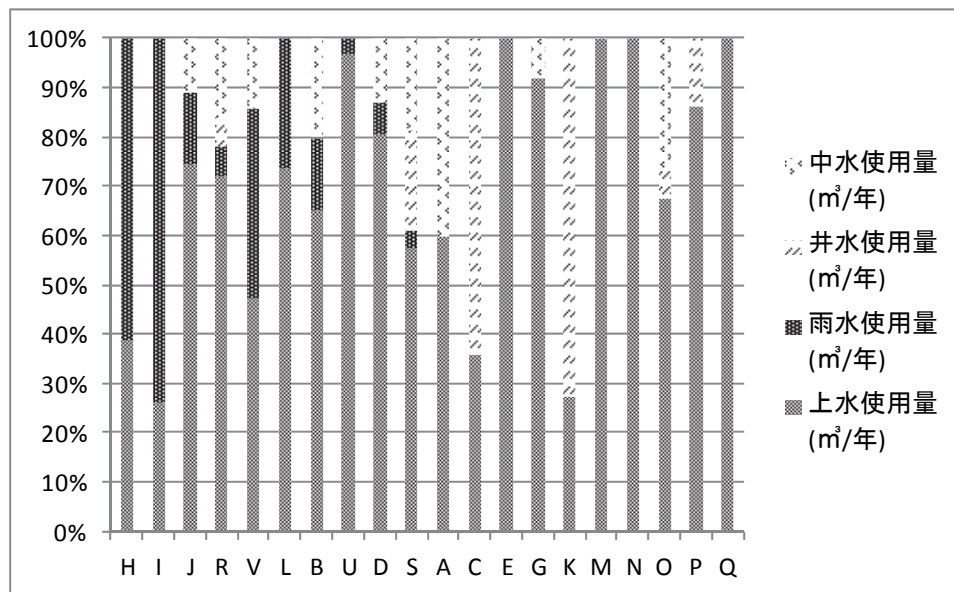


図 1.2.2-6 雨水利用割合順に並べた、雨水・井水・中水の利用割合
(井水・雨水の利用量が不明の商業施設 F とその他 T は図から除外)

(4) 貯水槽の容量・材質について

雨水貯水槽の容量の調査結果を表 1.2.2-13 に、各施設の雨水貯水槽容量(m³)と雨水使用量(m³/年)の関係を図 1.2.2-7 に、雨水貯水槽の材質の調査結果を表 1.2.2-14 に示す。貯水槽の容量は 200～3,250 m³ の範囲であった。また、大規模施設では貯水槽の材質はコンクリート製のピットが 17 施設と主流であり、FRP 製タンク等の 3 施設と少数であった。

表-1.2.2-13 各施設の貯水槽の容量

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
貯水槽容量(m³)	200	200	42	290	0	500	1,900

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
貯水槽容量(m³)	1,300	3,250	420	400	700	0	0

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設		その他			
施設名	O	P	Q	R	S	T	U	V
貯水槽容量(m³)	204	0	104	1,291	750	2,900	371	200

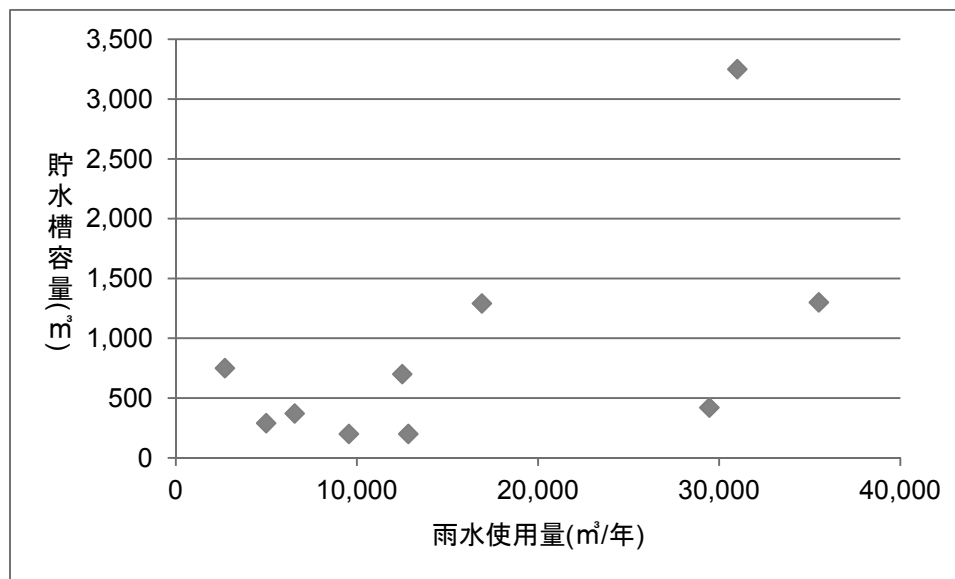


図 1.2.2-7 各施設の雨水貯水槽容量と雨水使用量の関係

表 1.2.2-14 貯水槽の材質

用途	オフィスビル					商業施設		大規模集客施設						
施設名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
CON製ピット	○	○	○	○		○	○	○	○		○		○	
FRP製タンク										○		○	○	
樹脂製タンク														
その他														
わからない														

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設		その他			合計
施設名	O	P	Q	R	S	T	V	
CON製ピット	○		○	○	○	○	○	17
FRP製タンク								3
樹脂製タンク								0
その他								0
わからない								0

(5) 上水補給システムの実態について

貯水槽への上水補給システムに関するアンケート結果を表 1.2.2-15 に示す。一定水位以下になると水道水を自動で補給する施設が 9 施設と最も多いが、一方で補給を一切行わない施設も 5 施設あった。手動管理と思われる適宜給水を行っている施設は 3 施設と少なかった。雑用水を補給するシステムを採用している施設は 3 施設であった。一定水位以下で水道水を補給する施設における、給水が開始される水量は施設によって 0～75%の範囲であった。

表 1.2.2-15 上水補給システムの実態

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
一定水位以下で水道水補給	○ (48%)	○ (75%)		○			
適宜水道水補給							
その他雑用水補給			○			○ (井水補給)	
補給しない							○

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
一定水位以下で水道水補給	○	○ (34%)			○		
適宜水道水補給				○ (需要過多)		○	
その他雑用水補給							
補給しない			○				

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設		その他			合計	
施設名	O	P	Q	R	S	T	U		V
一定水位以下で水道水補給	○			○ (雨0%中50%)				○ (20%)	9
適宜水道水補給									2
その他雑用水補給						○ (雨水補給)			3
補給しない			○		○		○		5

※雨水貯留槽は0%で上水補給開始、中水貯留槽では50%で上水補給開始を示す

(6) 雨水の集水面積について

雨水の集水場所、および面積(m²)に関する調査結果を表 1.2.2-16、図 1.2.2-8 に示す。雨水の集水面積は屋根から集水している施設が 9 施設、その他(競技場の芝生や雨水浸透枡など)から集水している施設は 3 施設であった。屋根とそれ以外の異なる集水場所を共用している施設は大規模集客施設の中の 2 施設のみであった。年間降水量が約 1,500mm/年であれば、集水面積 1 m²につき年間最大約 1.5 m³の集水が可能と考えられる。表 1.2.2-16 より、年間最大集水量を下回る雨水使用量の施設 D,I,J,L,V は、元々の使用水量が少ない可能性も考えられるが、貯水槽容量やオーバーフロー量を減らすことにより、雨水をより有効活用できる可能性もあると考えられた。

表 1.2.2-16 雨水の集水場所と集水面積および雨水使用量との関係

用途	オフィスビル		大規模集客施設				用途複合施設		その他	
施設名	B	D	H	I	J	L	R	S	U	V
屋根(m ²)		6,955	1,900	29,000	28,000	9,400	9,635	1,700	5,916	19,500
その他(m ²)	5,400		12,710			9,600				
合計(m ²)	5,400	6,955	14,610	29,000	28,000	19,000	9,635	1,700	5,916	19,500
集水面積(m ²) × 1.5(m ³)	8,100	10,433	21,915	43,500	42,000	28,500	14,453	2,550	8,874	29,250
雨水使用量 (m ³ /年)	9,554	4,986	35,500	31,000	29,456	12,500	16,898	2,709	6,561	12,835

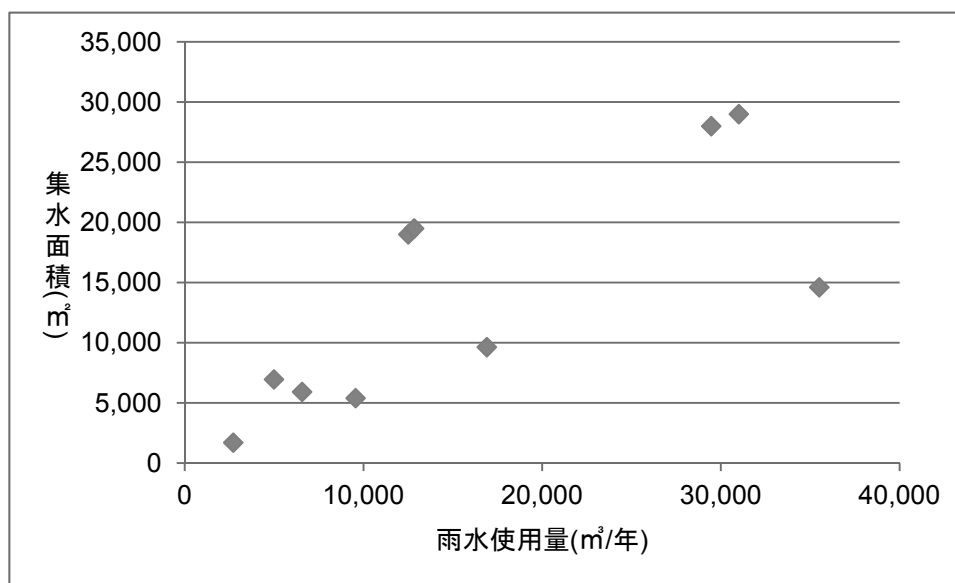


図 1.2.2-8 各施設の雨水集水面積と雨水使用量の関係

(7) 井水利用の実態について

井水利用の実態および今後の導入の意思に関するアンケート結果を表 1.2.2-17 に示す。常時井水利用を行っている施設は 6 施設、非常用に設置している施設は 1 施設、今後利用予定のない施設が 10 施設という結果であった。

表 1.2.2-17 井水利用の実態と今後の導入の意思

用途	オフィスビル					商業施設		大規模集客施設						
施設名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
常時利用			○			○					○			
非常用														
利用予定なし		○		○	○			○	○	○		○		

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設	その他			合計		
施設名	O	P	Q	R	S	T		U	V
常時利用	○	○		○					6
非常用							○		1
利用予定なし			○		○			○	10

(8) 再利用水の利用対象について

再利用水の利用対象に関するアンケート結果を表 1.2.2-18 に示す。トイレ洗浄水への利用が最も多く 15 施設、次いで緑化用水への利用が 12 施設であった。消防用水は 4 施設、その他雑用水は 3 施設、利用なしは 3 施設であった。

表 1.2.2-18 再利用水の利用対象

用途	オフィスビル					商業施設		大規模集客施設						
施設名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
トイレ洗浄水	○	○	○	○		○	○	○	○	○		○		
消防用水			○						○	○				
緑化用水			○	○		○	○	○	○	○		○	○	
その他雑用水								○	○					
利用なし					○									○

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設		その他			合計	
施設名	O	P	Q	R	S	T	U		V
トイレ洗浄水	○			○	○	○		○	15
消防用水						○			4
緑化用水	○				○	○			12
その他雑用水							○		3
利用なし			○						3

(9) 再利用水の利用対象に緑化用水を選んだ施設の、緑化面積と灌水量について

再利用水を緑化用水に使用している施設の緑化面積と年間灌水量を表 1.2.2-19、表 1.2.2-20 に示す。また、季節毎の灌水量の調整の有無のアンケート結果を表 1.2.2-21 に示す。一般的な灌水量は緑化形態に関わらず、 $5\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ ($1.825\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$) が目安とされている。一方緑化面積と年間灌水量がともにデータのある大規模集客施設 H・I、その他 V では、それぞれ $1.64\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 、 $0.42\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ 、 $0.23\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ であった。大規模集客施設 H 以外の 2 施設では季節ごとに灌水量の調整が行われており、夏季以外の灌水量を減らすことにより使用水量を削減しているものと考えられる。

表 1.2.2-19 再利用水を緑化用水に使用している施設の緑化面積

緑化面積(m^2)	オフィスビル		商業施設		大規模集客施設			
施設名	C	D	F	G	H	I	J	L
外構緑化					9,122	21,420	○	28,700
人工地盤緑化							○	
屋上緑化	○	○		○				
壁面緑化	○	○	10,000					1,450
屋内緑化								

緑化面積(m^2)	ホテル	用途複合施設	その他	
施設名	O	S	T	V
外構緑化	○		1,000	
人工地盤緑化				7,597
屋上緑化		5,400		
壁面緑化				
屋内緑化				

※○印は再利用水を利用しているが、具体的な数値は不明

表 1.2.2-20 再利用水を緑化用水に使用している施設の年間灌水量

年間灌水量($\text{m}^3/\text{年}$)	オフィスビル		商業施設		大規模集客施設			
施設名	C	D	F	G	H	I	J	L
外構緑化					15,000	9,000	○	550
人工地盤緑化							○	
屋上緑化	150	○						
壁面緑化	450	○	○					○
屋内緑化								

年間灌水量($\text{m}^3/\text{年}$)	ホテル	用途複合施設	その他	
施設名	O	S	T	V
外構緑化	2,937		○	
人工地盤緑化				1,817
屋上緑化		○		
壁面緑化				
屋内緑化				

※○印は再利用水を利用しているが、具体的な数値は不明

表 1.2.2-21 季節に応じた灌水量の調整の有無

	オフィスビル		商業施設		大規模集客施設			
施設名	C	D	F	G	H	I	J	L
有無	無	有	無	無	無	有	無	無
有の場合の調整方法		タイマー変更				タイマー変更		

	ホテル	用途複合施設	その他	
施設名	O	S	T	V
有無	有	無	有	未回答
有の場合の調整方法	見回り		手撒き調整	

(10) 再利用水のトイレ洗浄水への使用水量について

トイレ洗浄水の再利用水使用量と、データのある施設の緑化灌水利用量を表 1.2.2-22 に示す。トイレ洗浄水の使用量と比較して、緑化灌水に使用される水量は少ない結果が得られた。ただし、大規模集客施設の H や I は競技場の芝生という大規模な緑化を有しているため、そのような施設では灌水の利用量も多い傾向が見られた。

表 1.2.2-22 トイレ洗浄水への再利用水使用量

用途	オフィスビル					商業施設	
施設名	A	B	C	D	E	F	G
使用水量(m³/年)	51,000	35,549	5,500	31,500	0	不明	不明
灌水利用量(m³/年)			600				

用途	大規模集客施設						
施設名	H	I	J	K	L	M	N
使用水量(m³/年)	21,000	不明	不明	55,000	不明	0	0
灌水利用量(m³/年)	15000	9000					

用途	ホテル	病院・研究所	用途複合施設	その他				
施設名	O	P	Q	R	S	T	U	V
使用水量(m³/年)	不明	不明	0	96,000	30,000	不明	0	19,000
灌水利用量(m³/年)	2937							1817

平成 25 年 1 月 22 日

様

一般財団法人エンジニアリング協会
エネルギー自立型排水浄化再利用システム研究委員会
委員長 滝沢 智
(東京大学大学院 教授)

雨水・雑用水等の有効利用に関するアンケート調査ご協力のお願い

(一財) エンジニアリング協会の平成 24 年度社会開発システム等策定の事業テーマ、「エネルギー自立型排水浄化再利用システムに関する調査研究」では、雨水・雑用水の有効利用と高効率・太陽光発電技術を開発することにより、都市緑化に必要なエネルギー自立式の排水浄化再利用システムについて検討を行っております。

本研究の一環として、大規模緑化施設を有する事業所様における雨水・雑用水の再利用および緑化用水等の利用の現状を把握し、実用的な水再利用システムを構築するために、各地で実施した緑化事例等に関するアンケート調査を実施することと致しました。

ご多忙の折、誠に恐縮ですが、本調査の主旨をご理解いただき、是非ともご協力を賜りますようお願い申し上げます。

尚、アンケートさせていただいた内容やお預かりした資料等の内容に関しては、本調査研究の目的以外に使用することは一切ございません。

回答期限 平成 25 年 1 月 24 日 (木曜)

回答方法 返信用封筒に回答用紙・添付資料を同封し、ご発送下さい。

この調査に関して、お問い合わせ、お気付きの点がございましたら、下記調査担当者までご連絡下さいますようお願いいたします。

調査担当者 (返信先) 竹中工務店 技術研究所 主任研究員 奥田 信康 〒270-1369 千葉県印西市大塚 1-5-1 TEL 0476-47-4627 FAX 0476-47-7333 Email: okuda.nobuyasu@takenaka.co.jp	エンジニアリング協会事務局 技術部 研究主幹 平野 範彰 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 3-18-19 TEL 03-5405-7201 FAX 03-5405-8201
---	--

雨水・雑用水の有効利用に関する調査 回答用紙

◎ ご回答いただく方のご連絡先をお答えください。

ご所属	
お名前	
ご連絡先	電話番号 :
	電子メール :

月別使用水量等のご回答に際し、該当する資料がございましたら回答欄には「別紙参照」と記し、その資料を回答用紙に添付し、ご送付下さい。

質問 1 水道水の使用状況についてお聞きします。

- (1) 貴施設における水道水の使用量をお答えください。
 連続する 1 年間で 1 か月ごとの使用量をお答えください。

☐ 別紙参照 (該当する添付資料を同封)

データ期間 平成 年 月 ～ 平成 年 月

月	水道水使用量(m ³ /月)	月	水道水使用量(m ³ /月)
1 月		7 月	
2 月		8 月	
3 月		9 月	
4 月		10 月	
5 月		11 月	
6 月		12 月	

- (2) 貴施設における水道水の引き込み口径をお答えください。

口径 mm

- (3) 貴施設における水道水の使用料金をお答え下さい。

1 年間およそ 万円/年間 もしくは およそ 月 千円/月

質問 2 貴施設における雨水・中水等の活用状況についてお聞きします。

(1) 貴施設では、雨水・中水等を使用されていますか。該当する項目をお選びください。(複数回答可)

- ☐ 雨水利用
- ☐ 井戸水利用
- ☐ 中水利用 (☐ 広域循環方式・☐ 地区循環方式・☐ 個別循環方式)
- ☐ その他 (具体的に_____)
- ☐ 雨水・中水等を使用していない。

(2) 雨水・中水の使用量をお教え下さい。

- ☐ 1年間あたり およそ_____ $\text{m}^3/\text{年}$
- ☐ 1か月あたり およそ_____ $\text{m}^3/\text{月}$
- ☐ わからない

月毎の使用量をお教えください。→☐ 別紙参照 (該当する添付資料を同封)

年月	雨水利用量 ($\text{m}^3/\text{月}$)	井戸水 ($\text{m}^3/\text{月}$)	中水処理水 ($\text{m}^3/\text{月}$)
平成 年 1 月			
2 月			
3 月			
4 月			
5 月			
6 月			
7 月			
8 月			
9 月			
10 月			
11 月			
12 月			

(3) 雨水・中水等の貯留水槽についてお教え下さい。

1) 貯留槽の大きさ（有効貯留水量）をお答えください。

およそ _____ m³

2) 貯留水槽の材質をお答えください。

- ☐ コンクリート製ピット
- ☐ FRP 製タンク
- ☐ 樹脂製タンク
- ☐ その他
- ☐ わからない

3) 貯留水槽への補給水の有無についてお答えください。

- ☐ 一定水位以下になると水道水を補給している。

(その際の補給水位レベル 有効貯留水量のおよそ _____ %)

- ☐ 適宜、水道水を補給 (具体的には _____)
- ☐ その他の雑用水を補給 (具体的には _____)
- ☐ 補給しない

(4) 雨水・中水の処理方法についてお教えください（複数回答可）

- ☐ 滅菌処理（塩素剤・次亜塩素剤の投入）
- ☐ 沈降分離（貯留槽に沈砂部などを設けている）
- ☐ 初期降雨の排除
- ☐ ろ過処理（砂ろ過、膜ろ過など）
- ☐ 生物処理
- ☐ その他処理方式 (具体的には _____)
- ☐ わからない

(5) 雨水・中水施設のメンテナンスについてお教えください

1) 貯留水槽の清掃の頻度

- ☐ 年 1 回程度
- ☐ 年数回程度 (頻度 _____ か月に 1 回)
- ☐ 適宜

2) 雨水・中水施設の維持管理費用

年間およそ _____ 万円

(6) 処理水の水質検査項目・頻度についてお教えてください。(複数回答可)

- ☐ とくになし
- ☐ 外観 (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)
- ☐ 臭気 (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)
- ☐ pH (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)
- ☐ 大腸菌数 (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)
- ☐ 残留塩素濃度 (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)
- ☐ その他 (頻度 ☐ 年 1 回、☐ 年数回、☐ 月 1 回、☐ 週 1 回、☐ その他)

(7) 雨水の集水場所・およその面積をお教えてください。

- ☐ 屋根 およそ _____m²
- ☐ その他 (具体的には _____) およそ _____m²

(8) 井戸水利用の方法についてお答えください。

1) 井戸水を利用していますか。

- ☐ 常時利用している。
- ☐ 非常用として設置している。
- ☐ 利用する予定はない。

2) 井戸の仕様、本数などをお教えてください。

井戸の口径 _____mm または _____インチ

スクリーン深さ 地表面から およそ _____m ~ _____m

井戸ポンプの口径 _____mm または _____インチ

1 本あたりの揚水能力 最大 _____リットル/分

貴施設内での井戸本数 _____本

(9) 中水の原水についてお答えください。(複数回答)

- ☐ 厨房排水
- ☐ 雑排水 (手洗い等)
- ☐ その他 (具体的には _____)

質問 3 再利用水の使用状況についてお聞きします。

(1) 再利用水の使用対象施設について、該当するものをお選びください。

- ☐ トイレ洗浄水
- ☐ 消防用水
- ☐ 緑化用水
- ☐ その他雑用水

(2) 緑化用水を選ばれた方にお聞きします。

1) 該当する緑化の緑化面積・灌水方式・灌水量をお答え下さい。

☐ 外構緑化 → 緑化面積 m² ・ 年間灌水量 m³/年
灌水方式 ☐ ドリップ方式 ☐ スプリンクラー方式
☐ 手撒き ☐ なし（雨水のみ）

☐ 人工地盤緑化 → 緑化面積 m² ・ 年間灌水量 m³/年
灌水方式 ☐ ドリップ方式 ☐ スプリンクラー方式
☐ 手撒き ☐ なし（雨水のみ）

☐ 屋上緑化 → 緑化面積 m² ・ 年間灌水量 m³/年
灌水方式 ☐ ドリップ方式 ☐ スプリンクラー方式
☐ 手撒き ☐ なし（雨水のみ）

☐ 壁面緑化 → 緑化面積 m² ・ 年間灌水量 m³/年
灌水方式 ☐ ドリップ方式 ☐ スプリンクラー方式
☐ 手撒き ☐ なし（雨水のみ）

☐ 屋内緑化 → 緑化面積 m² ・ 年間灌水量 m³/年
灌水方式 ☐ ドリップ方式 ☐ スプリンクラー方式
☐ 手撒き ☐ なし

2) 季節ごとに灌水量の調整を行っていますか。

☐ はい → 具体的な調整方法をお答えください。

☐ いいえ

(3) トイレ洗浄水の使用状況についてお答えください。

→☐ 別紙参照 (該当する添付資料・設備の計算書などを同封)

1) 貴施設におけるトイレの数をお教えてください。

・男子トイレ _____ 箇所 (小便器 _____ 個・大便器 _____ 個)

・女子トイレ _____ 箇所 (大便器 _____ 個)

・多目的・身障者用トイレ _____ 箇所

2) トイレ洗浄水の使用水量をお教えてください。

☐ 1年間あたり およそ _____ m³

☐ 1か月あたり およそ _____ m³

☐ わからない

3) トイレ洗浄水は、来場者の変動の影響を受けると思われます。

使用量の多い日、使用量の少ない日についてお教えてください

① 来場者の多い日

・どのようなイベントですか

☐ 休日

☐ 特定のイベント (試合、コンサートなど)

(具体的には、 _____)

・およその来場者数 _____ 人/日

・年間あたりの日数 およそ _____ 日/年

② 来場者の少ない日

・どのような日ですか

☐ 平日

☐ イベントを実施しない日

・およその来場者数 _____ 人/日

・年間あたりの日数 およそ _____ 日/年

質問 4 現地ヒアリングの可否についてお聞きします。

(1) アンケート結果を踏まえた上で、貴施設を訪問させていただき、より詳細なお話を伺うことは可能でしょうか。

- ☐ はい
☐ いいえ

(2) 上記貴施設の訪問時に、雨水・中水等処理・利用施設の見学させて頂けますか。

- ☐ はい
☐ いいえ

以上で、質問は終わりです。ご回答いただきまして、誠にありがとうございました。
雨水・中水等を活用した水の有効利用について、ご意見、ご感想など自由なご意見を、
以下にご記入下さい。

5) 水利用検討ツールの現状調査

水利用検討ツールの既製品について調査を行った。表 1.2.2-23 に主な既製品の一覧を示す。主要な水利用検討ツールとしては現在 5 種類の既製品が提供されており、利用対象は戸建・小規模な事業所向けのものが 4 種類と、オフィスビル等大規模施設に用いる事業者向けのものが 1 種類ある。シミュレーションの対象地域は全国を対象としているものが 4 種類と、大阪府のみを対象としているのが 1 種類であった。利用料金については無償が 3 種類（うち 1 種類は問い合わせに対し、回答をもらう形式）、有償が 2 種類あった。シミュレーションの対象は全ツールとも雨水利用に限られ、試算可能年数は 1～15 年までと幅があった。ツールの使用目的を以下に箇条書きにして示す。

- ・雨水利用シミュレーション：雨水利用率や利用可能量を試算
- ・雨水貯留タンク設置シミュレーション：雨水利用率や利用可能量を試算
- ・レインナビ：貯水槽容量を複数変更したパターンをグラフ化することで、雨水利用を最も効率よく行えるタンク容量を明らかにする。
- ・Win RAIN：貯水槽容量を複数変更したパターンをグラフ化することで、雨水利用を最も効率よく行えるタンク容量を明らかにする。
- ・BEST：本来建物で使用されるエネルギー量の試算用のツールであるが、その中の一部を使って貯水槽容量と雑用水槽の水補給水位の設定の変更の効果を見ることが出来る。

表 1.2.2-23 水利用シミュレーションツールの既製品

会社名 組織名	旭洋設備工業(株)	大阪府 環境保全課	(株)タニタ ハウジングウェア	EOM(株)	(財)建築環境・ 省エネルギー機構
ソフト名	雨水利用 シミュレーション	雨水貯留タンク設置 シミュレーション	雨水利用試算ソフト 「レインナビ」	雨水利用計算ソフト 「Win RAIN」	BEST
利用対象	戸建・事業所	戸建	戸建	戸建・集合住宅・ 事業所	大規模施設
対象地域	全国 (沖縄除く)	大阪府内	全国	全国	全国
利用料金	無料	無料	無料	52,500円	252,000円
利用形態	ネットで公開	エクセル形式で配布	問い合わせに対応	有料で配布	有料で配布
試算対象	雨水利用のみ	雨水利用のみ	雨水利用のみ	雨水利用のみ	雨水利用のみ
検証可能年数	1年	1年	15年	15年	1年
目的	雨水利用率・ 不足水量率の算出	雨水利用可能量の検証	貯水槽容量の検証	貯水槽容量の検証	建物で使用される エネルギー量の検証
主な入力データ	場所・集水面積・ 貯水槽容量・使用人数	屋根面積・貯水槽 容量・日使用量	地域・集水面積・ 貯水槽容量	場所・集水面積・集水面積・ 降雪判定・無効降水量・ 建物種別・世帯人数・ 日散水量・その他雨水 利用量・最低貯水量	衛生器具仕様・貯水槽容量・ 上水供給停止水量・上水供給 開始水量・集水面積・ 有効面積率
主な出力結果 (表・数値)	雨水利用率・ 不足水量率	年間降水量・年間集水量・ 年間利用量・雨水利用率・ 雨水充当率	年間降水量・雨水集水量・ 雨水利用可能日数	集水量・使用量・貯水量・ 集水日数等の 年次統計と月次統計	下記グラフの生データ
主な出力結果 (グラフ)	なし	貯水槽容量と 雨水利用量の変動のグラフ	貯水槽容量と雨水利用 可能日数との関係のグラフ	15年間の気温と降水量・ 貯水槽容量と雨水利用日数や 雨水流出率との関係	雨水集水量の経時変化・ 貯水水量の変動
備考					

参考BP	URL
旭洋設備工業(株)	http://www.kyokuyo-co.co.jp/simulation.htm
大阪府環境保全課	http://www.epcc.pref.osaka.jp/kanri/jyunkan/rain/soft/osa_ama.
(株)タニタハウジングウェア	http://www.tanita-hw.co.jp/product/simusoftware.html
EOM(株)	http://www.sungeom.com/WinRAIN.html
BEST-P 衛生設備操作マニュアル	http://www.ibec.or.jp/best/program/pdf/manual/f_060.pdf

上記ツールの具体例として、BEST の概要を図 1.2.2-9、図 1.2.2-10 に示す。屋根面積・貯水槽容量・上水補給量・各使用量などを入力して集計を行うと、年間の降雨データを読み込み、受水槽の水位変動や雨水の集水状況などを時間単位の変動で推測することができる。最終的にはそれらの結果から、雨水利用率(雨水利用量/雨水集水量)が最大となる水槽容量について検討するというツールとなっている。



付録6.1 雨水利用計算

サンプルデータをベースに雨水貯留槽の容量や雑用水受水槽の水位設定を変えることで、雨水利用量の変化を知ることが出来、年間集計をすることで雨水利用率等の算出が出来ます。

■INPUT

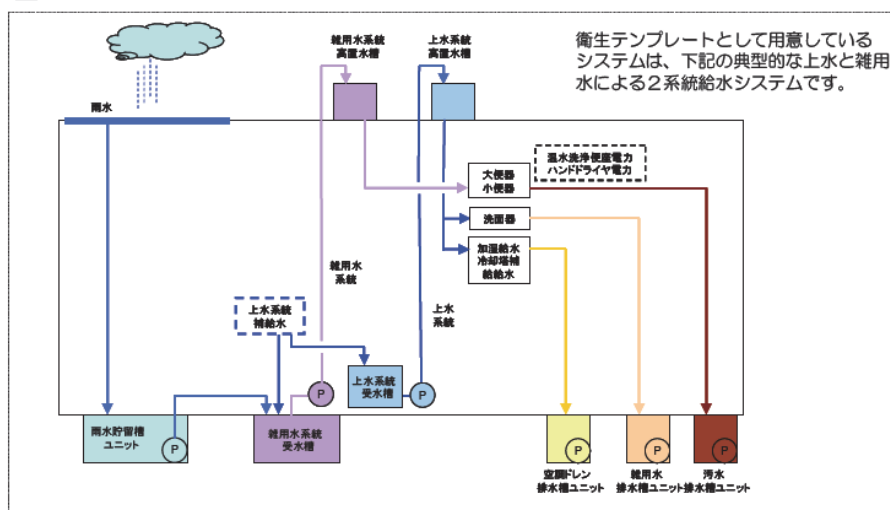


図 1.2.2-9 シミュレーションソフト (BEST) の概要 (データの入力)

■OUTPUT

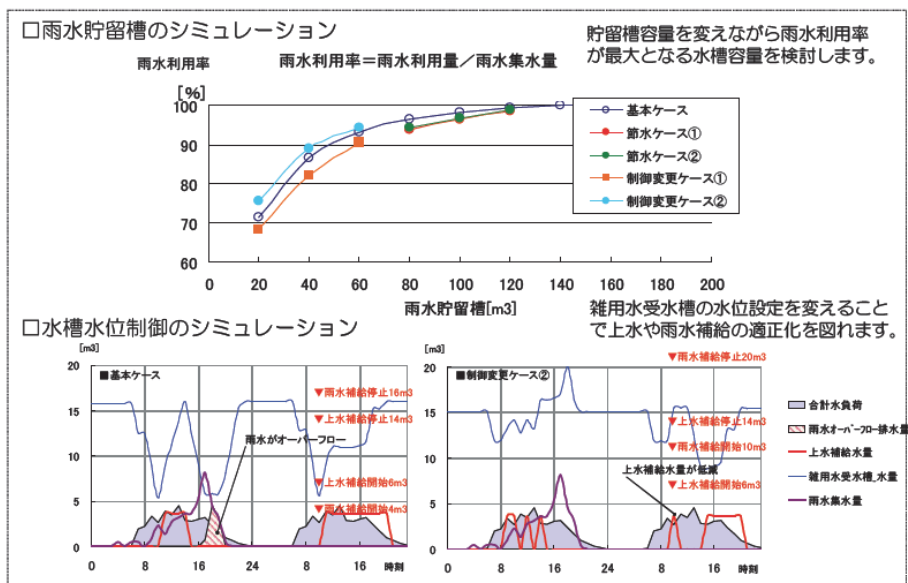


図 1.2.2-10 シミュレーションソフト (BEST) の概要 (データの出力)

これら既存の製品の課題としては、

- ①戸建や小規模施設を対象としたツールが多く、大型施設で利用可能なツールが少ない
- ②雨水貯水槽容量や補給水の補給開始水量・停止水量の変更しか検証できず、屋根面積を変更したときの雨水利用の効率について検証することができない
- ③雨水の利用を対象としたツールしかないため、井水利用を導入したケースや、井水使用量を変更したときの水利用の最適化について検証することができない
- ④同様に雨水を対象としたツールしかないため、雑用水や再利用水を使用する効果について正確な検証ができない
- ⑤高機能なツールが有償である

の5点が挙げられる。そこで本研究では第2章の2-2で、それらの課題を克服するツールを作成することを目的とした。

<参考文献・URL>

- ・ <http://www011.upp.so-net.ne.jp/JRIC/simusoft.html>

1.2.3 水処理方式

排水処理に適用可能性のある技術に関する情報を、表 1.2.3-1 のように整理し、各水処理技術単位操作の概要を列挙した。

表 1.2.3-1 水処理技術一覧

分類	水処理技術単位操作	処理機能		
		固分除去	溶解分除去	滅菌・殺菌
物理化学的処理	凝集	○		
	膜分離	○		○ (UF~RO 膜)
	吸着 ・イオン交換樹脂 ・キレート樹脂 ・活性炭		○ ・イオン ・有害物質 ・有機性物質	
	オゾン・紫外線処理		○	○
	塩素処理		△	○
生物化学的処理	活性汚泥法		○	
	生物膜		○	
	緩速砂ろ過	○	△	

1) 物理化学的処理

(1)凝集

凝集処理とは、液中に凝集剤を混合し微粒子同士を凝集してフロックを形成させることで、懸濁した微粒子を効率よく除去する処理方法である。生成したフロックは、沈殿・浮上等により液から分離する。一般的な凝集剤は、成分により、無機系凝集剤と有機系高分子凝集剤とに大別できる。現在使用されている主な無機系凝集剤として、アルミニウム系として硫酸アルミニウム（硫酸ばん土）、ポリ塩化アルミニウム（Poly Aluminum Chloride ; PAC）、鉄系として塩化第二鉄、ポリ硫酸第二鉄などがある。無機系凝集剤は、凝結剤としての作用をもつ。使用する薬剤の選定にあたっては、一般的な凝集剤の基本性能を踏まえたうえで個別の製品について情報収集する必要がある。

(2)膜分離

膜分離は、水が通る細かい孔（細孔）を有する膜により、孔よりも大きな液中の不純物を除去する技術である。一般的には膜の孔径の大きさによって 4 種類に分類される。

- ① 精密ろ過膜（MF 膜）孔径 数 $\sim$ 0.1 μ m、濁質除去
- ② 限外ろ過膜（UF 膜）孔径 0.01 μ m 程度、濁質、微生物等除去
- ③ ナノろ過膜（NF 膜）孔径 0.001 μ m 程度、有機物、多価イオン、農薬等除去
- ④ 逆浸透膜（RO 膜）孔径 0.001 $\sim$ 0.0002 μ m、有機物、1 価イオン等除去

膜ろ過の通水方式としては、原水の全量を膜を透過させる「全量ろ過方式」と、膜面に対して平行に水を流して一定割合の透過水と濃縮水を得る「クロスフロー方式」とがある。利点は、シンプルな装置構成であるため少ない処理水量から適用が可能であり、細孔より大きな物質を確実に除去できること、比較的小さな動力で稼働があげられる。欠点は、処理に伴い膜表面に透過できない不純物が堆積するため、適切に除去しないと閉塞に至る、定期的に膜モジュールを交換する必要があるが頻度が高いと資材コストがかさむ点がある。そのため、濁質が多い場合や細孔の小さい膜を用いる場合は、クロスフロー方式が採用される。

なお、分離対象の用途によって細孔径以外にも効率的に分離させる機能が付加されており、処理対象に応じ適切な種類の膜を選定する必要がある。

(3) 吸着

汚濁物質を特異的にまたは非特異的に吸着する機能を持つ吸着剤により、液中に溶解している物質を吸着し、系外へ除去する。多孔質の物質を用いる場合は細孔径の設計により、表面積を大きくし、分子ふるい作用を持たせたものが利用されている。一方、イオン交換による吸着を行う場合、負電荷を持つ樹脂に対応する Na などの金属イオンが結合し、さらに結晶水が金属イオンの静電的引力により保持されている。この金属イオンとの交換により、カチオンを吸着する。

(a)イオン交換樹脂

イオン交換樹脂は、樹脂にイオン交換能力を持つ官能基を導入したもので、官能基からイオンが乖離して液中のイオンと交換することにより吸着する。多くはスチレン系やアクリル酸系、メタクリル酸系の樹脂にスルホン酸や 4 級アンモニウム塩などの官能基を導入した高分子電解質を直径 0.3 mm～1.0 mm 程度の球状に成形したもので、官能基の種類により、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂、両性イオン交換樹脂がある。利点としてはカラムに充填して通水すればよく、固液分離の工程が不要である点がある。また、欠点としては、海水など、他のイオン濃度が高い場合には破過が早まり、多量の樹脂を必要とする。

(b)キレート樹脂

キレート樹脂とは、複数の配位座をもつ官能基を有し、金属イオンとキレート（錯体）をつくる樹脂であり、広義にはイオン交換樹脂の一種として扱われることもある。複数の配位座に挟まれるような形で金属イオンが配位するため、キレートは化学的に安定である。特定の金属イオンと特異的にキレートを形成するため、塩濃度の高い廃液から選択的に重金属を回収することも可能で、広く金属の回収に利用されている。キレート形成基としては N、S、O、P 等の電子供与元素を 2 個以上含んだものが使われ、N-O 系、S-N 系、N-N 系、O-O 系などがあり、イミノ二酢酸型（ $-N(CH_2COO^-)_2$ ）やポリアミン型（ $-NH(CH_2CH_2NH)_n \cdot H$ ）が代表的である。利点としては、特異性が高く、海水など、他の陽イオンを多く含む場合でも選択的に目的とするイオンを捕捉できる。

(c)活性炭

粉末活性炭と粒状活性炭を使用する場合がある。活性炭に存在する多数の細孔に水中の有機物等を取り込み、水の処理を図る。粉末活性炭を用いる場合は原水に活性炭を散布・混合することで排水と接触させ、有機物の除去を図る。粒状活性炭を使用する場合は充填したタンクに通水する方式で比較的長期間の処理が必要な場合に用いる。吸着効果を主体とした方式と、活性炭内に増殖した微生物の分解作用を利用する方式とに分類される。

(4)オゾン・紫外線処理

オゾンや紫外線の強い酸化力を利用して、色度の除去や消毒生成物の低減等を目的として使用する。通常の浄水処理では水質基準に適合できない浄水場やクリプトスポリジウム対策などに適用される。オゾン処理の欠点としては、処理に伴い発生する有害な副生成物を除去する必要がある、後段に活性炭処理を設置して副生成物の除去を図る必要がある。

(5)塩素処理

水道水に対しては原水中に存在する病原性菌や原生動物、ウィルスを殺菌することを目的として、塩素消毒を行っている。水道施設で使用される塩素剤としては、液化塩素や次亜塩素酸ナトリウム、次亜塩素酸カルシウムがある。水道水は常に衛生面の安全性を保つ必要があることから、長期間その消毒効果が持続する塩素剤による消毒が法律により定められている。欠点としては、原生動物の中には塩素消毒に対して強い抵抗性を持つものが存在すること、処理によって毒性のある副生成物が出る可能性があることが挙げられる。

2) 生物化学的処理

微生物の働きを利用して、水中の汚濁物質の分解を図る方式である。使用する微生物の種類により、好気性処理と嫌気性処理に区分される。好気性処理の後で一時的に酸素供給を減らすことで、栄養塩類の除去を図る場合がある。

(1)活性汚泥法

水槽（曝気槽）中に活性汚泥を入れ、送風機で空気を送り込む。ここへ汚水を少しずつ流入させれば、汚水に含まれる汚濁物質は微生物の餌となる。微生物と汚濁物質を含まない上澄水が処理水となる。嫌気性処理の場合は空気を送り込む必要はないため、エネルギー的には有利であるが、処理に時間がかかる。これらを連続して行えるように設計された一連の設備を用いる。

(2)生物膜

ろ過槽に空気を供給しながら排水を通水すると好気性微生物が増殖し、ろ材表面に生物膜を形成する。この生物膜が排水中の有機物質を分解除去し、同時に懸濁物質もろ過機能によって除去するシステムである。装置の立ち上げ時に生物膜の馴化期間が

必要である。留意点としては水温やpH値、溶存酸素等の影響を受け、特に水温が低い場合には生物処理の能力は著しく低下する。

(3)緩速砂ろ過

ろ過池に砂を用いることで砂層表面に増殖した微生物群の働きで水中の浮遊物質を補足・分解する方法である。アンモニア等の除去も可能である。ろ過速度が遅いため、大きなろ過池面積が必要となる。また、通常は濁質を除去するプロセスをもたないため、濁度の高い原水には不向きである。

3) 本研究で検討する水処理方式

以上の排水処理方式を踏まえ、本研究で検討する内容として、表 1.2.3-2 に示す水処理方式を選択した。また、補足資料・1 に高い水のリサイクル率を誇るイスラエルの水処理技術視察報告を示す。

表 1.2.3-2 本事業で選択した水処理方式

対象水	選択した水処理方式	選定理由
厨房排水	・沈殿処理（グリーストラップ） ・生物処理	連続的な処理が必要であり、かつ薬剤を使わずに処理を行うため
緑化施設使用灌水の循環利用	・生物処理（エアレーション） ・生物処理（エアレーション） +砂ろ過	複雑な設備の設置は困難であり、省スペースでの対応が必要であるため

第2章 集光型太陽光発電装置及び排水浄化装置プロトタイプに関する実験評価

2.1 一軸追尾集光型太陽光発電装置プロトタイプの性能確認実験

2.1.1 実験目的

高効率発電素子を用いた集光型太陽光発電は有望視されているが、小さな発電素子にレンズで光を集める必要から、常に正確に太陽方向を追尾しなければならないため、追尾システムのコストが高く、未だ広く一般化する状況に至っていない。

従来の太陽方位、高度の両方を追尾する二軸追尾を、太陽方位のみを追尾する一軸追尾に単純化することができれば、追尾システムを大幅にコストダウンが可能となる。

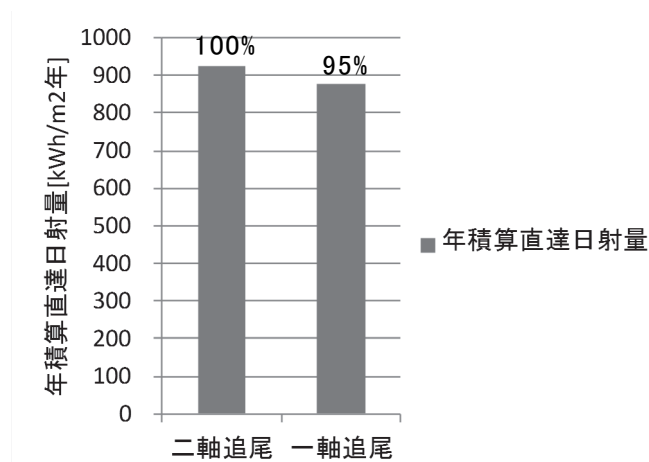


図 2.1.1-1 二軸追尾型と一軸追尾型の年積算直達日射量の比較

図 2.1.1-1 は太陽方位、高度の両方を追尾する二軸追尾型と、太陽方位のみを追尾する一軸追尾型(傾斜角 55°)の場合の年積算入射日射量を比較したものである。日射量は東京の標準年気象データ¹⁾より算出した。二軸追尾の場合の年積算直達日射量が 925kWh/m^2 であるのに対し、一軸追尾の場合は 877kWh/m^2 であり、95%程度の値となった。二軸追尾型を一軸追尾型に単純化しても入射する直達日射のロス分は 5%程度であるため、本研究では一軸追尾型の太陽光発電システムを開発することとした。

方位追尾のみによって発電セルに集光するために、従来の 1 点に集光する通常レンズではなく線状に集光するリニアレンズを用いる。レンズとしてアクリル製リニア集光型フレネルレンズを用いることにより、低コストで調達することが可能である。集光率を高めるために幅 1,000mm、焦点距離が 1,000mm のリニアレンズを使用することとした。

本研究では、リニアレンズを用いて線状に集光する一軸追尾型太陽光発電システムの妥当性の検討および一軸追尾型太陽光発電装置の追尾精度の検証を目的とする。

2.1.2 実験装置概要

一軸追尾型太陽光発電装置の性能を確認するため、竹中技術研究所(千葉県印西市)に実験装置を設置した。図 2.1.2-1、図 2.1.2-2 に実験装置の概要図を、図 2.1.2-3 に実験装置外観写真を示す。

実大規模のモデル(フレーム外形 5,000mm×5,000mm)とし、レンズ取付フレームのたわみの影響を見るため、フレネルレンズの設置場所は 5 箇所とした。追尾精度の測定用の検定板をフレーム前方の 1 箇所に設置する。

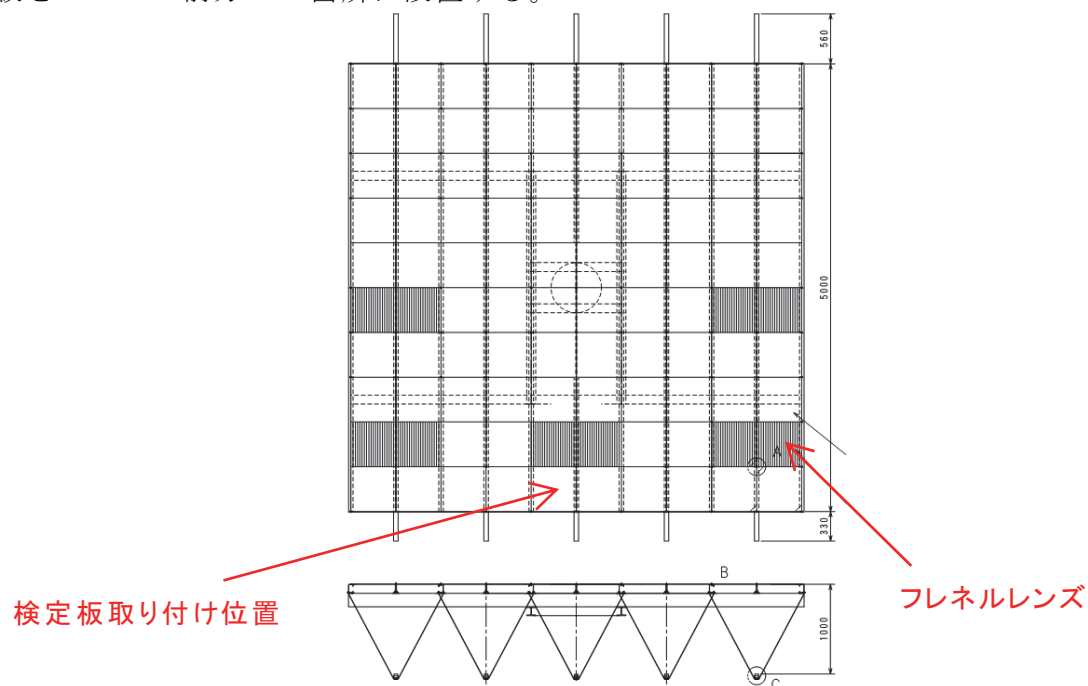


図 2.1.2-1 装置概要図 1

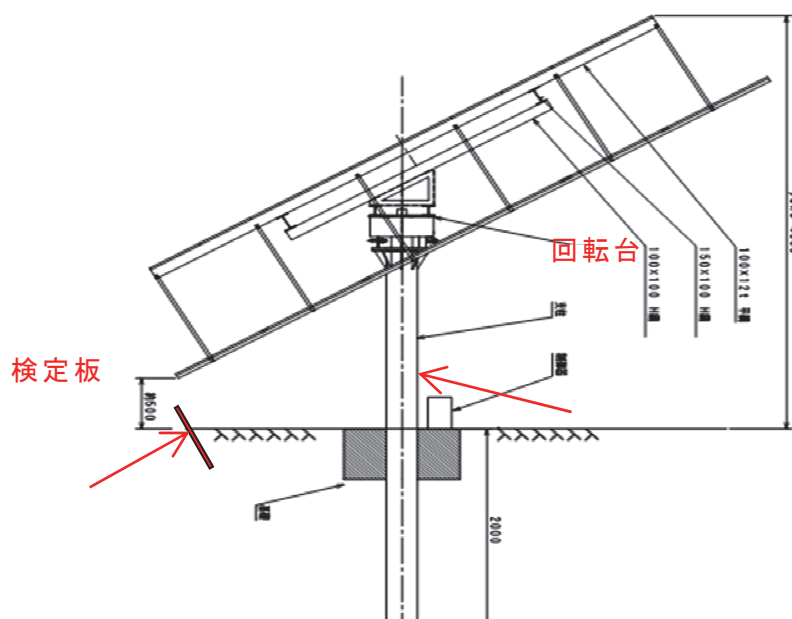


図 2.1.2-2 装置概要図 2



図 2.1.2-3 実験装置外観写真

2.1.3 追尾システム制御方法

追尾システムの制御は角度センサーならびに光センサーの 2 つのセンサーを用いて行う。基本的には各時刻における太陽方位に装置を向けるが、角度センサー精度、時計誤差、各種機械精度などから、これのみによって追尾精度を維持するのは非常に高コストとなるので、精密制御部分は光センサーの出力によって行う。

光センサーの原理は一般に行われているようにレンズによって太陽の像を結び、中心線の左右に配置したフォトセンサーでこの光を検知し、左右センサーのアンバランスによってセンサー面の太陽方向からのズレを計る方式を採用する。

今回のような一軸追尾方式では上下方向の追尾をしないので、光センサーへの入射角は太陽高度によって大きく変化する。このため上下方向広視野角に対応するセンサーを用いる必要がある。日の出から正午を経て日没に至るまでの太陽高度の変化は北半球では夏至が最大となり、日本の中心北緯 35° では 0° から 78.4° となる。

広視野角の光センサーの構成を図 2.1.3-1 に示す。リニアレンズでは太陽の像はリニアレンズの長さに等しい直線になり、図に示すように入射角によって像は上下に移動する。像の長さがリニアレンズと同じ長さなので、左右の位置を検知するフォトセンサーは結象面の上端と下端にあれば十分である。

リニアレンズの焦点距離を 45mm 、レンズ長さを同じく 45mm とし、センサーの設置傾斜角を 45° にすれば、ほぼ水平方向から直上方向の光の検出が可能と視野角は 90° 近くになり、一軸追尾方式に適用可能な光センサーの構成が可能となる。

図 2.1.3-1 で、[図 2] は光センサーの全体図、[図 3]、[図 4] は太陽の方向と結象の関係、[図 5] は左右それぞれにフォトダイオードを直列に繋ぐことにより、太陽方向の左右のずれが検出されることを示している。

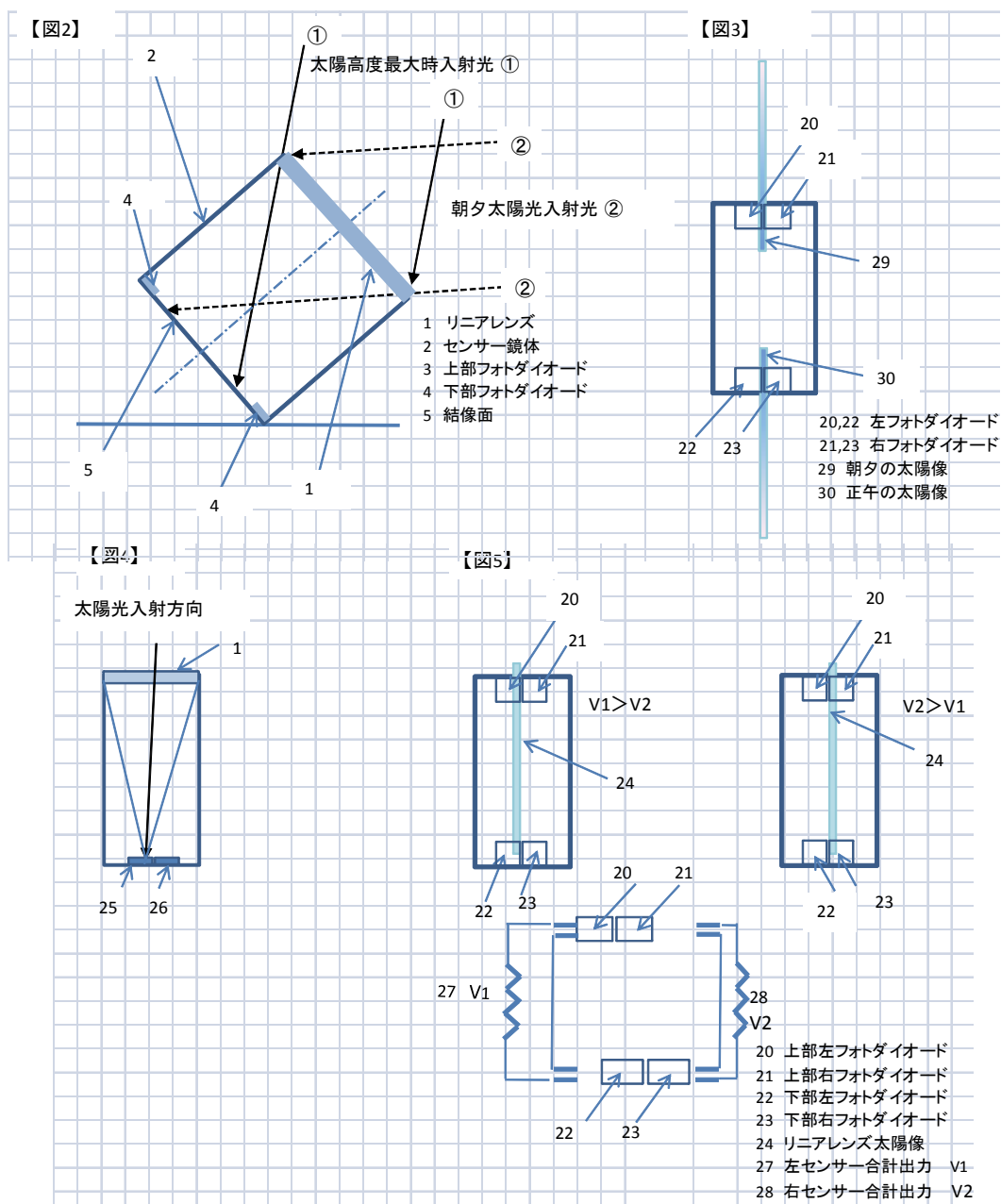


図 2.1.3-1 光センサーの構造

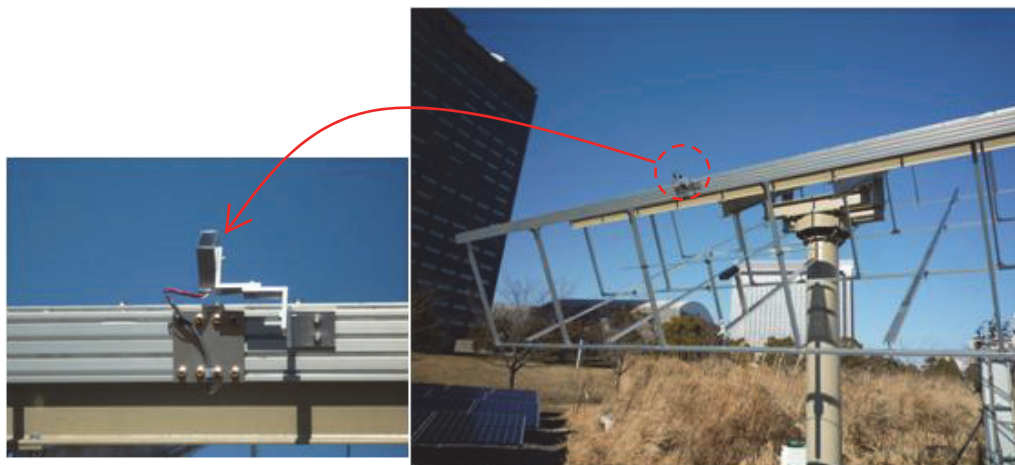


図 2.1.3-2 光センサー外観写真

次に制御システムのフローに関して説明する。制御システムフローを図 2.1.3-3 に示す。

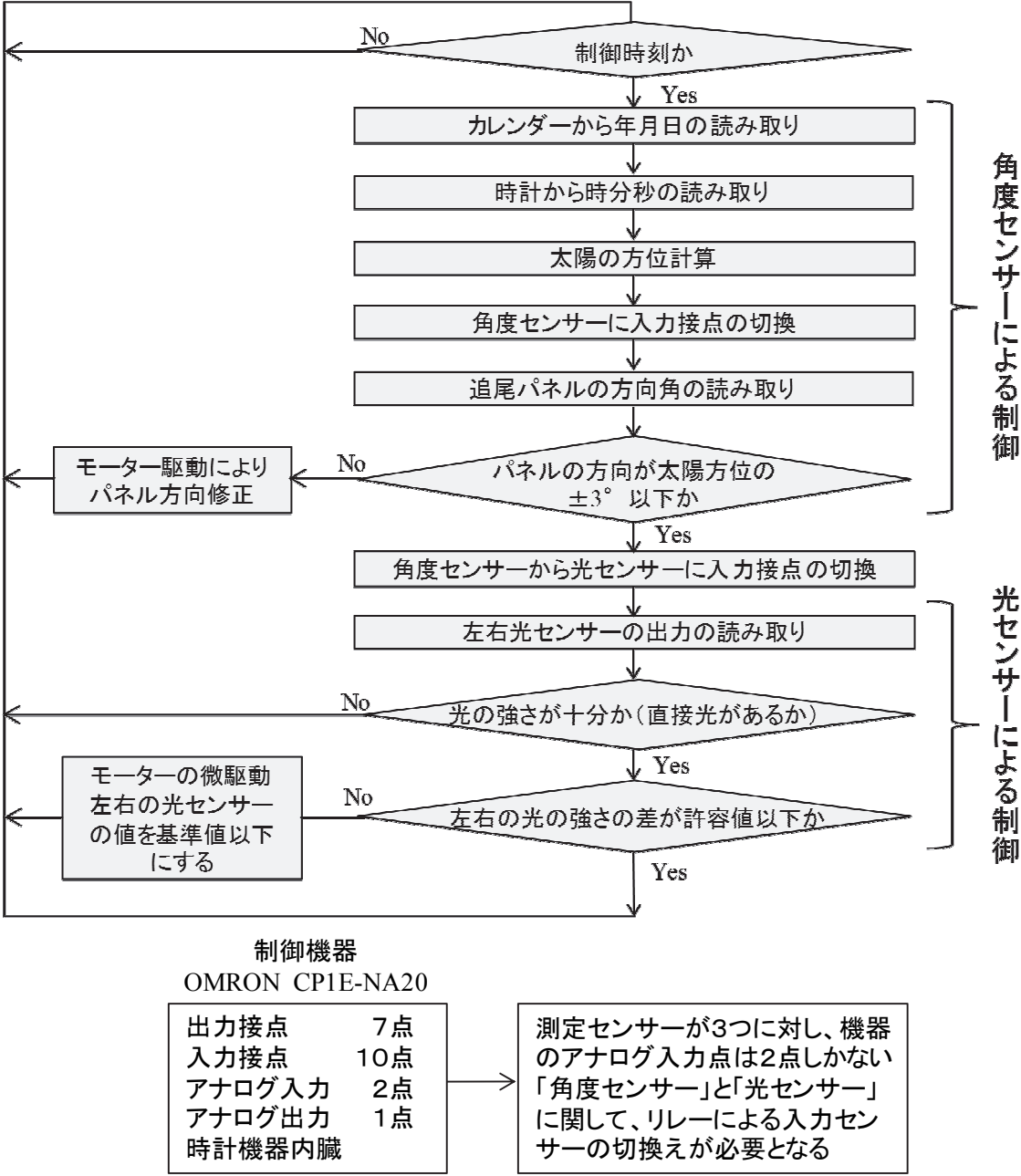


図 2.1.3-3 システム制御フロー

制御は大きく、角度センサーによる制御と光センサーによる制御の 2 つのステップにて行う。制御は 10 秒間隔で行う。太陽の運行速度は 0.25°/分である。10 秒おきの制御では制御 1 回あたりの変位量は 0.04°程度である。制御には比較的余裕があるため、1 台のシーケンサーで 10 基程度の太陽光追尾装置を制御することが可能であると考えられる。

制御はシーケンサー内臓のカレンダーと時計から一定時間毎に太陽の位置を計算し、ポテンショメータの回転角を参照しながら太陽方位の追尾を行う。太陽の方位からの追尾誤差が±3°以内であることを確認するが、追尾誤差が±3°以上の場合には、速やかに角度を補

正する。追尾誤差が $\pm 3^\circ$ 以上の時刻においては、光センサーによる精密制御は行わない。

追尾誤差が $\pm 3^\circ$ 以内の場合には、光センサー（フォトダイオード）による制御のステップに進む。光センサーによって中心からの太陽位置のズレを読み取り、微調整を行う。直達日射がない時刻においては、センサーの合計出力が直達日射のある場合と比較して非常に小さくなるため、光センサーによる微調整は行わない。

2.1.4 追尾精度検定方法

検定板の影の法線方向からのズレから追尾精度を検定する。具体的には、検定板の影が投影される位置にスケールを設置し、カメラで一定時間(1 分)ごとに影とスケールを撮影する。そのデータから時系列の追尾精度を求める方法とした。

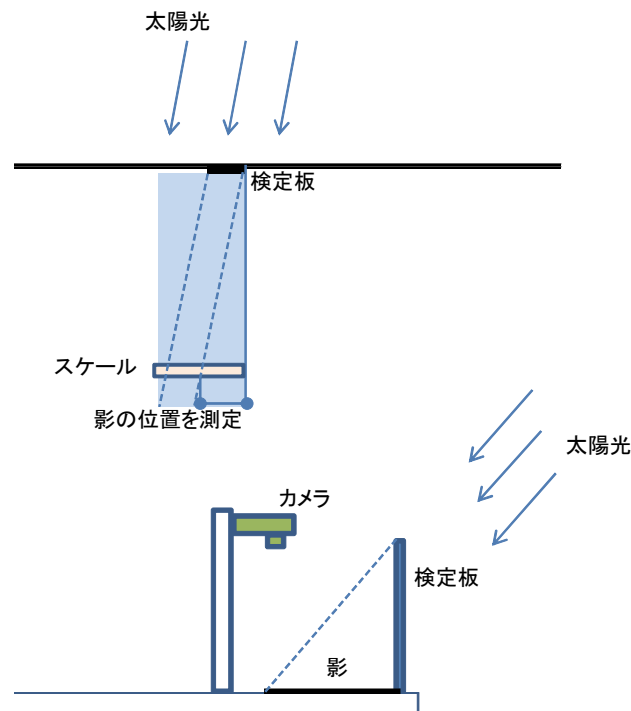


図 2.1.4-1 追尾精度検定方法の概念図



図 2.1.4-2 検定板の外観写真

2.1.5 運転調整方法と追尾性能

運転調整は図 2.1.5-1 に示す工程で行った。

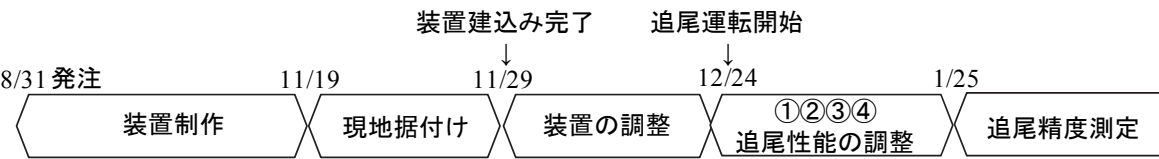


図 2.1.5-1 運転調整工程

追尾運転開始後の追尾性能調整項目としては、以下の 4 項目が挙げられる。各項目の調整日を()内に示す。

- ① 追尾精度検定板の垂直度の調整(2012/12/25)
- ② 角度センサー、モーター駆動のパラメータの調整(2012/12/24,2013/1/8)
- ③ 駆動装置の耐風性能向上のための調整(2013/1/24,1/25)
- ④ リレー制御(角度センサーと光センサーの切り替え)の入力変更時におけるタイムラグの問題解決(2013/1/25)

2013 年 1 月 25 日に最終的な調整が完了した。以降、追尾精度検証のための測定を継続して行っている。

2.1.6 リニアレンズの特性に関する基礎実験

本開発で採用している太陽光発電装置は一軸追尾であるため、リニアレンズの傾斜角は年間を通じて一定である。太陽方位角に追尾した際に、太陽高度により集光した像の幅に変化があると予測される。

本実験に用いる公称焦点距離 1,000mm のアクリル製リニアフレネルレンズを用いて、焦点位置の測定を行った。また直達日射の入射角度がレンズの法線方向からずれた場合の焦点位置についても測定を行った。直達日射の入射角(法線方向からのずれ角)と焦点位置の関係を図 2.1.6-1 に示す。

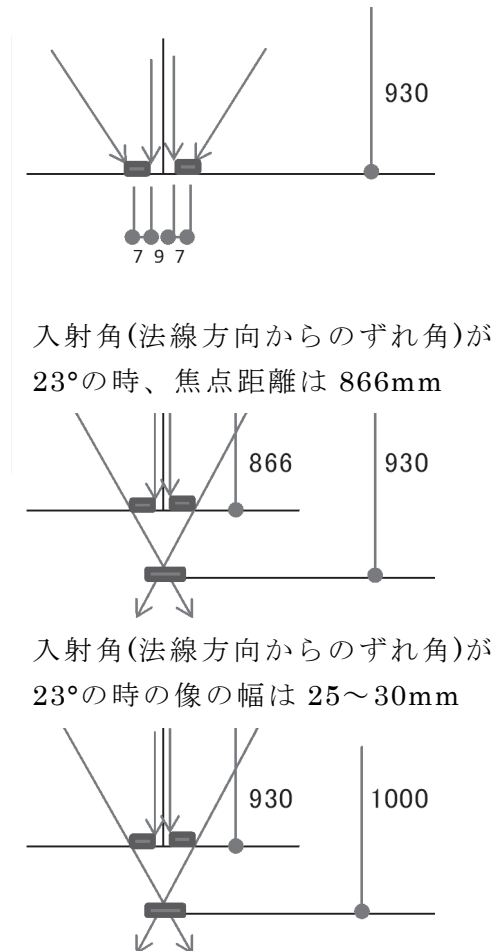
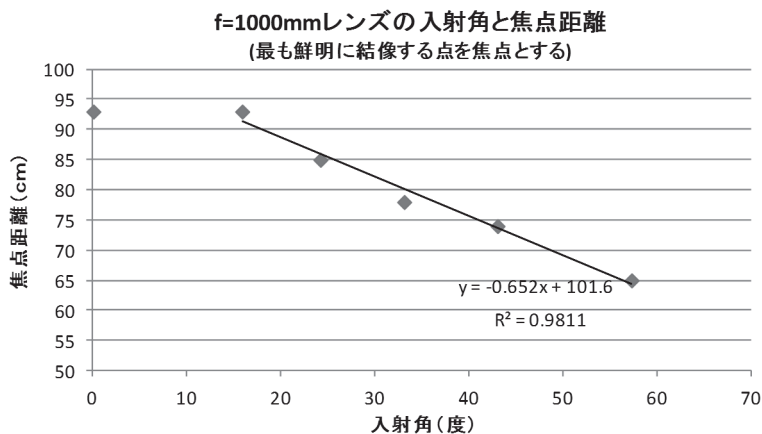


図 2.1.6-1 直達日射の入射角(法線方向からのずれ角)と焦点位置の関係

上記測定により、本実験に用いる公称焦点距離 1,000mm のアクリル製リニアフレネルレンズの実際の焦点距離は 930mm であることを確認した。この時の結像した像は左右 2 カ所に分かれており、それぞれ 7mm 程度となった。また直達日射の入射角が法線方向から 23°ずれた場合の焦点位置は、レンズより 866mm の位置となった。レンズより 930mm 離れた位置では像の幅は 25～30mm 程度となることが確認できた。

直達日射の入射角の法線方向からのずれを最大 23°と設定するならば、リニアフレネルレンズによる集光した像の幅は最大で 30mm 程度となることが予想される。

よって本開発では、集光倍率の目標値を 40 倍程度、使用する太陽光発電セルの幅を 30mm 程度に設定することが妥当であると考えられる。

2.1.7 気象条件と追尾性能測定結果および考察

1) 試運転調整完了前の追尾精度

太陽光追尾装置が追尾運転を開始した 2012 年 12 月 24 日より、追尾性能測定を実施した。測定開始直後は、各種調整不足により追尾精度は目標値を大幅に下回っていた。

図 2.1.7-1 に各種調整が完了する以前の、2013 年 1 月 12 日の 8:10～16:00 における太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角を示す。また図 2.1.7-2 に同時刻における外部風速の変動を示す。

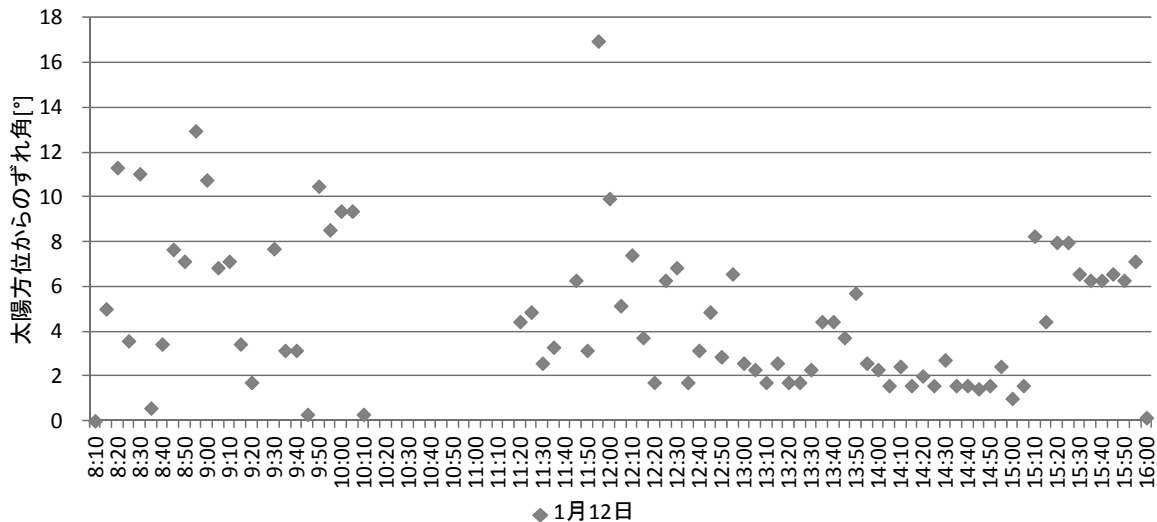


図 2.1.7-1 太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角(2013 年 1 月 12 日)

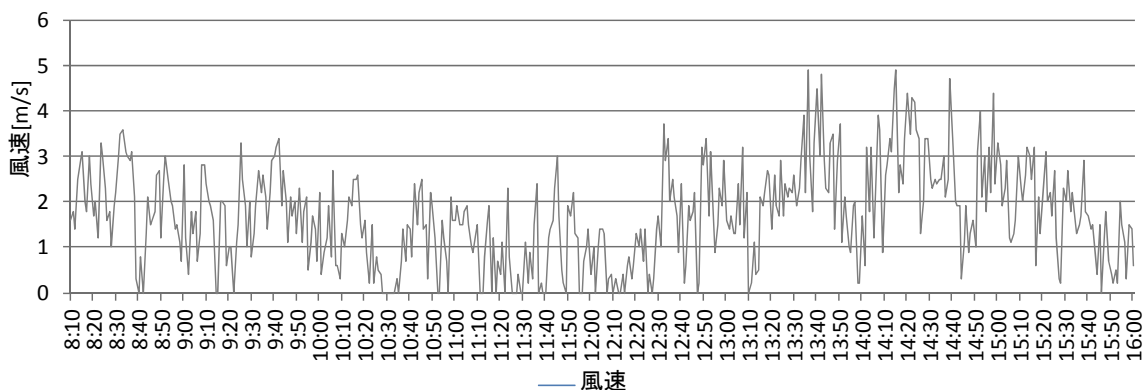


図 2.1.7-2 外部風速の時刻変動(2013 年 1 月 12 日)

この日は平均風速が 1.68m/s(8:10～16:00 の平均値)であった。外部風速は比較的静穏であり、風による装置の揺れは限定的であったと考えられるが、太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角は平均で 4.69°となっていた。

図 2.1.7-3 に同日における撮影画像の一部を示す。制御方法の調整不足により、検定板の影はほとんどの時間帯で斜めに伸びていた。



図 2.1.7-3 撮影画像 (2013 年 1 月 12 日 8:00~9:05)

2) 試運転調整完了後(外部風速：通常時)の追尾精度

次に、図 2.1.7-4 に各種調整が完了後の、2013 年 1 月 26、27、28 日の 8:10~16:00 における太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角を示す。また図 2.1.7-5 に同時刻における外部風速の変動を示す。

太陽光追尾装置の平均追尾精度(太陽方位からのずれ角)は、1 月 26 日：1.19°、1 月 27 日：0.95°、1 月 28 日：0.73°となっていた。この 3 日間の追尾精度計測時間帯における平均外部風速は、1 月 26 日：3.47m/s、1 月 27 日：3.85m/s、1 月 28 日：3.19m/s であり、やや風の強い日であったが、追尾精度は 1°程度となっていることが確認できた。

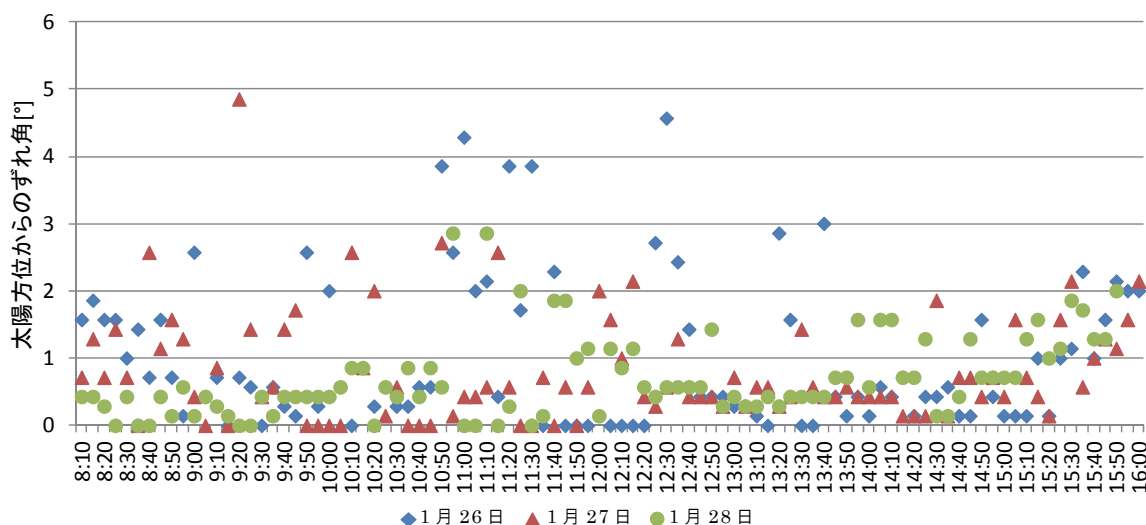


図 2.1.7-4 太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角 (2013 年 1 月 26~28 日)

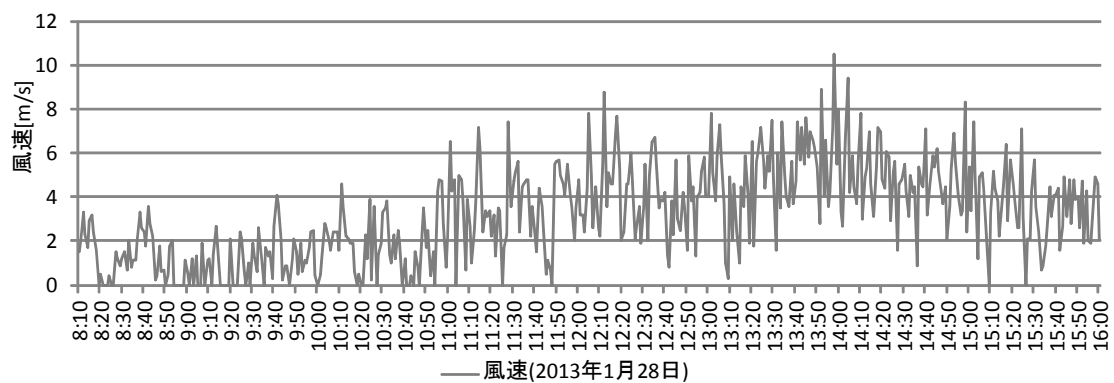
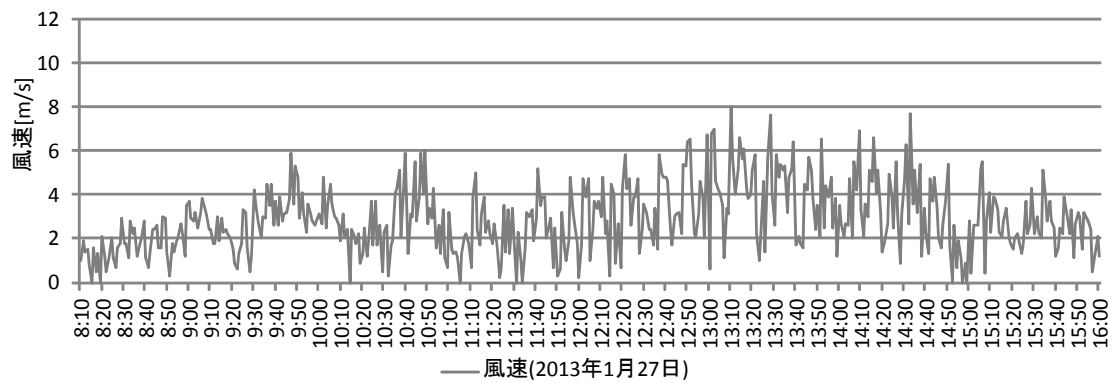
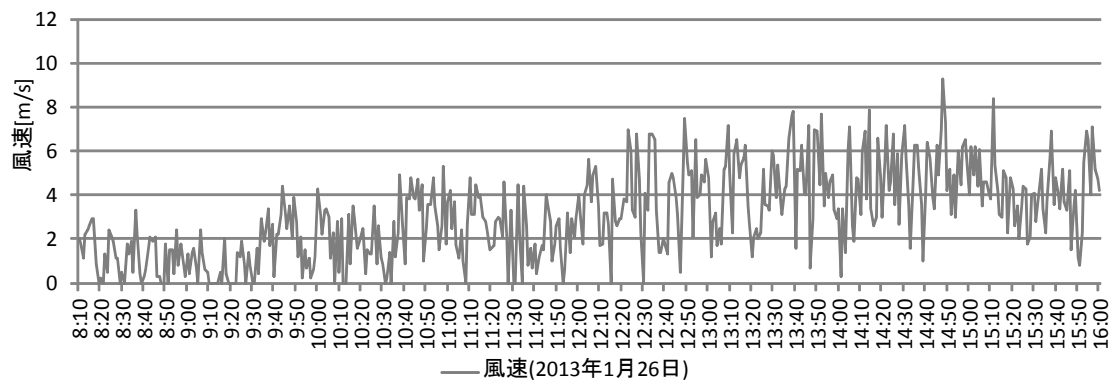


図 2.1.7-5 外部風速の時刻変動(2013 年 1 月 26~28 日)

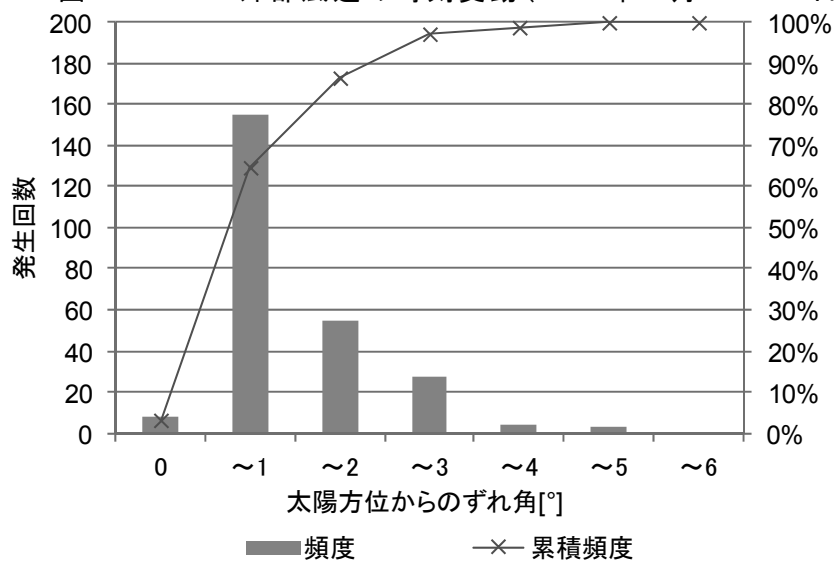


図 2.1.7-6 太陽光追尾装置の追尾誤差発生頻度分布(2013 年 1 月 26~28 日)

図 2.1.7-6 に追尾精度計測時間帯における太陽光追尾装置の追尾誤差発生頻度分布を示す。全体の 65%の時刻で追尾誤差(太陽方位からのずれ角)は 1.0° 以下に、87%の時刻で 2.0° 以下に制御させていることが確認できた。

図 2.1.7-7 に 2013 年 1 月 28 日における撮影画像の一部を示す。検定板の影はほぼすべての時間帯で架台と平行に伸びており、太陽方位を正確に追尾できていたことが確認できる。



図 2.1.7-7 撮影画像 (2013 年 1 月 28 日 8:00~9:05)

3) 試運転調整完了後(外部風速：平穏時)の追尾精度

試運転調整完了後の 2013 年 1 月 25 日～2 月 20 日の外部風速(10 分間平均値)の変動を図 2.1.7-8 に示す。図 2.1.7-8 に示す期間中、日平均風速が小さく、直達日射のあった 2013 年 2 月 4 日の追尾精度について検証を行う。

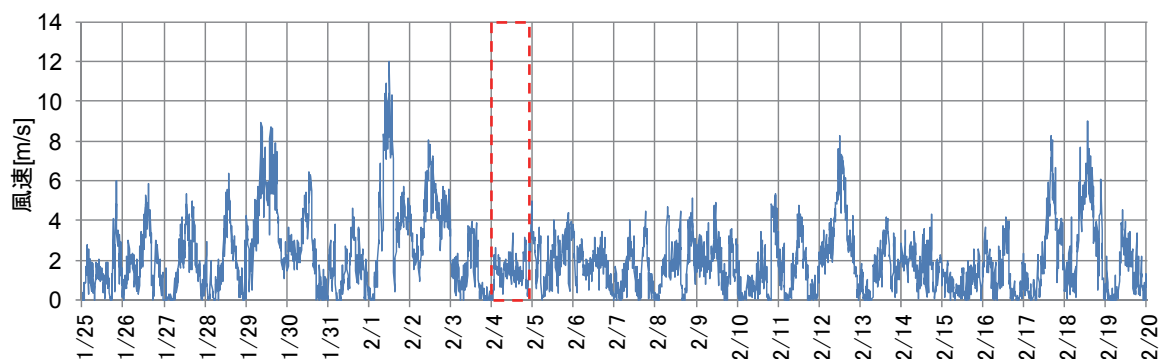


図 2.1.7-8 外部風速の時刻変動 (2013 年 1 月 25 日～2 月 20 日)

2013 年 2 月 4 日の外部風速の変動を図 2.1.7-9 に示す。

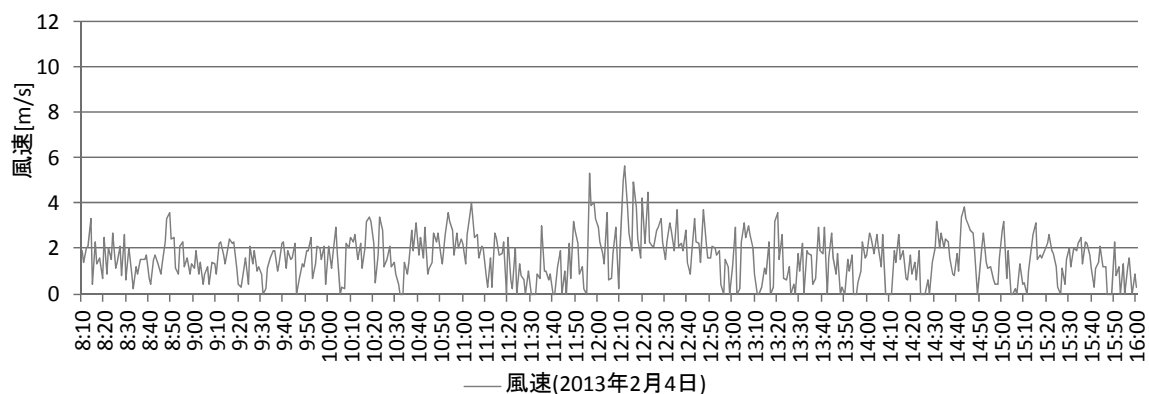


図 2.1.7-9 外部風速の時刻変動 (2013 年 2 月 4 日)

図 2.1.7-10 に同日の直達日射のあった 10:00～11:00 における太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角を示す。

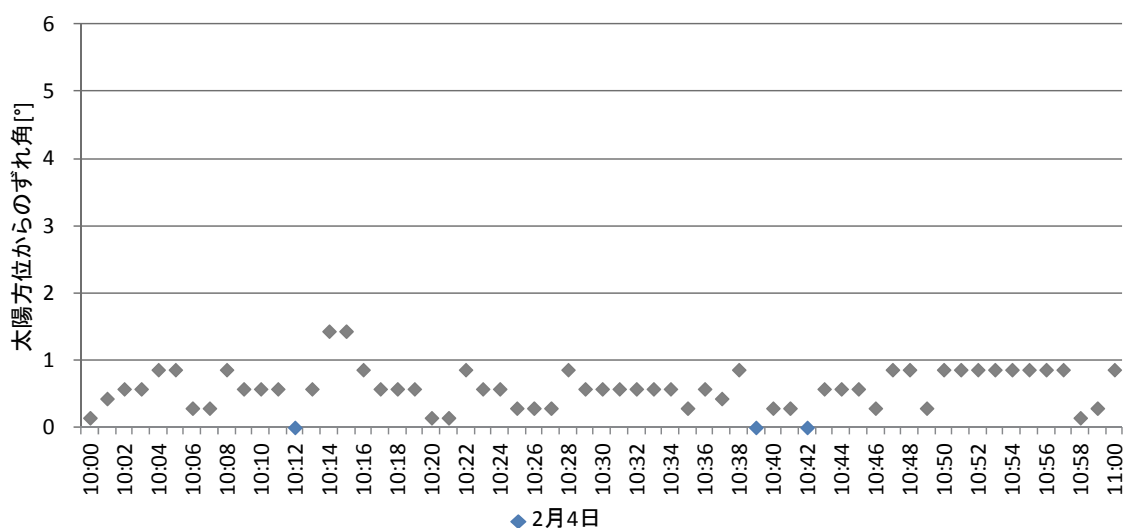


図 2.1.7-10 太陽光追尾装置の太陽方位からのずれ角 (2013 年 2 月 4 日)

図 2.1.7-10 に示す時間帯における太陽方位のずれ角の平均値は 0.57° であり、ほとんどの時刻においてずれ角は 1.0° 以下となっていた。外部風速が平穏な状況下においては、太陽光追尾装置の高い追尾性能が示された。

4) 追尾精度と結像位置の関係

一軸追尾集光型太陽光発電システムの太陽方位からのずれ角が $\pm 0.5^\circ$ の場合、リニアフレネルレンズから 930mm 離れた位置に設定される太陽光発電セル位置での結像位置のずれは 8mm 程度となることが予測される。図 2.1.7-11 追尾精度と結像位置の関係の一例を示す。リニアフレネルレンズによる結像幅を 25mm、太陽光発電セルを 30mm の設定とすれば、集光した日射量のうち、太陽光発電セル設置位置から外れる幅は追尾誤差 $\pm 0.3^\circ$ で 2.4mm(発電ロス 9.5%)、追尾誤差 $\pm 0.5^\circ$ で 5.6mm(発電ロス 22.5%)が生じる計算となる。

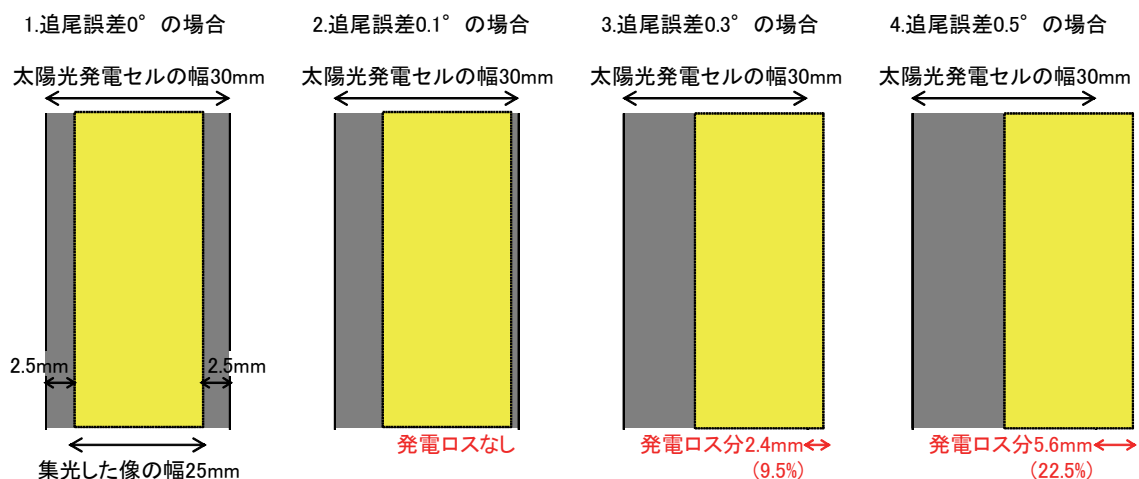


図 2.1.7-11 追尾精度と結像位置の関係

2.1.8 一軸追尾集光型太陽光発電装置の性能予測と各種改善策

1) 太陽光追尾装置の傾斜角と年間入射日射量予測

本試験体では一軸追尾型太陽光追尾装置の傾斜角を 30° に設定し、検証を行ってきた。太陽光追尾装置の最適傾斜角に関しては、建設地の緯度や日照条件によっても変わってくると思われる。

図 2.1.8-1 に東京における一軸追尾方式と追尾を行わなかった場合の年積算日射量の比較を示す。

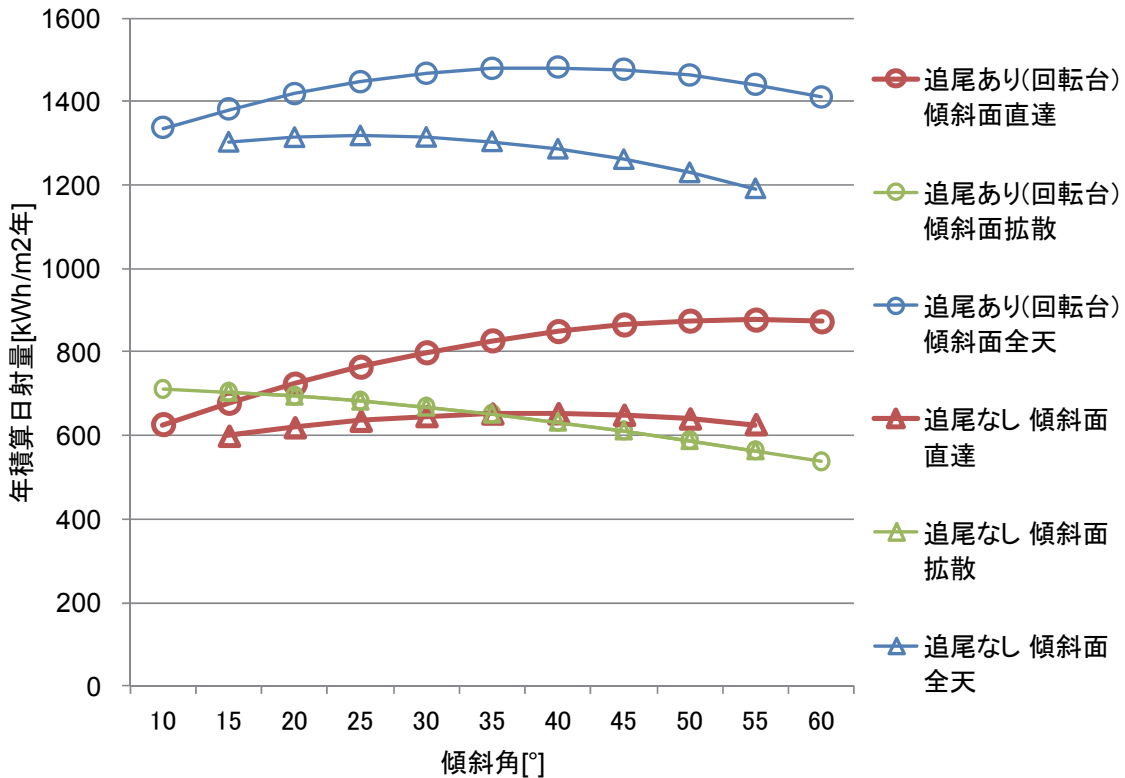


図 2.1.8-1 一軸追尾方式と追尾を行わなかった場合の年積算日射量の比較

追尾を行うことで追尾を行わなかった場合と比較して、傾斜面直達日射量が増加していることが確認できる。追尾を行った場合の傾斜面直達日射量が最大となるのは、傾斜角が 60° の時で、 877kWh/m^2 年あった。本試験体では追尾装置の傾斜角を 30° に設定したが、当該地においては傾斜角 60° の時の方が、傾斜面直達日射量が多くなることが確認された。

また追尾を行わなかった場合の全天日射量の最大値は、傾斜角 25° の時の $1,317\text{kWh/m}^2$ 年であった。

集光型太陽光発電システムの場合、発電に有効に活用できるのは全天日射量のうち、直達成分のみであると考えられる。追尾を行った場合の傾斜面直達日射量の最大値 877kWh/m^2 年に対し、追尾を行わなかった場合の傾斜面全天日射量の最大値は $1,317\text{kWh/m}^2$ 年である。東京において、集光型一軸追尾システムを採用した場合の太陽光発電セルの発電効率は、平置き型の一般的なセルと比較して、少なくとも 1.5 倍以上に設定する必要があると考えられる。

2) 一軸追尾方式に関する検討

本研究では、一軸追尾方式として、追尾装置の中央に設けた回転台を支点として、装置の傾斜角は一定のまま、太陽方位を追尾する方式(回転台追尾方式とする)を採用した。一方、装置の中央に線状の軸を設け、その軸を起点として装置を太陽方向に追尾する方式(地軸追尾方式とする)も考えられる。

回転台追尾方式と地軸追尾方式の場合の入射日射量の比較を行った。

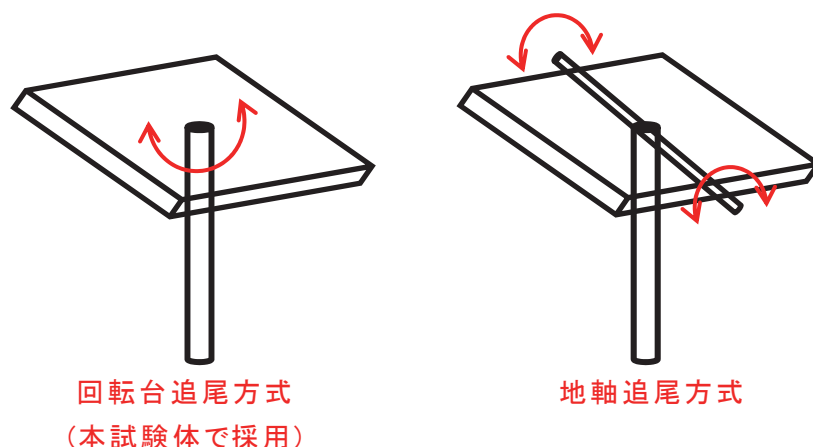


図 2.1.8-2 回転台追尾方式と地軸追尾方式の比較

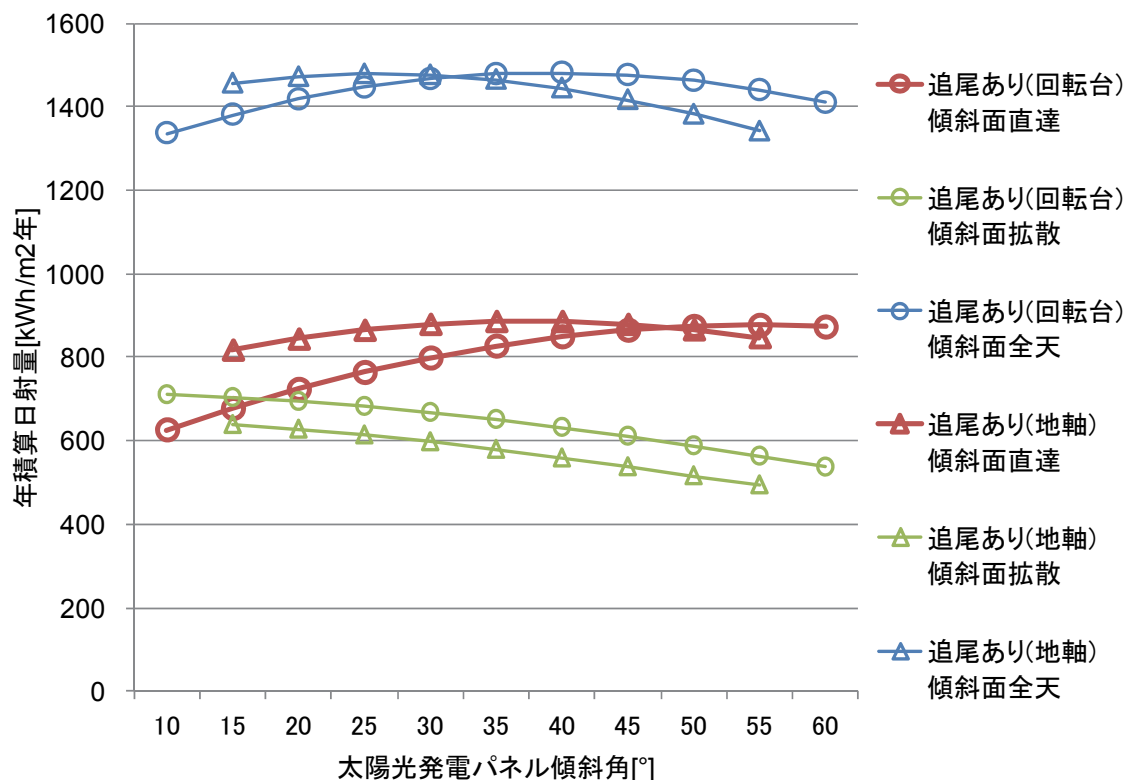


図 2.1.8-3 回転台追尾方式と地軸追尾方式の年積算日射量の比較

回転台追尾型の傾斜面直達日射量の最大値は、傾斜角 55°の 877kWh/m²年であるのに対し、地軸追尾型の傾斜面直達日射量の最大値は、傾斜角 35°の 886kWh/m²年となった。回転台追尾方式、地軸追尾方式とも入射日射量はほぼ同じであることが確認できた。

一方、太陽光追尾装置への直達日射入射角を比較すると図 2.1.8-4 のようになる。なお直達日射の入射角度(法線方向からのずれ角)は図 2.1.8-5 のように定義した。

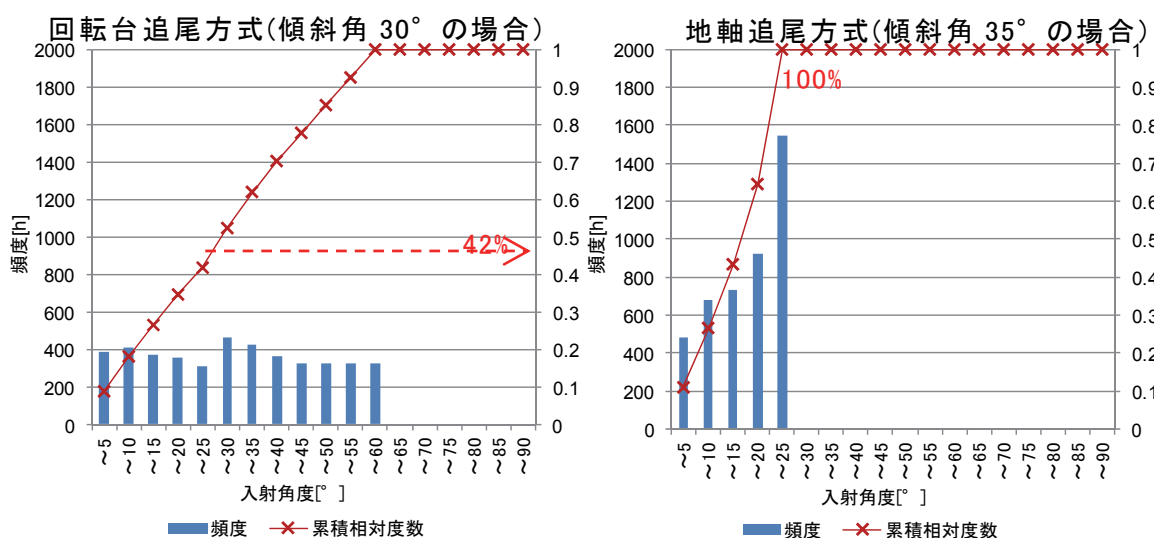


図 2.1.8-4 太陽光追尾装置への直達日射入射角の比較

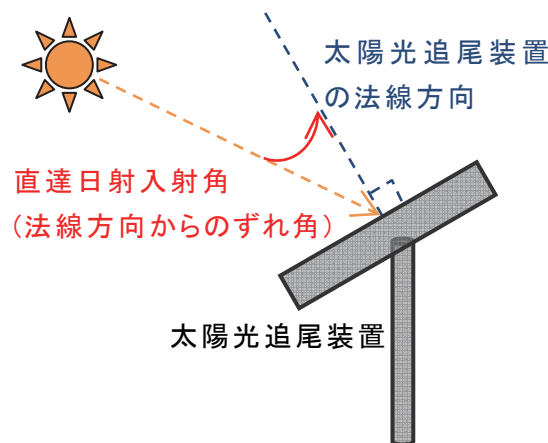


図 2.1.8-5 直達日射の入射角度(法線方向からのずれ角)の定義

本試験体で採用した回転台追尾型太陽光追尾装置(傾斜角 30°)の直達日射入射角は、 $0 \sim 60^\circ$ まで比較的均一に出現する。法線方向からのずれが 25° 以内となるのが年間(日照時間)の 42%であった。

一方、地軸追尾型パネルへの直達日射入射角は地軸を建設地の緯度に設定した場合、最大でも 23.4° となる。リニアフレネルレンズへの入射角による結像位置の変化を考慮すると、直達日射入射角の法線方向からのずれ角は小さい方が望ましいため、地軸追尾型の方が有利と考えられる。

3) 適合立地点に関する検討

集光追尾型太陽光発電システムで使用するセルの発電効率を、従来タイプの平置型太陽光発電システムで使用するセルの発電効率の 1.5 倍であると想定する。

例えば、高効率タイプの太陽光発電モジュールの発電効率を 15%(現行のトップランナーであるヘテロ接合系ハイブリットシリコン系の変換効率 $18.9\% \times$ 各種ロス考慮 $80\% = 15\%$)、従来タイプの太陽光発電モジュールの発電効率を 10%(多結晶シリコン系の変換効率 $12.5\% \times$ 各種ロス考慮 $80\% = 10\%$)と想定する。一軸追尾集光型太陽光追尾装置の追尾誤差を無視した場合、傾斜面全天日射量に対する(一軸追尾した場合の傾斜面における)直達日射量の割合が 67%を超える地域では本システムが有効であると考えられる。

また追尾装置の平均追尾誤差が仮に 0.3° であった場合には、追尾誤差による発電ロス分が 9.5%程度見込まれるため、集光追尾型太陽光発電システムの発電量もその分だけ減少することになる。追尾誤差による発電ロス分が 9.5%の場合には、直達日射量の割合が 74%を超える地域で本システムが有効であると考えられる。

2.1.9 まとめと今後の課題

追尾制御に関して残された課題としては、外部風の影響への対策が挙げられる。装置が大型であるため、風によって大きな回転モーメントが生ずる。追尾装置の低コスト化のために抵抗を抑えているが、コストを上げずに風による動揺を抑えることが課題と考えられる。このため、風速・風向と回転モーメントの関係を求め、年間を通じて抵抗をパラメータとし、それを越える風速の生起する超過確率とその抵抗を発揮させるためのコストの関係から最適の抵抗を設定する必要がある。数年に一度の強風でも回転しないような設計はコストパフォーマンスにおいて合理的でないと思われる。

本実験で用いた追尾装置の価格は 8 万円/kW 程度であるが、量産できるようになればかなりの低コスト化が可能であると考えられる。

また一軸追尾集光型太陽光発電装置に用いる太陽光発電セルとしては、例えばヘテロ接合系ハイブリットシリコン系等を想定しているが、現段階では幅 30mm 程度で 40 倍程度の集光倍率に対応できるセルは未開発である。一軸追尾集光型太陽光発電装置の発電性能検証のためには、本システムに導入可能な太陽光発電セルの開発が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ 1981-2000, 2005.8発行

2.2 雨水・地下水有効利用の検討ツールの開発

2.2.1 雨水・地下水有効利用検討ツールの概要

1) ツールの構成

建物における雑用水用途（トイレ洗浄水、緑化用水、散水など）に雨水・地下水等を利用する際の有効性を評価し、環境面・経済面で効率的な条件を選定することを目的とし、「雨水・地下水有効利用検討ツール」を作成した。

本ツールの評価手順を以下の①～④および図 2.2.1-1 に示す。

① 所在地の選択

評価対象施設近傍の降雨データ（アメダスデータベース：期間 1981～2011）を使用

② 評価対象施設の集水・水利用条件の入力

雨水集水条件・水利用条件・貯留槽容量条件・地下水等（中水等を含む）供給条件

③ 雨水・地下水等利用効率計算

日降水量データを用い、最大 30 年間の実測値に基づく水収支計算を行う。

④ 計算結果

上水削減量、コスト削減効果の計算結果を確認し、集水面積、貯水槽容量、井水等の補給水の必要量などの最適化を図る。

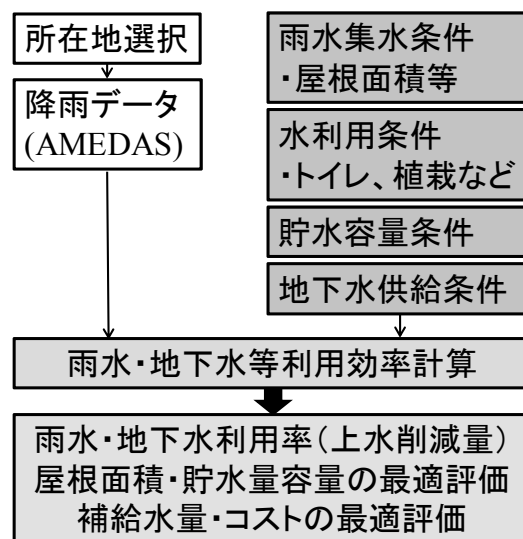


図 2.2.1-1 雨水・地下水有効利用検討ツールの評価手順

次ページの図 2.2.1-2 雨水・地下水有効利用検討シート①目次、に具体的なツールの使用方法を示す。「シート②～⑦」では、設定期間（最大 20 年）のトータルで、雨水・井水・雑排水の利用量を変化させたときの効果について検証する。操作の基本的な流れとしては、①データ入力、②マクロの計算、③現状把握、④屋根面積の検証、⑤雨水貯水槽容量の検証、⑥井水供給量の検証の 5 つのステップを踏み、施設にとって最適な水利用のあり方を探る。また、それらを同時に検証したいときのためのシート“⑦パラスタ”を使うことにより、パラスタによる検証、およびイニシャルコストと回収年月、20 年間のコスト収支の試算も可能なシートとなっている。

1. シートの概要

本シートは、雨水・井水・雑排水をそれぞれ有効活用・再利用したときの効果を調べるために作成されたものです。
初期設定での上水使用量が、雨水・井水・雑排水によってまかなわれることによる、削減水量と削減コストを算出することができます。
「シート②～⑦」では、設定期間(最大20年)のトータルで、雨水・井水・雑排水の利用量を変化させたときの効果について検証します。

2. 使い方について

順序	作業内容	備考
1	現状の建物と水に関するデータを集めます。	
2	シート「②現状入力」に、集めたデータを入力し、集計ボタンを押します。	
3	シート「③現状集計」にて、現状の上水削減量・コスト等について確認します。	
4	シート「④屋根面積変更」にて、 集水面積を変更したときの、上水使用量・コストの変化を検証します。	
5	シート「⑤貯水槽容量変更」にて、 貯水槽の容量を変更したときの、上水使用量・コストの変化を検証します。	
6	シート「⑥井水供給量変更」にて、 井水の供給量を変更したときの、上水使用量・コストの変化を検証します。	
7	シート「⑦パラスタ」にて、 屋根面積・貯水槽容量を同時に変更させた場合の上水道削減・コストの変化を検証します。	

3. 入力に必要なデータの項目リスト

No.	データ名	備考	チェック
1	建物名		
2	建設地	全国10都市から選択、気象データと水道料金に關係する	
3	検討期間	最大20年間まで設定可能	
4	屋根面積		
5	貯水槽容量		
6	井水・再生水・雑排水・その他中水供給量		
7	利用者数(平日・休日)		
8	トイレ・緑化への灌水・その他利用先への使用水量		
9	灌水設備の降雨センサーの有無		
10	貯水槽の水量低下時の、補給開始水量と補給水量		
11	井水・再生水・雑排水・その他中水の単価		

4. フローチャート

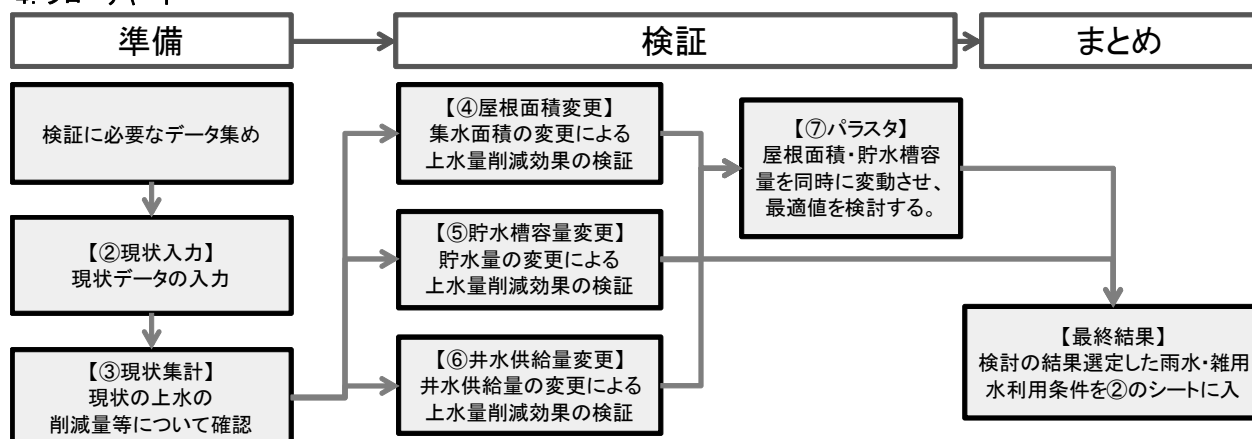


図 2.2.1-2 雨水・地下水有効利用検討シート①目次

2) 充当率の定義

本ツールで用いる上水充当率とは全利用水量に対する上水補給量の割合のことを指し、雨水充当率とは全利用水量に対する雨水集水量からオーバーフロー水量を引いた値を指す。(表 2.2.1-1)

表 2.2.1-1 充当率の定義

名称	定義
上水充当率	全利用水量に対する上水補給量の割合
雨水充当率	全利用水量に対する（雨水集水量-オーバーフロー水量）の割合
井水充当率	全利用水量に対する井水供給量の割合
再生水充当率	全利用水量に対する再生水供給量の割合
その他中水充当率	全利用水量に対するその他中水供給量の割合

3) 計算の特長

計算上の留意点を列挙する。

- ・降水量：アメダスの日降水量データを用いた。
- ・初期降雨の除去を想定：降水量 1mm/日以下での集水量はゼロと設定。
- ・降雪判定：平均気温 2℃（変更可）以下では、雪と判断し集水量はゼロとした。
- ・豪雨時の想定：集水可能な降水量上限を 100mm/日としそれ以上は流出すると想定。
- ・オーバーフロー：1 日水収支で貯水槽容量を超える水量をオーバーフロー分と想定。
オーバーフロー分は、雨水起源分とみなした。（自然現象であり調整できないため）
- ・水使用量：施設ごとに一定量を設定する。トイレ洗浄水（休日・平日）、緑化用水（夏季 4 月～10 月、冬季 11 月～3 月）の使用水量を個別に設定可能とした。
- ・水使用コスト：水道水、雨水、井水、再生水など毎に 1m³ 当たりの使用料を設定。

4) 計算方法

雨水・地下水有効利用検討ツールの計算マクロのフローを図 2.2.1-3 に示す。
本ツールは、microsoft 製の excel2007 を用いて作成した。

5) 雨水・井水有効利用検討シートのイメージ

図 2.2.1-4 に②現状入力シート、図 2.2.1-5③現状結果シートの画面のハードコピーを示す。また、その後にマクロのモジュールの内容を別紙②マクロ計算式として添付する。評価者が、②入力シートに検討に必要なデータを選択・入力し、計算マクロを実行することで、③結果シートに計算結果が出力される。本ツールを用い最適条件を決定した後には、再度最適条件を入力・計算することで、改善後の水有効利用効果を把握することができる。

雨水・雑用水有効利用効果 計算マクロ のフロー

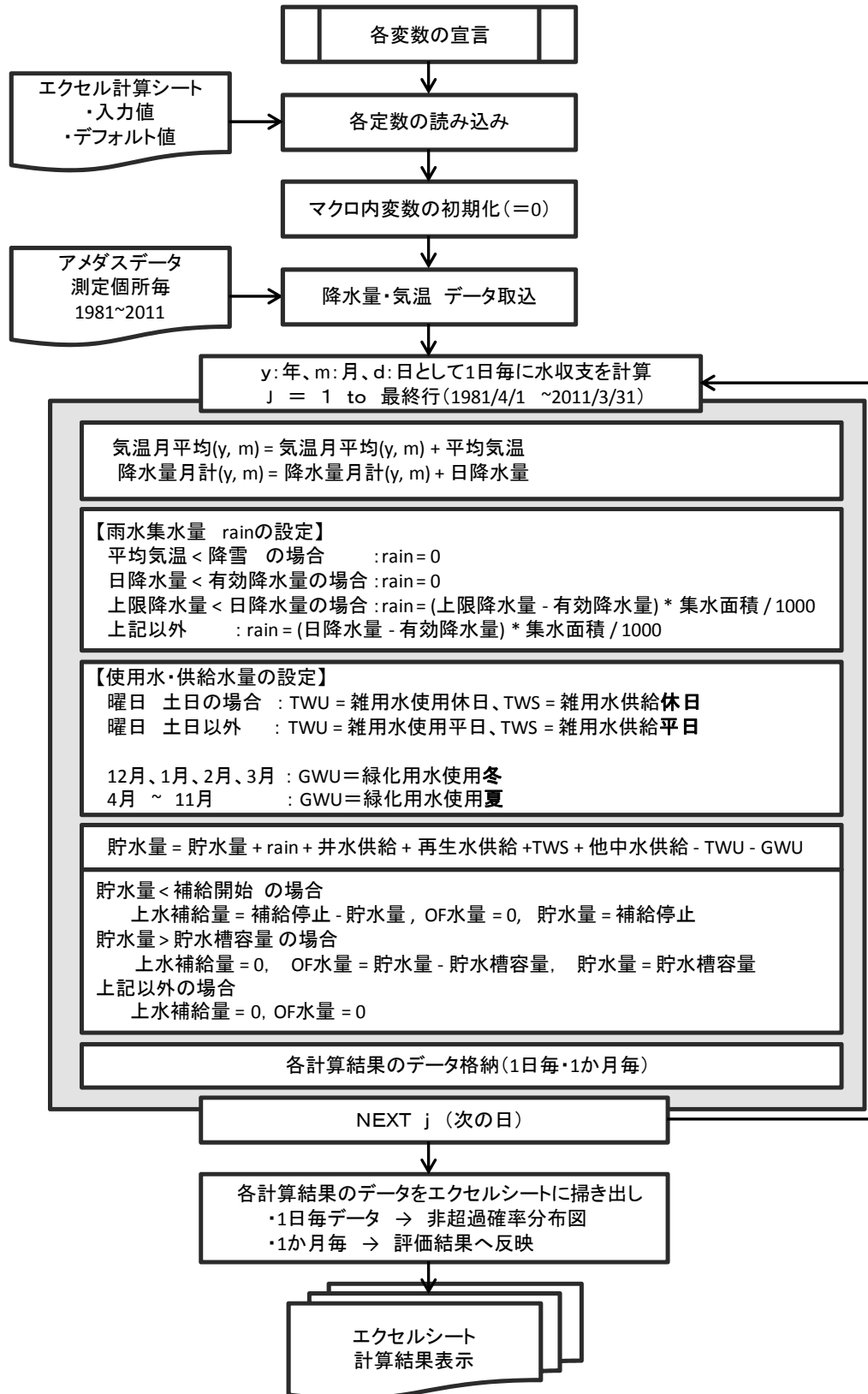


図 2. 2. 1-3 雨水・雑用水有効利用効果 計算マクロのフロー

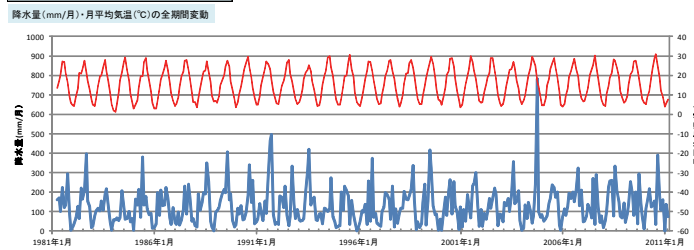
0. 初期設定		データの場所について 出力結果の保存先 選択 アメダスデータの場所 選択 <凡例> 名詞入力欄 選択欄 数値入力欄 自動算出欄 赤字 デフォルト値																																																	
1. 建物データ		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>建物名</td><td>緑化用水必要量</td></tr> <tr><td>都道府県</td><td>東京都</td></tr> <tr><td>市区町村</td><td>23区</td></tr> <tr><td>使用用途</td><td>その他</td></tr> </table> 東京国際フォーラム		建物名	緑化用水必要量	都道府県	東京都	市区町村	23区	使用用途	その他																																								
建物名	緑化用水必要量																																																		
都道府県	東京都																																																		
市区町村	23区																																																		
使用用途	その他																																																		
2. 検討期間		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>開始年月</td><td>1992</td><td>年から</td></tr> <tr><td>終了年月</td><td>2010</td><td>年まで</td></tr> </table>		開始年月	1992	年から	終了年月	2010	年まで																																										
開始年月	1992	年から																																																	
終了年月	2010	年まで																																																	
3. 集水データ		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">3-1 雨水集水データ</td></tr> <tr><td>屋根面積</td><td>4,000 m²</td></tr> <tr><td>集水率</td><td>100%</td></tr> <tr><td>回収率</td><td>1</td></tr> <tr><td>有効集水面積</td><td>4,000 m²</td></tr> <tr><td>降雪判定</td><td>2℃以下</td></tr> <tr><td>有効降水量</td><td>1 mm以上</td></tr> <tr><td>貯水槽容量</td><td>200 m³</td></tr> <tr><td>検討初期貯水率</td><td>50%</td></tr> <tr><td>検討初期貯水量</td><td>100 m³</td></tr> <tr><td colspan="2">3-2 井水集水データ</td></tr> <tr><td>井水供給量</td><td>0 L/min</td></tr> <tr><td colspan="2">× 60 min × 12 h = 0 L/日</td></tr> <tr><td colspan="2">3-3 再生水集水データ</td></tr> <tr><td>再生水供給量</td><td>0 L/min</td></tr> <tr><td colspan="2">× 60 min × 24 h = 0 L/日</td></tr> <tr><td colspan="2">3-4 雑排水集水データ</td></tr> <tr><td>年間供給量</td><td>0 m³/年</td></tr> <tr><td colspan="2"><平日></td></tr> <tr><td>雑排水供給量(平日)</td><td>0 L/日</td></tr> <tr><td colspan="2"><休日></td></tr> <tr><td>雑排水供給量(例)</td><td>0 L/日</td></tr> <tr><td colspan="2">3-5 その他中水集水データ</td></tr> <tr><td>その他中水供給量</td><td>0 L/日</td></tr> </table>		3-1 雨水集水データ		屋根面積	4,000 m ²	集水率	100%	回収率	1	有効集水面積	4,000 m ²	降雪判定	2℃以下	有効降水量	1 mm以上	貯水槽容量	200 m ³	検討初期貯水率	50%	検討初期貯水量	100 m ³	3-2 井水集水データ		井水供給量	0 L/min	× 60 min × 12 h = 0 L/日		3-3 再生水集水データ		再生水供給量	0 L/min	× 60 min × 24 h = 0 L/日		3-4 雑排水集水データ		年間供給量	0 m ³ /年	<平日>		雑排水供給量(平日)	0 L/日	<休日>		雑排水供給量(例)	0 L/日	3-5 その他中水集水データ		その他中水供給量	0 L/日
3-1 雨水集水データ																																																			
屋根面積	4,000 m ²																																																		
集水率	100%																																																		
回収率	1																																																		
有効集水面積	4,000 m ²																																																		
降雪判定	2℃以下																																																		
有効降水量	1 mm以上																																																		
貯水槽容量	200 m ³																																																		
検討初期貯水率	50%																																																		
検討初期貯水量	100 m ³																																																		
3-2 井水集水データ																																																			
井水供給量	0 L/min																																																		
× 60 min × 12 h = 0 L/日																																																			
3-3 再生水集水データ																																																			
再生水供給量	0 L/min																																																		
× 60 min × 24 h = 0 L/日																																																			
3-4 雑排水集水データ																																																			
年間供給量	0 m ³ /年																																																		
<平日>																																																			
雑排水供給量(平日)	0 L/日																																																		
<休日>																																																			
雑排水供給量(例)	0 L/日																																																		
3-5 その他中水集水データ																																																			
その他中水供給量	0 L/日																																																		
4. 水利用データ		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2"><平日></td></tr> <tr><td>利用人数</td><td>0 人</td></tr> <tr><td>男性割合</td><td>50%</td></tr> <tr><td>女性割合</td><td>50%</td></tr> <tr><td>男性利用人数</td><td>0 人</td></tr> <tr><td>女性利用人数</td><td>0 人</td></tr> <tr><td colspan="2"><利用用途先></td></tr> <tr><td colspan="2">①トイレ</td></tr> <tr><td>男性(大)</td><td>0 人/日</td></tr> <tr><td>女性(大)</td><td>0 人/日</td></tr> <tr><td>男性(小)</td><td>0 人/日</td></tr> <tr><td>女性(小)</td><td>0 人/日</td></tr> <tr><td colspan="2">②濯水</td></tr> <tr><td colspan="2"><4月～11月></td></tr> <tr><td>人工地盤緑化</td><td>2,000 m²</td></tr> <tr><td>壁面緑化</td><td>0 m²</td></tr> <tr><td>合計面積</td><td>2,000 m²</td></tr> <tr><td colspan="2"><12月～3月></td></tr> <tr><td>人工地盤緑化</td><td>20,000 L/日</td></tr> <tr><td colspan="2">③その他</td></tr> <tr><td>降雨センサー</td><td>なし</td></tr> <tr><td colspan="2">④その他</td></tr> <tr><td></td><td>L/日</td></tr> <tr><td></td><td>L/日</td></tr> </table>		<平日>		利用人数	0 人	男性割合	50%	女性割合	50%	男性利用人数	0 人	女性利用人数	0 人	<利用用途先>		①トイレ		男性(大)	0 人/日	女性(大)	0 人/日	男性(小)	0 人/日	女性(小)	0 人/日	②濯水		<4月～11月>		人工地盤緑化	2,000 m ²	壁面緑化	0 m ²	合計面積	2,000 m ²	<12月～3月>		人工地盤緑化	20,000 L/日	③その他		降雨センサー	なし	④その他			L/日		L/日
<平日>																																																			
利用人数	0 人																																																		
男性割合	50%																																																		
女性割合	50%																																																		
男性利用人数	0 人																																																		
女性利用人数	0 人																																																		
<利用用途先>																																																			
①トイレ																																																			
男性(大)	0 人/日																																																		
女性(大)	0 人/日																																																		
男性(小)	0 人/日																																																		
女性(小)	0 人/日																																																		
②濯水																																																			
<4月～11月>																																																			
人工地盤緑化	2,000 m ²																																																		
壁面緑化	0 m ²																																																		
合計面積	2,000 m ²																																																		
<12月～3月>																																																			
人工地盤緑化	20,000 L/日																																																		
③その他																																																			
降雨センサー	なし																																																		
④その他																																																			
	L/日																																																		
	L/日																																																		
5. 貯水槽データ		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>貯水槽容量</td><td>200 m³</td></tr> <tr><td>上水補給開始貯水率</td><td>30%</td></tr> <tr><td>上水補給停止貯水率</td><td>40%</td></tr> </table>		貯水槽容量	200 m ³	上水補給開始貯水率	30%	上水補給停止貯水率	40%																																										
貯水槽容量	200 m ³																																																		
上水補給開始貯水率	30%																																																		
上水補給停止貯水率	40%																																																		
6. 水料金データ		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>1ヶ月使用水量</td><td>1001m³以上</td></tr> <tr><td>上水引き込み口径</td><td>業務用40mm以上</td></tr> <tr><td>上水単価</td><td>654 円/m³</td></tr> <tr><td>雨水単価</td><td>100 円/m³</td></tr> <tr><td>井水単価</td><td>100 円/m³</td></tr> <tr><td>再生水単価</td><td>273 円/m³</td></tr> <tr><td>雑排水単価</td><td>300 円/m³</td></tr> <tr><td>その他中水単価</td><td>0 円/m³</td></tr> </table> ※下水道料金は、上水使用にのみに計上されるとし、上水料金に+250円/m³含むとした		1ヶ月使用水量	1001m ³ 以上	上水引き込み口径	業務用40mm以上	上水単価	654 円/m ³	雨水単価	100 円/m ³	井水単価	100 円/m ³	再生水単価	273 円/m ³	雑排水単価	300 円/m ³	その他中水単価	0 円/m ³																																
1ヶ月使用水量	1001m ³ 以上																																																		
上水引き込み口径	業務用40mm以上																																																		
上水単価	654 円/m ³																																																		
雨水単価	100 円/m ³																																																		
井水単価	100 円/m ³																																																		
再生水単価	273 円/m ³																																																		
雑排水単価	300 円/m ³																																																		
その他中水単価	0 円/m ³																																																		
7. 集計		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2">必要な検証データ</td></tr> <tr><td colspan="2">上記設定で集計実施 (マクロ③ 実行)</td></tr> <tr><td>計算結果 ③現状集計へ</td><td>非超過確率図 (月別データ)へ</td><td>非超過確率図 (日別データ)へ</td></tr> </table> 目次へもどる		必要な検証データ		上記設定で集計実施 (マクロ③ 実行)		計算結果 ③現状集計へ	非超過確率図 (月別データ)へ	非超過確率図 (日別データ)へ																																									
必要な検証データ																																																			
上記設定で集計実施 (マクロ③ 実行)																																																			
計算結果 ③現状集計へ	非超過確率図 (月別データ)へ	非超過確率図 (日別データ)へ																																																	

現状設定		雨水集水データ		井水集水データ		利用人数データ		利用用途データ		水料金データ	
建物名	緑化・周水必要量	屋根面積(m ²)	4,000	供給量(L/min)	再生水集水データ	年間利用人数(人)	0	利用用途データ	<トイレ>	1ヶ月使用水量	1001 m ³ 以上
用途区分	東京都	集水率(%)	100.00	1供給量(L/min)	再生水集水データ	平日利用人数(人)	150	平日使用量(L/日)	0	上水引き込み口径	業務用40mm以上
市区町村	23区	回収率		1供給量(L/min)		<平日>		休日使用量(L/日)	0	上水単価(円/m ³)	654
使用用途	その他	有効集水面積(m ²)	4,000	2供給量(L/min)	雑排水集水データ	利用人数(人)	0	<排水>	0	雨水単価(円/m ³)	100
期間		設備判定(℃以下)	2.010	3供給量(L/min)	再生水集水データ	0男性(人)	0	夏季(L/日)	0	井水単価(円/m ³)	100
1982		有効貯水量(mm以上)	30	1(平日)供給量(L/日)	再生水集水データ	1(平日)供給量(L/日)	0	冬季(L/日)	0	再生水単価(円/m ³)	273
貯水倍データ		初期貯水率(%)	100	5(休日)供給量(L/日)	再生水集水データ	<休日>		年間セクターの有無	なし	雑排水単価(円/m ³)	300
貯水容量(m ³)	200	初期貯水容量(m ³)	50	0その他	その他中水集水データ	利用人数(人)	0	<その他>	0	その他中水単価(円/m ³)	0
上水供給開始貯水率(%)	30			供給量(L/日)		0男性利用人数(人)	0	その他①(L/日)	0		
上水供給停止貯水率(%)	40					0女性利用人数(人)	0	その他②(L/日)	0		

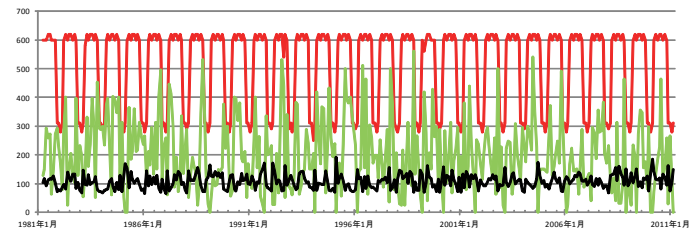
結果		上水削減額	<凡例>
上水削減水量	3,658 m ³ /年	1,847 千円/年	自動算出欄

1. 日平均値		3. 削減効果		年間使用水量		年間料金	
気温	15.5℃	3-1 水量		年間使用水量	2,427 m ³	年間料金	1,587,190 円
降水量	4.3 mm/日	上水削減率	60%	上水削減率	544 m ³	上水削減率	544,889 円
全利用水量	16,670 L/日	雨水削減率	54%	雨水削減率	0 m ³	雨水削減率	0 円
雨水集水量	14,820 L/日	3-2 コスト		井水削減率	0 m ³	井水削減率	0 円
井水給水量	0 L/日	上水単価	654 円/m ³	再生水削減率	0 m ³	再生水削減率	0 円
再生水給水量	0 L/日	雨水単価	100 円/m ³	雑排水削減率	0 m ³	雑排水削減率	0 円
雑排水給水量	0 L/日	井水単価	100 円/m ³	その他①削減率	0 m ³	その他①削減率	0 円
その他給水量	0 L/日	再生水単価	273 円/m ³	その他②削減率	0 m ³	その他②削減率	0 円
上水供給量	6,640 L/日	雑排水単価	300 円/m ³	合計	6,084 m ³ /年	合計	2,132,059 円/年
オーバーフロー水量	4,803 L/日	その他中水単価	0 円/m ³				
貯水率	53%						
2. 充当率		すべて上水利用の場合		年間使用水量合計		年間料金	
上水充当率	39.89%	単価	654 円/m ³	年間使用水量合計	6,084 m ³ /年	年間料金	3,979,252 円/年
雨水充当率	60.14%	削減額	3,979,252 円/年	削減率	2,132,059 円/年	削減率	1,847,192 円/年
井水充当率	0%	削減量	3,658 m ³ /年				
再生水充当率	0%						
雑排水充当率	0.00%						
その他中水充当率	0%						

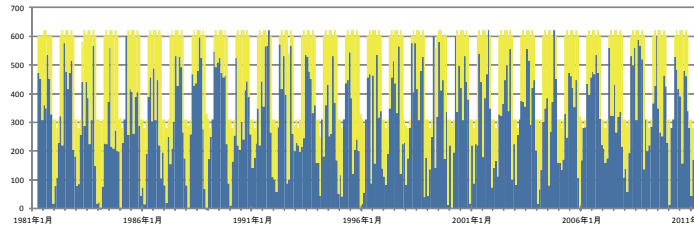
計算実施日時 2013/2/15 9:25
元データ 03 東京(練馬)
データ期間 1982～2010年



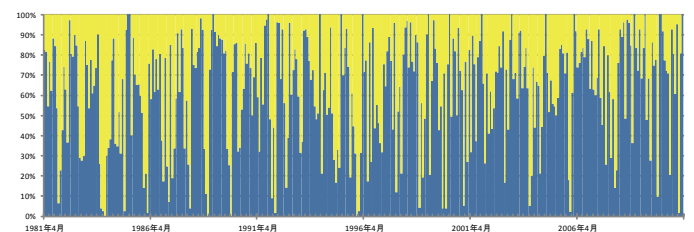
全使用水量・上水補給量(m³/月)・月平均貯水量(m³)の全期間変動：上水補給量を減らす！



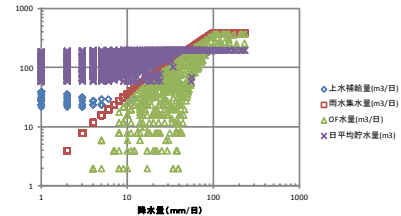
上水補給量・雑用水使用量(m³/月)の全期間変動：上水補給量を減らす！



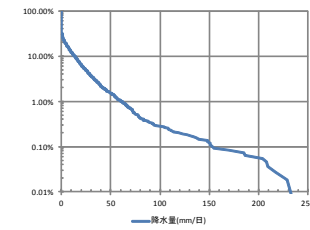
月別給水水源割合の全期間変動



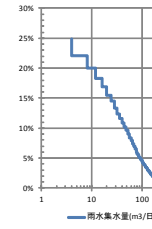
日降水量に対する日変動データ分布



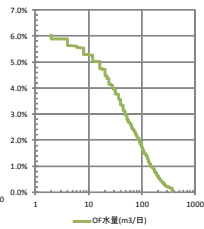
日降水量の非超過確率



日雨水集水量の非超過確率



日オーバーフロー量の非超過確率



日平均貯水量の非超過確率

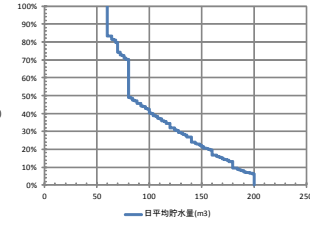


図 2.2.1-5 ③現状結果シート

【別紙②マクロ計算式】

Attribute VB_Name = "Module2"

【雨水・雑用水有効利用効果 計算マクロ】

--- 【③メイン】 -----

```
Dim wb As Workbook
Dim tw As Workbook
Dim s As Worksheet
Dim p As Worksheet
Dim objsheet As Worksheet
Dim シート名 As String
Dim j As Integer
Dim ADATA() As Variant
Dim YD() As Variant
Dim MD() As Variant
Dim DD() As Variant
Dim rng As Range
Dim 開始 As Single, 終了 As Single
```

Sub ③メイン()

```
Application.ScreenUpdating = False
開始 = Timer
```

```
Set wb = Workbooks.Open(ThisWorkbook.Path & "¥" & "アメダス_日降水量.xls")
Set tw = ThisWorkbook
```

```
Call ③月毎データ抽出
Call ③現状集計
```

```
wb.Close
```

```
終了 = Timer
MsgBox ("終了しました。計算時間は" & 終了 - 開始 & "秒でした。")
```

End Sub

--- 【LastRow】 -----

```
Function LastRow(st As Worksheet, c As Long)
    LastRow = st.Cells(st.Rows.Count, c).End(xlUp).Row
End Function
```

---【③月毎データ抽出】-----

Sub ③月毎データ抽出()

Dim 気温月平均(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 降水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 全使用水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 雨水集水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 井水給水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 再生水給水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 雑用水給水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 他中水給水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 上水補給量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim OF 水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim 貯水量月計(1 To 31, 1 To 12) As Double

Dim y As Integer

Dim m As Integer

Dim d As Integer

Dim 最終行 As Long

Dim sheetobj As Worksheet

Dim od As Worksheet

'For i = 1 To wb.Worksheets.Count

Set s = tw.Worksheets("マクロ計算用")

i = s.Cells(3, 5)

For y = 1 To 31

For m = 1 To 12

気温月平均(y, m) = 0

降水量月計(y, m) = 0

全使用水量月計(y, m) = 0

雨水集水量月計(y, m) = 0

井水給水量月計(y, m) = 0

再生水給水量月計(y, m) = 0

雑用水給水量月計(y, m) = 0

他中水給水量月計(y, m) = 0

上水補給量月計(y, m) = 0

OF 水量月計(y, m) = 0

```

        貯水量月計(y, m) = 0
    Next m
Next y

集水面積 = s.Cells(6, 4)
降雪 = s.Cells(7, 4)
有効降水量 = s.Cells(8, 4)
上限降水量 = s.Cells(8, 7)
貯水槽容量 = s.Cells(9, 4)
    補給開始 = s.Cells(27, 4)
    補給停止 = s.Cells(28, 4)
井水供給 = s.Cells(11, 6) / 1,000
再生水供給 = s.Cells(13, 6) / 1,000
雑用水供給平日 = s.Cells(15, 4) / 1,000
雑用水供給休日 = s.Cells(16, 4) / 1,000
他中水供給 = s.Cells(17, 4) / 1,000

雑用水使用平日 = s.Cells(18, 4) / 1,000
雑用水使用休日 = s.Cells(19, 4) / 1,000
緑化用水使用夏 = s.Cells(24, 4) / 1,000
緑化用水使用冬 = s.Cells(25, 4) / 1,000

貯水量 = 貯水槽容量 * s.Cells(10, 4) / 100

Set sheetobj = wb.Worksheets(i)
最終行 = LastRow(sheetobj, 1)

ADATA = Range(sheetobj.Cells(1, 1), sheetobj.Cells(最終行, 7))
ReDim DD(最終行, 12)

For j = 1 To 最終行
    y = ADATA(j, 1) - 1980
    m = ADATA(j, 2)
    d = ADATA(j, 3)
    DD(j, 1) = y + 1980 & "/" & m & "/" & d

    日降水量 = ADATA(j, 6)
    平均気温 = ADATA(j, 7) / 10

    気温月平均(y, m) = 気温月平均(y, m) + 平均気温

```

降水量月計(y, m) = 降水量月計(y, m) + 日降水量

If 平均気温 < 降雪 Then

rain = 0

ElseIf 日降水量 < 有効降水量 Then

rain = 0

ElseIf 上限降水量 < 日降水量 Then

rain = (上限降水量 - 有効降水量) * 集水面積 / 1,000

Else

rain = (日降水量 - 有効降水量) * 集水面積 / 1,000

End If

'j=1 のとき、date=1981/04/01(水)より、MOD(j,7)=4(土)、5(日)

曜日 = j Mod 7

If 曜日 = 4 Then

TWU = 雑用水使用休日

TWS = 雑用水供給休日

ElseIf 曜日 = 5 Then

TWU = 雑用水使用休日

TWS = 雑用水供給休日

Else

TWU = 雑用水使用平日

TWS = 雑用水供給平日

End If

If m = 12 Then

GWU = 緑化用水使用冬

ElseIf m <= 3 Then

GWU = 緑化用水使用冬

Else

GWU = 緑化用水使用夏

End If

貯水量 = 貯水量 + rain + 井水供給 + 再生水供給 + TWS + 他中水供給 - TWU - GWU

If 貯水量 < 補給開始 Then

上水補給量 = 補給停止 - 貯水量

OF水量 = 0

```

        貯水量 = 補給停止
    ElseIf 貯水量 > 貯水槽容量 Then
        上水補給量 = 0
        OF 水量 = 貯水量 - 貯水槽容量
        貯水量 = 貯水槽容量
    Else
        上水補給量 = 0
        OF 水量 = 0
    End If

    DD(j, 2) = 平均気温
    DD(j, 3) = 日降水量
    DD(j, 4) = TWU + GWU      '全使用水量
    DD(j, 5) = rain          '雨水集水量
    DD(j, 6) = 井水供給
    DD(j, 7) = 再生水供給
    DD(j, 8) = TWS           '雑用水給水量月計(y, m)
    DD(j, 9) = 他中水供給
    DD(j, 10) = 上水補給量
    DD(j, 11) = OF 水量
    DD(j, 12) = 貯水量

```

```

全使用水量月計(y, m) = 全使用水量月計(y, m) + TWU + GWU
雨水集水量月計(y, m) = 雨水集水量月計(y, m) + rain
井水給水量月計(y, m) = 井水給水量月計(y, m) + 井水供給
再生水給水量月計(y, m) = 再生水給水量月計(y, m) + 再生水供給
雑用水給水量月計(y, m) = 雑用水給水量月計(y, m) + TWS
他中水給水量月計(y, m) = 他中水給水量月計(y, m) + 他中水供給
上水補給量月計(y, m) = 上水補給量月計(y, m) + 上水補給量
OF 水量月計(y, m) = OF 水量月計(y, m) + OF 水量
貯水量月計(y, m) = 貯水量月計(y, m) + 貯水量

```

```
Next j
```

```
tw.Worksheets("超過確率データ (日)").Range("A3:M" & 最終行 + 2) = DD
```

```
Set od = tw.Worksheets("超過確率データ (日)")
```

```
od.Range("D4:D10942").Copy Destination:=od.Range("P3")
```

```
od.Range("P3:P10941").Sort Key1:=od.Range("P3"), order1:=xlAscending
```

```
od.Range("F4:F10942").Copy Destination:=od.Range("Q3")
```

```
od.Range("Q3:Q10941").Sort Key1:=od.Range("Q3"), order1:=xlAscending
```



```

od.Range("K4:K10942").Copy Destination:=od.Range("R3")
od.Range("R3:R10941").Sort Key1:=od.Range("R3"), order1:=xlAscending
od.Range("L4:L10942").Copy Destination:=od.Range("S3")
od.Range("S3:S10941").Sort Key1:=od.Range("S3"), order1:=xlAscending
od.Range("M4:M10942").Copy Destination:=od.Range("T3")
od.Range("T3:T10941").Sort Key1:=od.Range("T3"), order1:=xlAscending

```

'結果の出力 ★個別にシートに書き出すと時間がかかるため、一括で出力すること★

```

シート名 = wb.Worksheets(i).Name
Set p = tw.Worksheets("マクロ結果")
ReDim YD(33, 12)

```

```

YD(1, 1) = シート名
YD(2, 2) = "平均気温(℃)"
YD(2, 3) = "降水量(mm/年)"
YD(2, 4) = "全使用水量(m3/y)"
YD(2, 5) = "雨水集水量(m3/y)"
YD(2, 6) = "井水給水量(m3/y)"
YD(2, 7) = "再生水給水量(m3/y)"
YD(2, 8) = "雑用水給水量(m3/y)"
YD(2, 9) = "その他注水給水量(m3/y)"
YD(2, 10) = "上水補給量(m3/y)"
YD(2, 11) = "OF 水量(m3/y)"
YD(2, 12) = "貯水量(m3/y)"

```

```

For y = 1 To 31
    YD(y + 2, 1) = y + 1980 & "年"

```

```

For m = 1 To 12
    YD(y + 2, 2) = YD(y + 2, 2) + 気温月平均(y, m)
    YD(y + 2, 3) = YD(y + 2, 3) + 降水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 4) = YD(y + 2, 4) + 全使用水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 5) = YD(y + 2, 5) + 雨水集水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 6) = YD(y + 2, 6) + 井水給水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 7) = YD(y + 2, 7) + 再生水給水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 8) = YD(y + 2, 8) + 雑用水給水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 9) = YD(y + 2, 9) + 他中水給水量月計(y, m)
    YD(y + 2, 10) = YD(y + 2, 10) + 上水補給量月計(y, m)
    YD(y + 2, 11) = YD(y + 2, 11) + OF 水量月計(y, m)

```

```

YD(y + 2, 12) = YD(y + 2, 12) + 貯水量月計(y, m)
Next m
YD(y + 2, 2) = YD(y + 2, 2) / 365
YD(y + 2, 12) = YD(y + 2, 12) / 365
Next y

```

```

p.Range("A1:M34") = YD '計算時間短縮のポイント

```

'月別データ掃出し

```

ReDim MD(371, 12)

```

```

For y = 1 To 31
  For m = 1 To 12

```

```

    If m = 2 & y Mod 4 = 0 Then '1月の日数設定
      days = 29
    ElseIf m = 2 & y Mod 4 <> 0 Then
      days = 28
    End If
    If m = 4 Or 6 Or 9 Or 11 Then
      days = 30
    Else
      days = 31
    End If

```

```

MD((y - 1) * 12 + m - 1, 0) = y + 1980 & "年"
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 1) = y + 1980 & "年" & m & "月"
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 2) = 気温月平均(y, m) / 日
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 3) = 降水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 4) = 全使用水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 5) = 雨水集水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 6) = 井水給水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 7) = 再生水給水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 8) = 雑用水給水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 9) = 他中水給水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 10) = 上水補給量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 11) = OF水量月計(y, m)
MD((y - 1) * 12 + m - 1, 12) = 貯水量月計(y, m) / 日

```

```

Next m

```

Next y

Set od = tw.Worksheets("超過確率データ")

od.Range("A3:M374") = MD '計算時間短縮のポイント

od.Range("D6:D365").Copy Destination:=od.Range("P6")
od.Range("P6:P365").Sort Key1:=od.Range("P6"), order1:=xlAscending

od.Range("F6:F365").Copy Destination:=od.Range("Q6")
od.Range("Q6:Q365").Sort Key1:=od.Range("Q6"), order1:=xlAscending

od.Range("K6:K365").Copy Destination:=od.Range("R6")
od.Range("R6:R365").Sort Key1:=od.Range("R6"), order1:=xlAscending

od.Range("L6:L365").Copy Destination:=od.Range("S6")
od.Range("S6:S365").Sort Key1:=od.Range("S6"), order1:=xlAscending

od.Range("M6:M365").Copy Destination:=od.Range("T6")
od.Range("T6:T365").Sort Key1:=od.Range("T6"), order1:=xlAscending

'Next i

End Sub

--- 【③現状集計】 -----

Sub ③現状集計()

Attribute ③現状集計.VB_ProcData.VB_Invoke_Func = " ¥n14"

Dim result() As Variant

Set p = tw.Worksheets("マクロ結果")

result = p.Range("D44:D56")

p.Range("E44:E56") = result

'PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

End Sub

2.2.2 ケーススタディ

1) ケーススタディケース

本研究のアンケート調査の結果得られた A スタジアムのデータを用い、以下の 2 ケースについて試算を行った。各々結果をケーススタディ例として示す。

【ケーススタディ 1】雑用水用途全般を対象とした雨水・地下水有効利用の場合

【ケーススタディ 2】緑化用水のみを対象とした雨水利用の場合

2) 【ケーススタディ 1】雑用水用途全般を対象とした雨水・地下水有効利用の場合

(1) 設定条件

雑用水用途としてトイレ洗浄水、緑化用水に対し、積極的に雨水・地下水の有効利用を行った場合における効率的な集水・再利用水の利用条件を検討した。

(a) 主な設定値

- ・施設利用者数 : 休日 約 10,000 人、平日約 330 人
→ トイレ洗浄水 16,300m³/年、
- ・緑化面積 : 壁面緑化 2,000m²+芝生グラウンド 5,000m²
→ 緑化用水 21,000m³/年
- ・集水屋根面積 : 19,000m² 固定
- ・貯水槽容量 : 現状 700m³

(b) 最適化の方針

- ・雨水充当率 : 最大化
- ・水利用コスト削減 : 最大化
- ・井水供給量 : 有効な揚水量の把握

(2) 初期条件における雨水有効利用効果

初期条件における雨水有効利用効果を図 2.2.2-1 に示す。年間使用水量 37,307m³/年の 44.87%の 16,738 m³/年を雨水で充当し、8,358 千円/年の上水削減額と算定された。本施設の特徴として、休日と平日の使用水量の差が非常に大きいため、オーバーフロー量が約 9,000m³/年と使用水量の 24%と比較的多い値になっている。

資料設定												
建物データ		雨水集水データ		井水集水データ		利用人数データ		利用用途データ		水料金データ		
建物名	ASTシアタム(緑化用水必要量)	屋根面積(m ²)	19,000	供給量(L/min)	0	年間利用人数(人)	1,130,000	<トレ>		1ヶ月使用水量	100ml以上	
所在地	東京都	集水率(%)	100.00	再生水集水データ		休日使用量(L/日)	3,000	平日使用量(L/日)	4,728	本町込込日白	本町込込日白	
23区		回収率	100%	供給量(L/min)	0	休日利用人数(人)	<平日>	休日使用量(L/日)	14,130	上水原価(円/m ³)	業務用40mm以上	
使用用途	その他	有効集水面積(m ²)	19,000	雑排水集水データ		利用人数(人)	333	上排水		排水原価(円/㎡)	854	
期間		設置判定(℃以下)	2	年間供給量(m ³ /年)	0	男性(人)	233	夏(1/日)		0	井水原価(円/㎡)	100
1982	2,010	有効集水面積(mm以上)	1	(平日)供給量(L/日)	0	女性(人)	100	冬(1/日)		0	井水原価(円/㎡)	100
貯水データ		初期貯水量(L)	50	(休日)供給量(L/日)	0	<休日>		雨前セメントの有無		0	再生水原価(円/㎡)	273
貯水容量(m ³)	700	初期貯水量(%)	350	その他中水集水データ		利用人数(人)	10,000	<その他>		0	その他中水原価(円/㎡)	0
上水補給開始貯水率(%)	30			供給量(L/日)		0	男性利用人数(人)	7,000	その他(L/日)	0		
上水補給停止貯水率(%)	40					0	女性利用人数(人)	3,000	その他(L/日)	0		

結果	上水削減率
上水削減水量	上水削減率
16,738 m ³ /年	8,358 千円/年

1. 日平均値	3. 削減効果	年間使用水量	年間料金
気温	3-1 水量	年間使用水量	年間料金
降水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
全利用水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
雨水集水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
雨水給水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
再生水給水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
雑排水給水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
その他中水給水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
上水補給量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
オーバーフロー水量	上水削減率	年間使用水量	年間料金
貯水率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
上水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
雨水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
井水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
再生水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
雑排水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金
その他中水充当率	上水削減率	年間使用水量	年間料金

計算実施日時	元データ	データ期間
2013/2/26 19:53	03_東京(緑馬)	1982~2010年

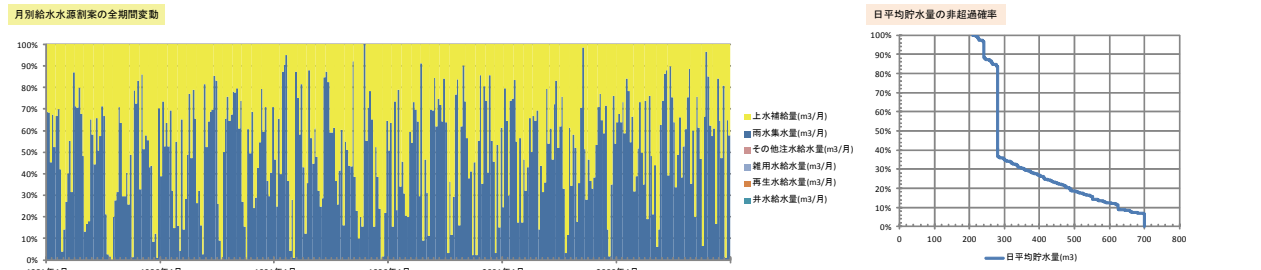
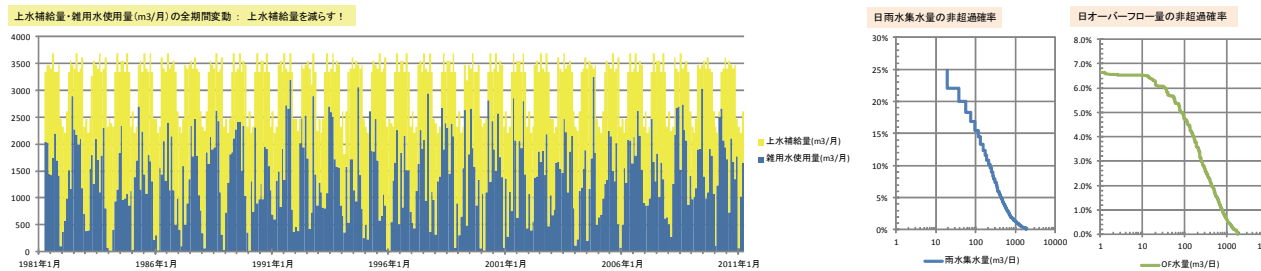
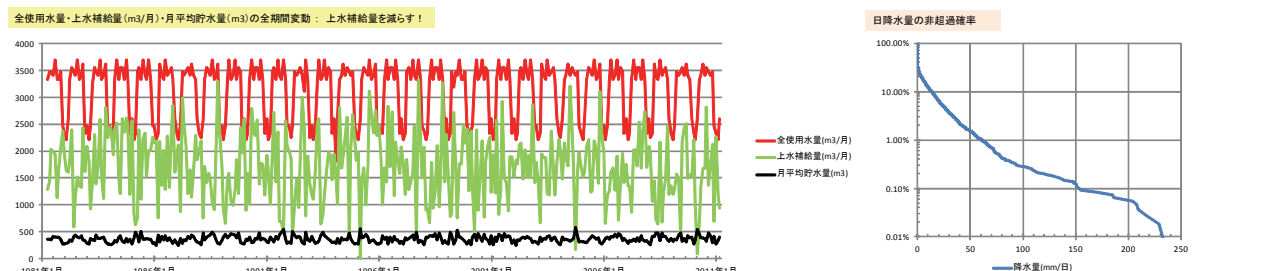
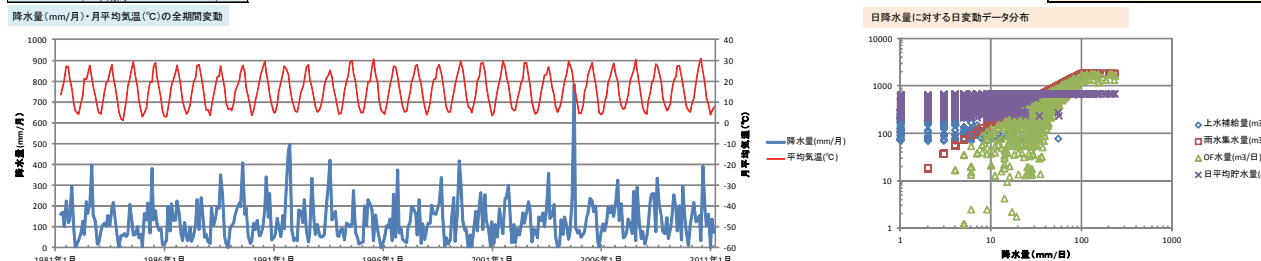


図 2.2.2-1 ケーススタディ 1 初期条件における雨水有効利用効果 (屋根面積 19,000m²、貯水槽容量 700m³ → 雨水充当率 44.87%)

(3) 貯水槽容量・屋根面積の最適化検討

貯水槽容量に比例して上水削減量・削減額が変化するが、現状の 700m³以上に増加させても顕著な増加は無く、貯水槽設置費用が比較的高いため、現状の 700m³が妥当であると判断した。

【貯水槽容量変更グラフ】

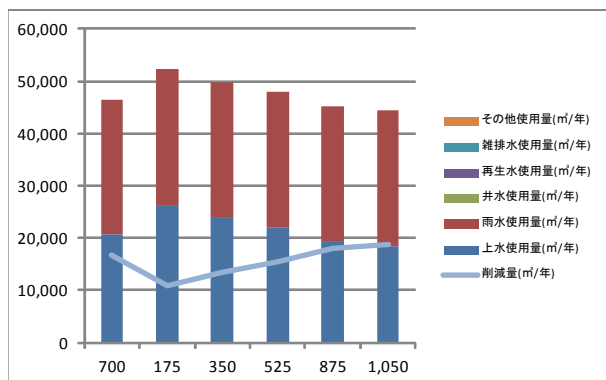


図-1 上水削減量変動グラフ

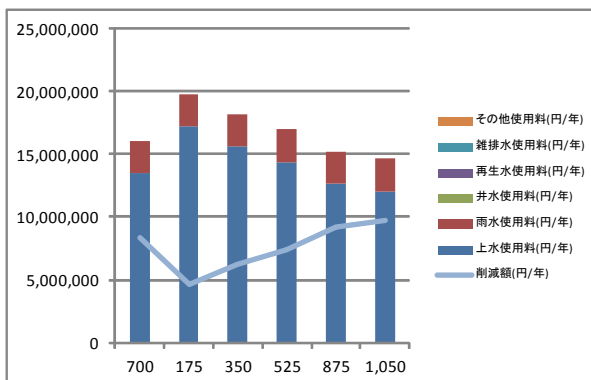


図-2 上水削減コスト変動グラフ

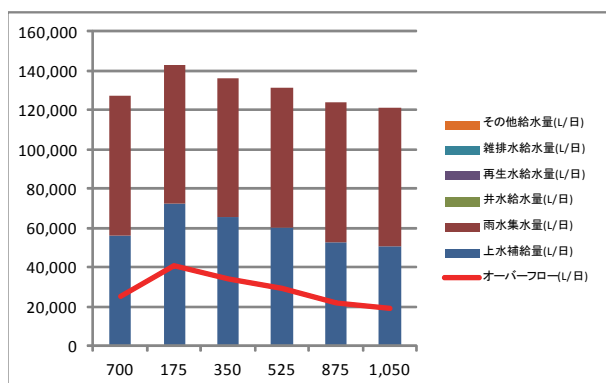


図-3 オーバーフロー変動グラフ

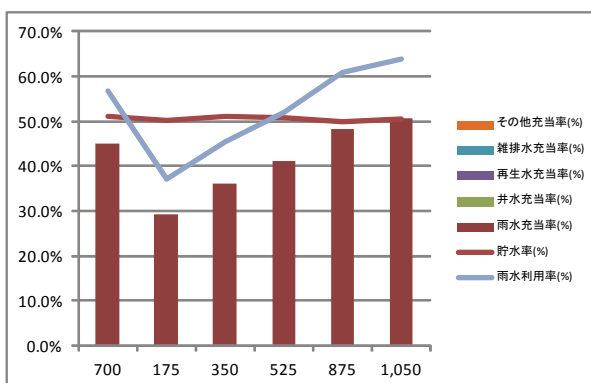


図-4 雨水利用率変動グラフ

図 2.2.2-2 ケーススタディ 1 貯水槽容量の検討
(175~1,050m³) (屋根面積 19,000m² に固定)

屋根面積を現状の 19,000m²以上としても上水削減量・削減額はほとんど増加しない。逆に屋根面積を減少させると上水削減量が減るため、現状の値が適切である。

【集水面積変更効果グラフ】

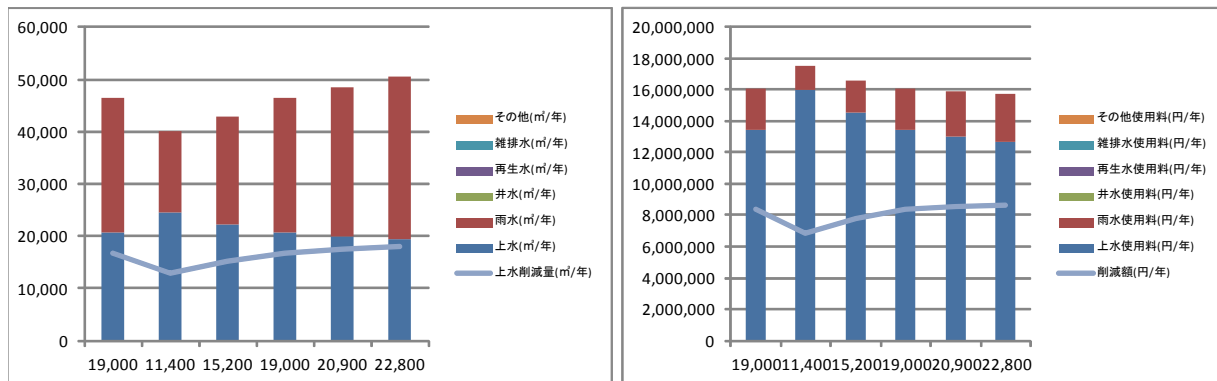


図-1 上水削減量変動グラフ

図-2 上水削減コスト変動グラフ

図 2.2.2-3 ケーススタディ 1 屋根面積の検討
(11,400~22,800m²) (貯水槽容量 700m³に固定)

(4) 井水供給量の最適化検討

井水（揚水した地下水）を貯水槽に供給した場合の上水削減量、上水削減コストの変動を図 2.2.2-4 に示す。1 日当たりの稼働時間を 12 時間／日での井水供給速度（L/分）を 50L/分~100L/分とすることで、上水をほとんど必要としない状態となる。

雨水は季節によっては、降雨の無い期間が続き貯水量が枯渇し、どうしても上水の補給が必要となる。一方、井水は天候によらず安定して供給することが可能なので、水量がそれほど大きくなくても貯水槽の貯水率を高く維持でき、貯水槽を大きくしなくても上水使用量の削減が可能となる。

ただし、地下水は水質や採取可能量の地域変動が大きく、揚水し利用する場合には法および条例の規制を考慮する必要がある。揚水井戸吐出口 6cm² 以下、東京都では敷地あたり日揚水量 10m³ 以下（揚水量上限を定めていない自治体もある）であれば、規制対象外となる場合が多いが、実施においては関係する自治体に相談し確認を行う必要がある。

【井水供給量変更グラフ】

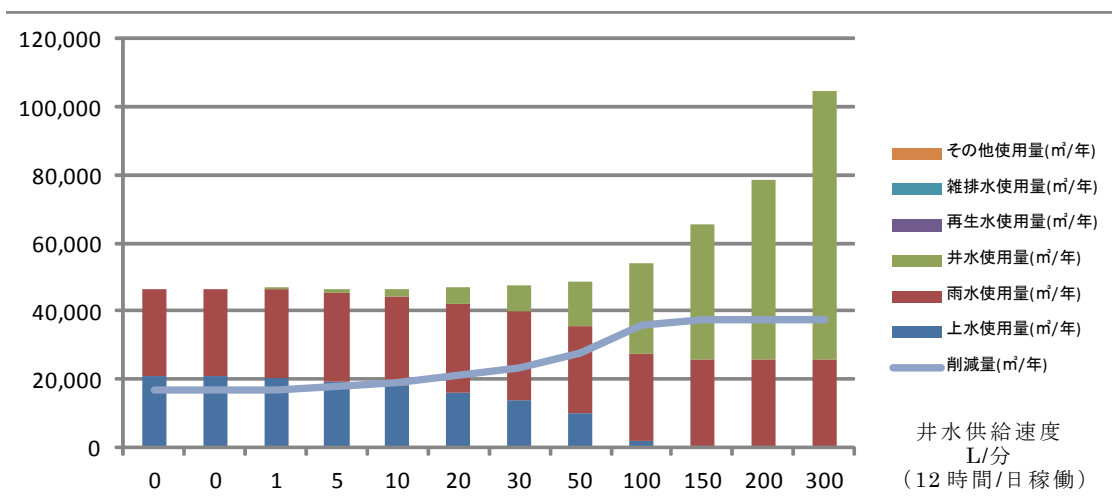


図-1 上水削減量変動グラフ

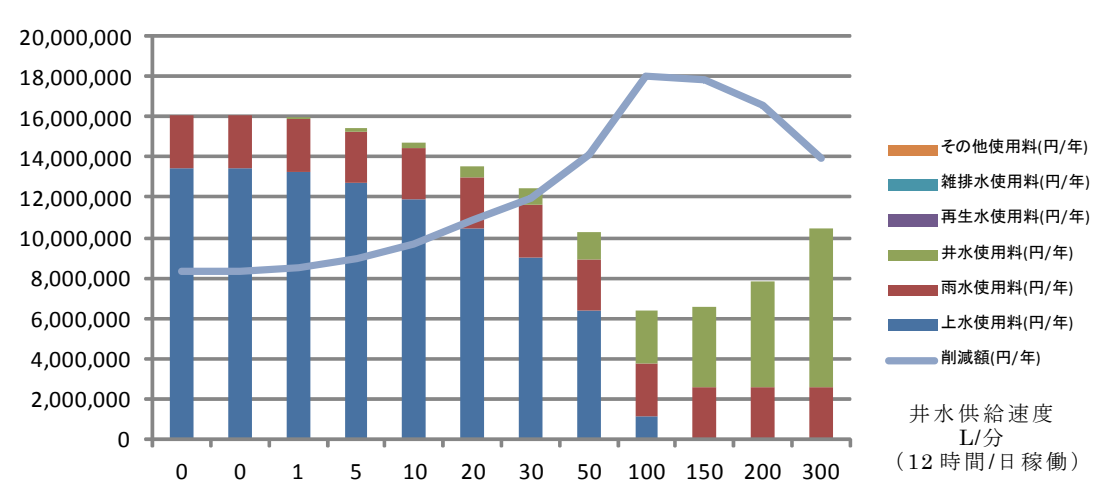


図-2 上水削減コスト変動グラフ

図 2.2.2-4 ケーススタディ 1 井水供給効果の検討
(屋根面積 19,000m²、貯水槽容量 700m³に固定)

3) 【ケーススタディ 2】緑化用水のみを対象とした雨水利用の場合

(1) 設定条件

雑用水用途として緑化用水のみに対し、雨水利用を中心にエネルギー自立型を目指した場合における効率的な集水条件を検討した。

(a) 主な設定値

- ・緑化面積 : 壁面緑化 2,000m² → 緑化用水 約 6,000m³/年
- ・集水屋根面積 : 1,000 ~ 6,000m²
- ・貯水槽容量 : 100 ~ 600m³

(b) 最適化の方針

- ・集水屋根面積、貯水槽容量 の最適化を把握
- ・雨水充当率 : ある程度有効かつ費用対効果が見込める範囲

(2) 集水面積の最適値検討

屋根面積 1,000 ~ 6,000m² の範囲における上水削減量・上水削減コストの計算結果を図 2.2.2-5 に示す。屋根面積に比例して集水可能な雨水量は増えるが、集水した雨水の全てを使用することはできず、貯水槽容量を超える水は、オーバーフローさせることになる。屋根面積 4,000m² では、1 年間で約 5,400m³ の雨水が集水可能であり、本ケーススタディに必要な緑化用水約 6,000m³/年の 90%に相当する量である。しかし、集水した雨水の内

屋根面積の増加に伴い上水削減量・上水削減コストは増加するが、4,000m² 以上とすると増加率が小さくなっている。

【集水面積変更効果グラフ】

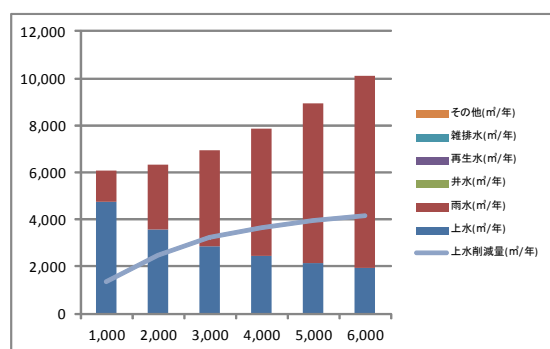


図-1 上水削減量変動グラフ

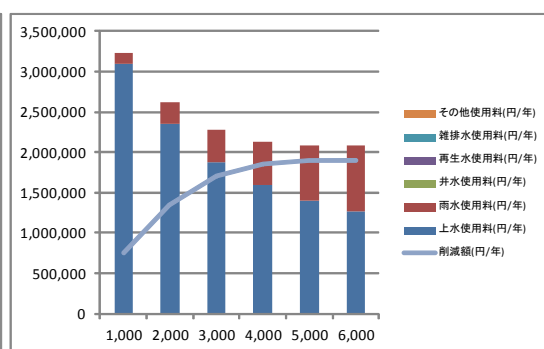


図-2 上水削減コスト変動グラフ

図 2.2.2-5 屋根面積の検討 (1,000~6,000m²) (貯水槽容量 200m³ に固定)

(3) 貯水槽容量の最適化検討

屋根面積 4,000m²に固定し、貯水槽容量を 100~600m³の範囲で変動させた場合の上水削減量・上水使用コストなどの計算結果を図 2.2.2-6 に示す。

貯水槽容量に比例して、上水削減量・削減額・雨水充当率は増加し、オーバーフロー量は減少する。貯水槽 200m³の場合の雨水充当率 60%・上水削減額 184 万円/年に対し、貯水槽 400m³の場合の雨水充当率 71%・上水削減額 226 万円/年、貯水槽 600m³の場合の雨水充当率 76%・上水削減額 248 万円/年となった。貯水槽容量を大きく取れば集水可能水量が増えて雨水充当率も増加するが、上水削減額の伸びは頭打ちになる傾向が認められる。

貯水槽容量を大きくする場合には、設置スペースの確保や設置費用の妥当性を考慮する必要がある。本ケースの場合、上水削減量・雨水充当率からは貯水槽容量として 200~400m³の範囲が適当であると判断できる。設置スペースに余裕があり、設置費用も許容できるのであれば 400 m³を上限に貯水槽容量を決定するとよい。一般的には、設置スペース・費用ともに必要最小限に抑える要望が高いと想定されるので、最小容量としては 200 m³が妥当である。

設定条件が変われば最適な貯水槽容量は変化するため、本検討事例を参考に今後貯水槽容量の最適化を判断する目安として雨水充当率 60%を満たすこととする。

【貯水槽容量変更グラフ】

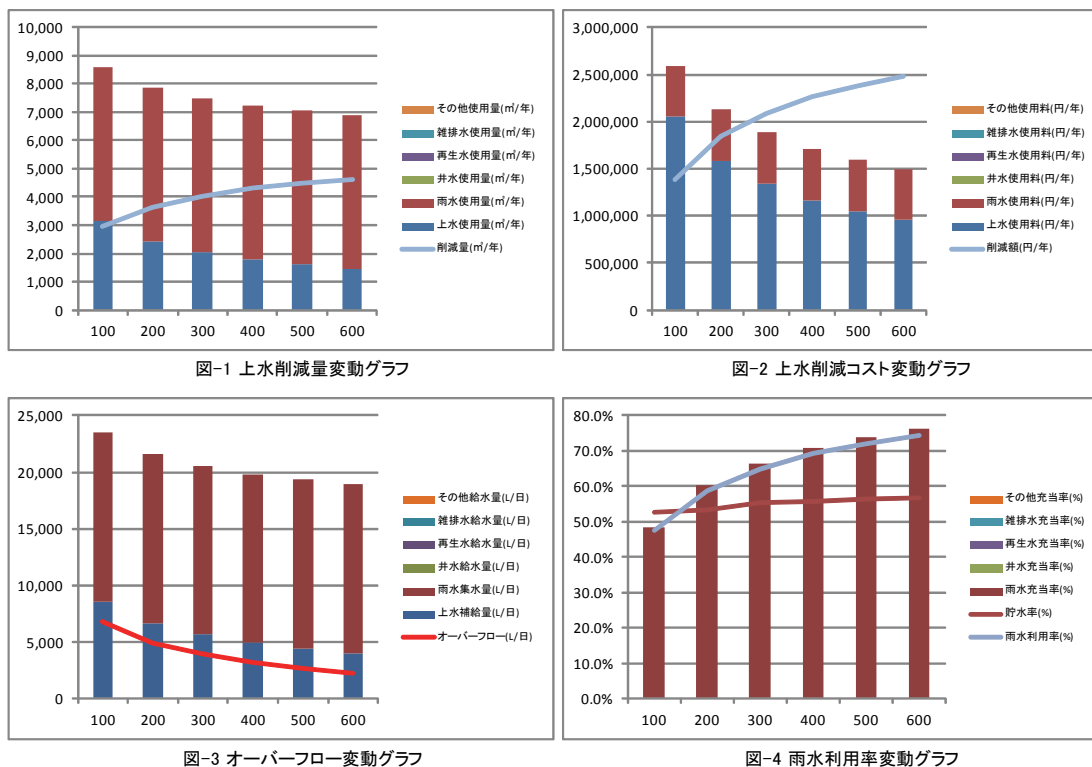


図 2.2.2-6 貯水槽容量の検討(100~600m³) (屋根面積 4000m²に固定)

(4) ケーススタディ 2 最適条件での検討結果

ケーススタディ 2 の最適条件として、屋根面積 $4,000\text{m}^2$ ・貯水槽容量 200m^3 を選定した。本最適条件における雨水有効利用効果の評価結果を図 2.2.2-7 に示す。

壁面緑化 $2,000\text{m}^2$ の生育維持に必要となる水使用量約 $6,000\text{m}^3/\text{年}$ の内、 $3,658\text{ m}^3/\text{年}$ を雨水で充当し、全て上水を用いた場合と比較して $1,847$ 千円/年のランニングコストを削減できる結果となった。

全使用水量を雨水で充当するためには、より大きい貯水槽と屋根面積が必要となるが、施設設置の費用がかさむと同時に使いきれない雨水をオーバーフローさせてしまうことになり、環境面・経済面の両面で逆に負担増になってしまう危険性がある。

よって長期データをもとに、環境面・経済面の両面から評価すると本ケースでは、雨水充当率は 60% を満たす施設条件が妥当であるとの結論に至った。

現状設定									
建物データ		雨水集水データ		井水集水データ		利用人数データ		利用用途データ	
建物名	レストランA(給水用必要)	屋根面積(m ²)	4,000	供給量(L/min)	0	年間利用人数(人)	0	<トイン>	1ヶ月使用水量
都道府県	東京都	集水率(%)	100.00	再生水集水データ	0	平日利用人数(人)	150	0	上水引き込み口径
市区町村	23区	回収率	100%	供給量(L/min)	0	<平日>	0	休日使用量(L/日)	上水単価(円/m ³)
利用用途	その他	有効集水面積(m ²)	4,000	雑排水集水データ	0	<雑水>	0	雨水単価(円/m ³)	654
期間		降雪判定(℃以下)	2	年間供給量(m ³ /年)	0	男性(人)	0	夏季(L/日)	100
1982		有効降雪量(mm以上)	1	1(平日)供給量(L/日)	0	女性(人)	0	冬季(L/日)	0
貯水機データ		初期貯水量(m ³)	50	1(休日)供給量(L/日)	0	<休日>	0	簡用センサーの有無	なし
貯水槽容量(m ³)	2000	初期貯水率(%)	100	その他中水集水データ	0	利用人数(人)	0	<その他>	300
上水供給開始貯水率(%)	40	供給量(L/日)	0	男性利用人数(人)	0	その他①(L/日)	0	その他②(L/日)	0
上水供給停止貯水率(%)	30			女性利用人数(人)	0				

結果

上水削減水量

3,658

m³/年

上水削減額

1,847

千円/年

1. 日平均値

気温

15.5

℃

降水量

4.3

mm/日

全利用水量

16,670

L/日

雨水集水量

14,928

L/日

井水給水量

0

L/日

再生水給水量

0

L/日

雑排水給水量

0

L/日

その他中水給水量

0

L/日

上水供給量

6,642

L/日

オーバーフロー水量

4,802

L/日

貯水率

53%

2. 充当率

上水充当率

39.89

%

雨水充当率

60.14

%

井水充当率

0

%

再生水充当率

0

%

雑排水充当率

0.00

%

その他中水充当率

0

%

計算実施日時

2013/2/26 19:02

元データ

03 東京(緑地)

データ期間

1992～2010年

3. 削減効果

3-1 水量

上水削減率

60%

%

上水削減量

5,440

m³/年

雨水利用率

58.8

%

3-2 コスト

上水単価

654

円/m³

雨水単価

100

円/m³

井水単価

100

円/m³

再生水単価

273

円/m³

雑排水単価

300

円/m³

その他中水単価

6

円/m³

年間使用水量

2,427

m³

5,440

m³

0

m³

0

m³

0

m³

0

m³

6,084

m³/年

年間料金

1,987,180

円

544,800

円

0

円

0

円

0

円

0

円

2,132,059

円/年

年間使用水量合計

6,084

m³/年

年間料金

3,979,252

円/年

年間削減額

1,847,192

円/年

<凡例>

自動算出欄

目次へもどる

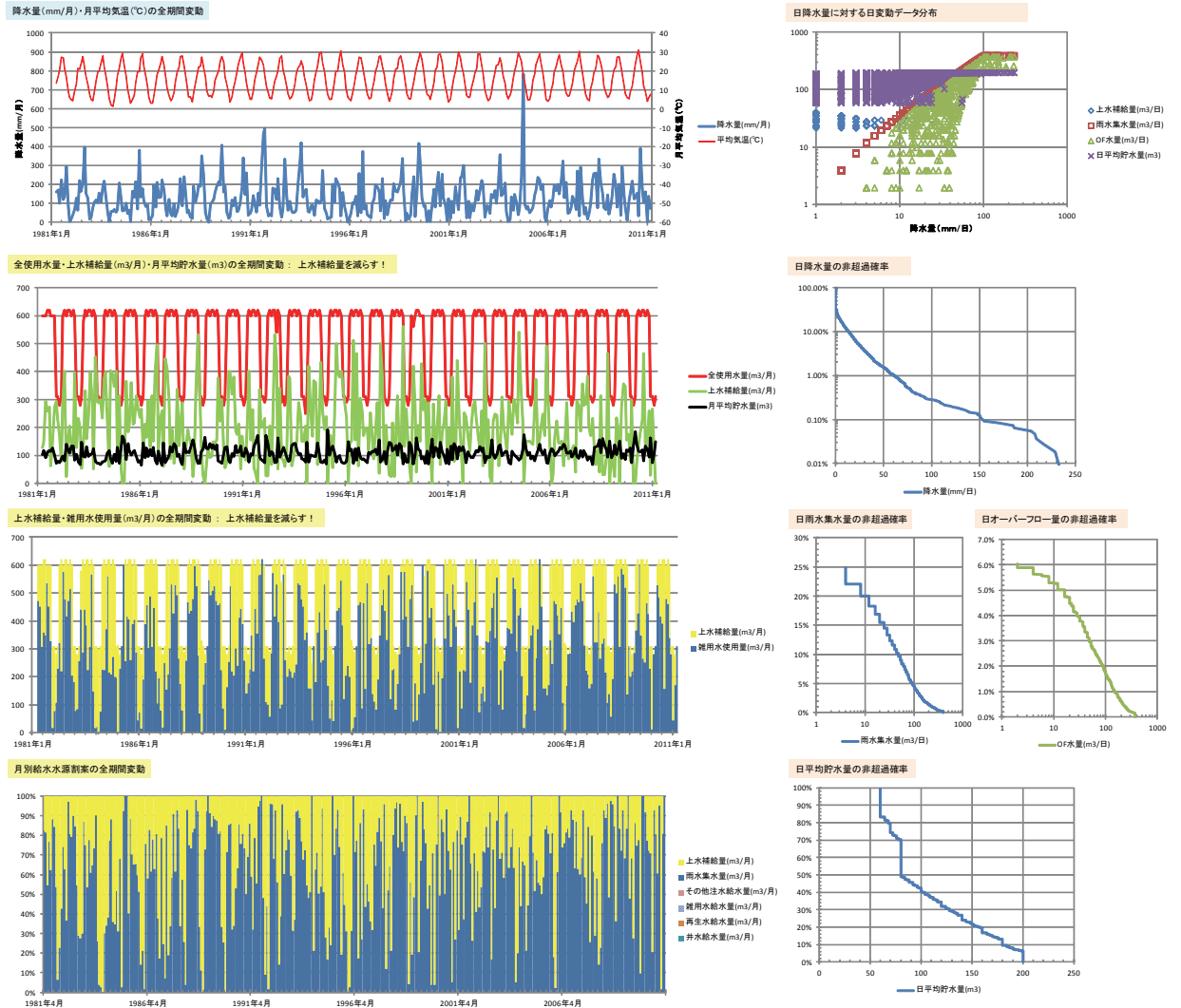


図 2.2.2-7 ケーススタディ 2 推奨条件における雨水有効利用効果
(屋根面積 4,000m²、貯水槽容量 200m³ → 雨水充当率 60%)

2.2.3 まとめと今後の課題

今回開発した雨水・地下水有効利用検討ツールでは、約 30 年間のアメダスの日降水量データを用い、評価対象施設の状況に合わせたシミュレーションを実施することができ、長期的な変動を加味した評価を行うことができる。

幾つかの条件でケーススタディを行った結果、雨水・地下水有効利用のための施設条件を検討する上で有用な情報が得られるツールと考えられる。今後の本ツールの活用方法として、既存の雨水・地下水有効利用施設において効率的な運用が実施されているかを判断したり、新たに雨水・地下水有効利用施設を設計する際に活用できると思われる。

今後の課題としては、実施設の水使用量の詳細データ、雨水・地下水有効利用を推進するためのハード技術メニューの整備、イニシャルコストデータの充実、などがあげられる。

本ツールは、エクセル 2007 で作成しており、計算方法の改善などが容易に実施できる利点がある。例えば、水使用量の設定条件として、現在は、平日・休日および夏季・冬季のパターンを用意しているが、より詳細な入力条件が入手できれば、精度の高い検討が可能となるなど、必要に応じ様々な対応の自由度が高い。

今後は、多くの実施設における検討に用い効果予測精度を向上させるとともに、効率的な雨水・地下水有効利用の運用を支援するツールとして有用に活用してゆきたいと考える。

2.3 排水浄化装置プロトタイプ実験

2.3.1 目的

本項では、厨房排水の再利用を目的とした水処理試験を行い、灌水への再利用適用検討を水質から評価した。

2.3.2 試験体

1) 対象とした排水

原水は竹中技術研究所厨房排水を用い、食堂横のオイルトラップより、原水タンクにポンプ移送する設備を設置した。原水タンクからのオーバーフロー管を設け、余剰分は食堂横オイルトラップに戻す配管とした。移送ポンプはタイマー制御とし、厨房からの排水のタイミングに合わせ、下記の定められた時刻に稼動する設定とした。

- ・ 8 : 15～8 : 18
- ・ 11 : 30～11 : 33
- ・ 14 : 40～14 : 43
- ・ 17 : 50～17 : 53（夕方に厨房排水が発生する月・火・木曜日のみ）

2) 試験装置

試験装置は①原水タンク、②グリーストラップ、③生物処理槽、④フィルター槽、⑤処理水槽により構成される。

表 2.3.2-1 試験装置の構成

装置名称	内容
①原水タンク	容量 : 1 m ³
②グリーストラップ	容量 : φ 600 × H1,000 mm、内容量約 280L
③生物処理槽	容量 : φ 600 × H1,000 mm、内容量約 280L 水中ポンプにより循環、波板状のろ床に散水する散水ろ床式 循環流量 : 3 m ³ /日 使用温度 : 10～35℃ 保温材で被覆を施し、水温低下を防止
④フィルター槽	容量 : φ 600 × H 1,000 mm、内容量約 280L 円筒形のストーンファイバーフィルター(細孔 5 μm)
⑤処理水槽	容量 : φ 600 × H 1,000 mm、内容量約 280L

2.3.3 実験概要・実験条件

1) 装置の準備

- ・ 原水となる排水を原水タンクに自動供給するためのポンプ、配管設備を設け、原水タンクから処理装置への送水ポンプをタイマー制御等とし、24 時間連続運転可能な状態とした。
- ・ 冬期の運転のため生物処理槽内に加温用ヒーターを設置（20～25℃程度に維持）し、生物処理槽、配管等に保温のための断熱材を施した。
- ・ 装置配管の採水位置に採水口を設け、生物処理槽内に温度センサーを設置した。

2) 排水処理装置の運転

- ・ 休日に排水の発生が無く原水が不足する場合には、原水タンクから処理槽への送水ポンプを停止し、生物処理槽の循環ポンプのみ稼働させた。

3) 採水箇所

- ①原水（食堂横オイルトラップ）
- ②原水（原水タンクから処理装置への入口）
- ③グリーストラップ流出水（生物処理槽流入水）
- ④生物処理槽流出水（フィルター槽流入水）
- ⑤処理水（フィルター槽流出水）
- ⑥生物処理槽散水部（DO 測定のみ）

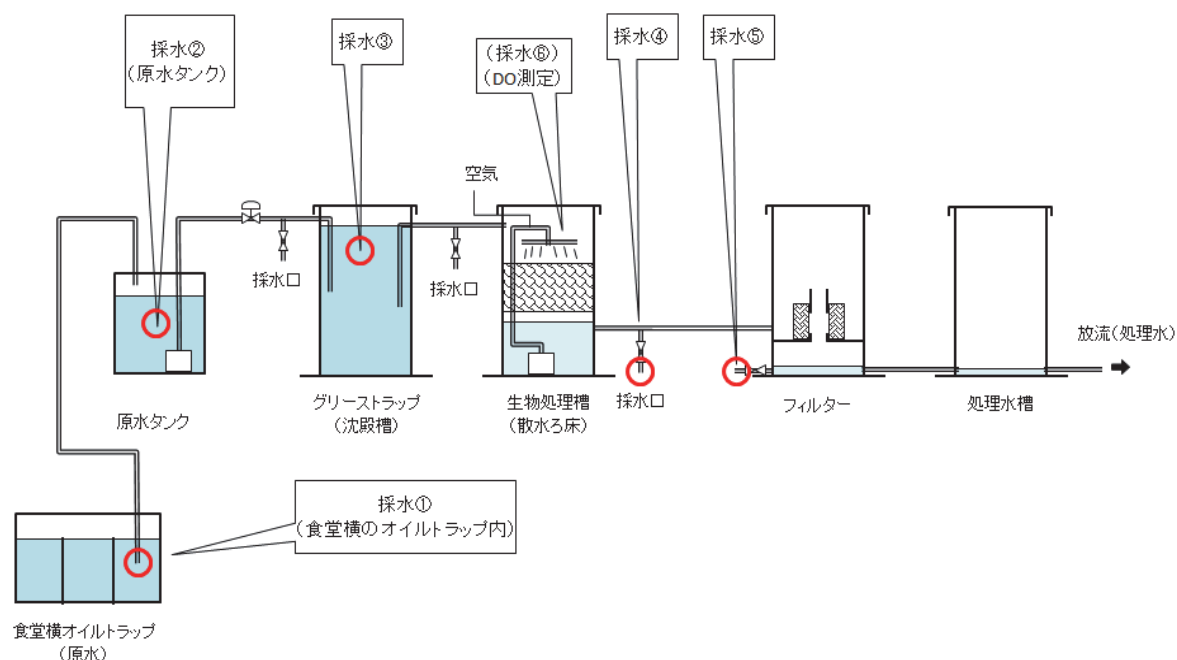


図 2.3.3-1 採水箇所

2.3.4 計測手法

表 2.3.4-1 計測手法一覧

計測項目	計測方法
水温	温度計
溶存酸素	ガルバニ式隔膜モニター
電気伝導度	東亜電波工業 電気伝導度計 CM-11P
pH	堀場 pH/イオンメーター F-53
SS	乾燥機、電子天秤
有機性炭素	島津 TOC-V CSH
全窒素	
生物化学的酸素要求量	セントラル科学 Quick BOD α-1

2.3.5 計測結果

図 2.3.5-1～図 2.3.5-3 に試験結果を示す。処理水水質の変動は小さく、SS,BOD は大幅な低減効果が確認できた。T-N はほとんど変化がなかった。

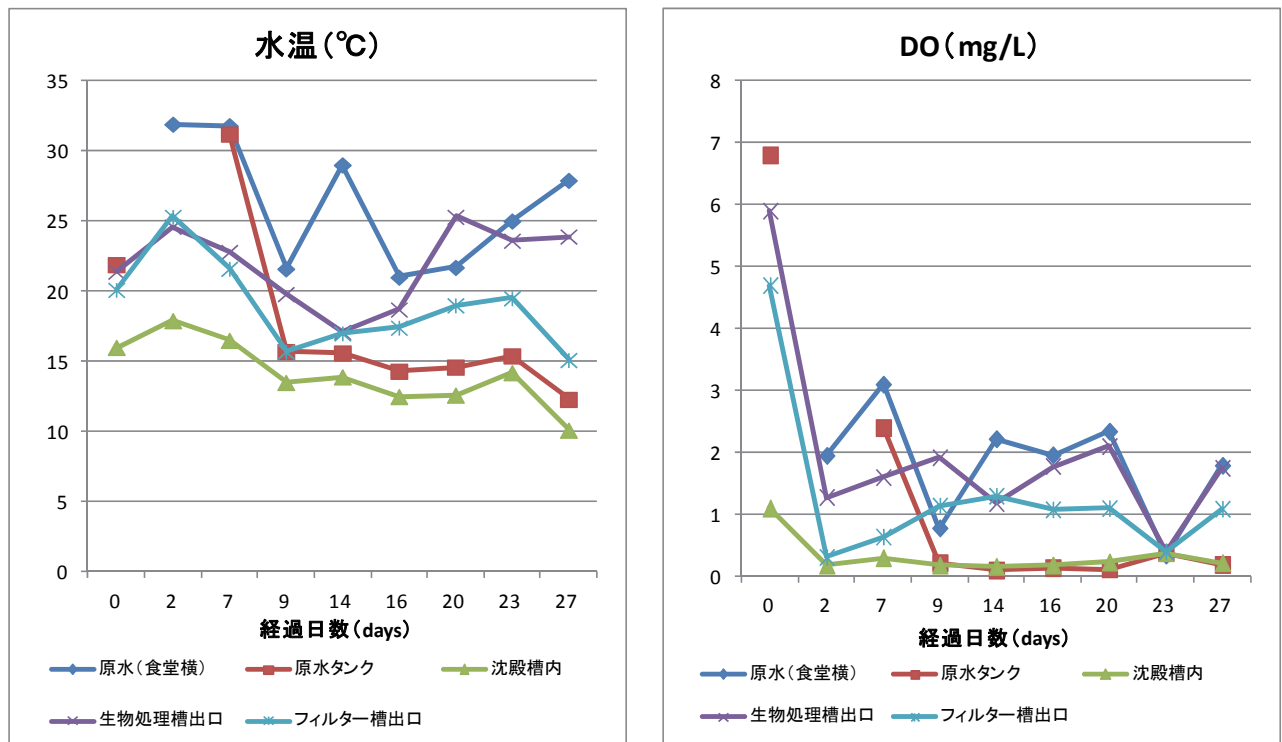


図 2.3.5-1 排水処理試験結果①

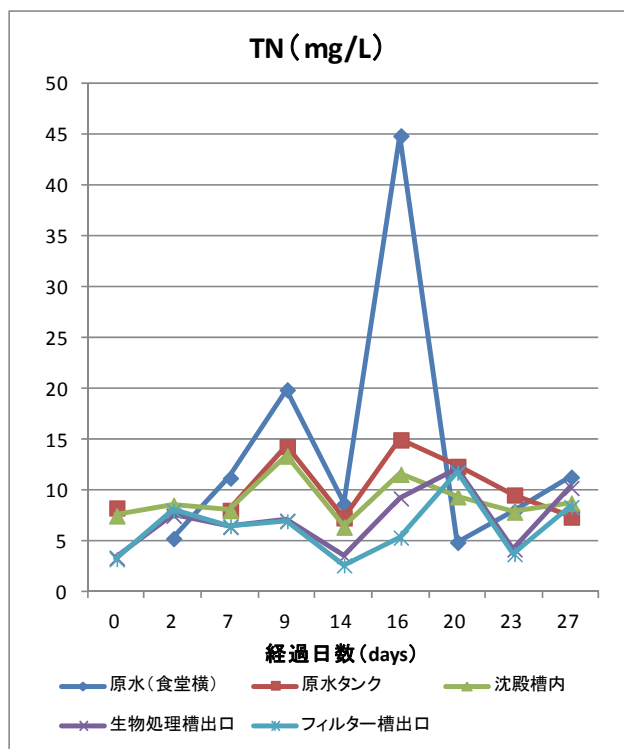
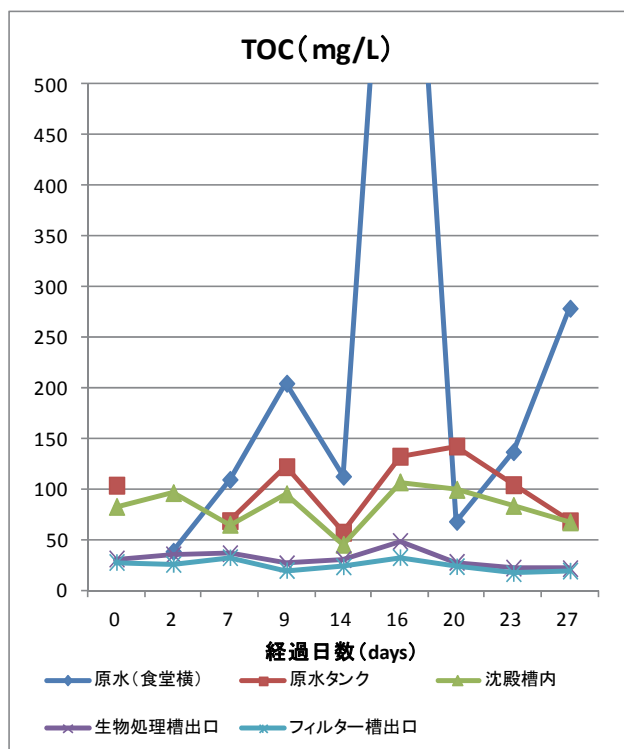
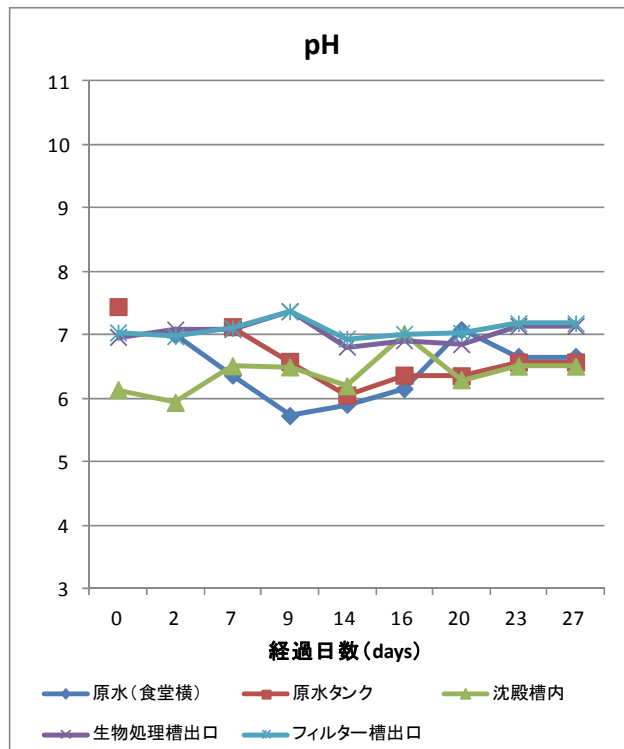
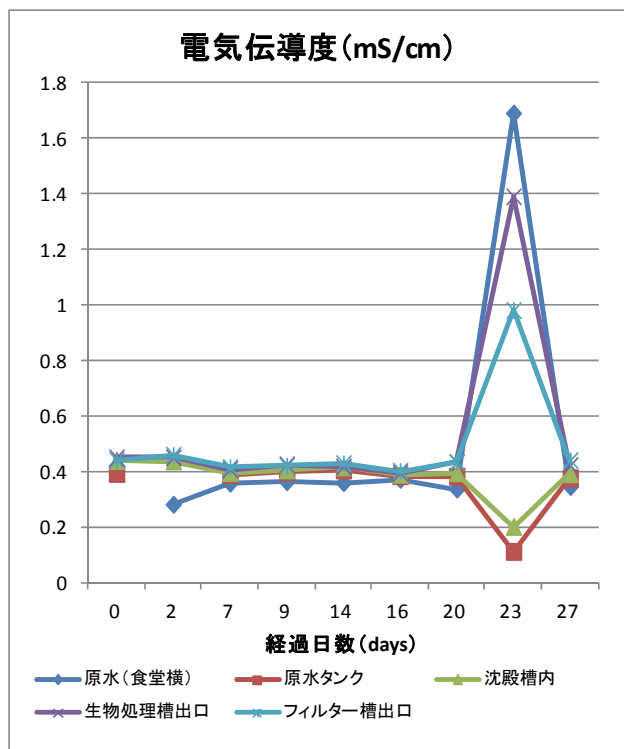


図 2.3.5-2 排水処理試験結果②

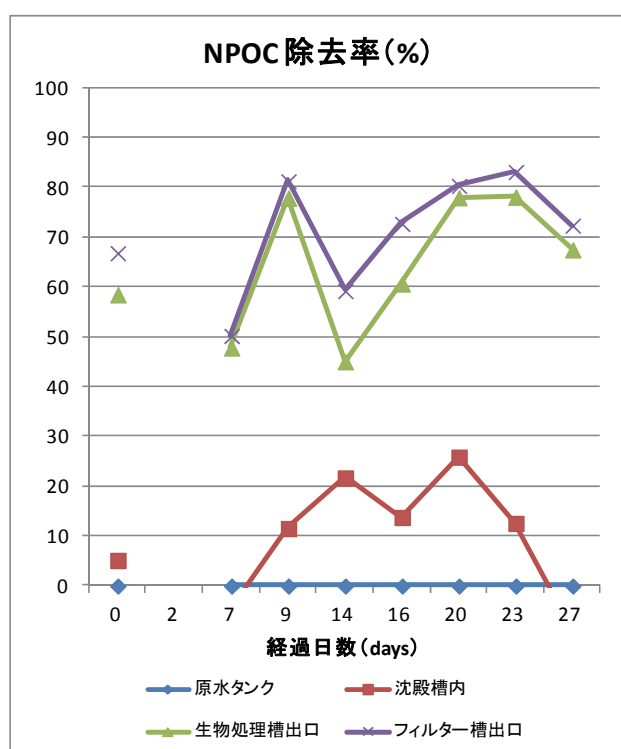
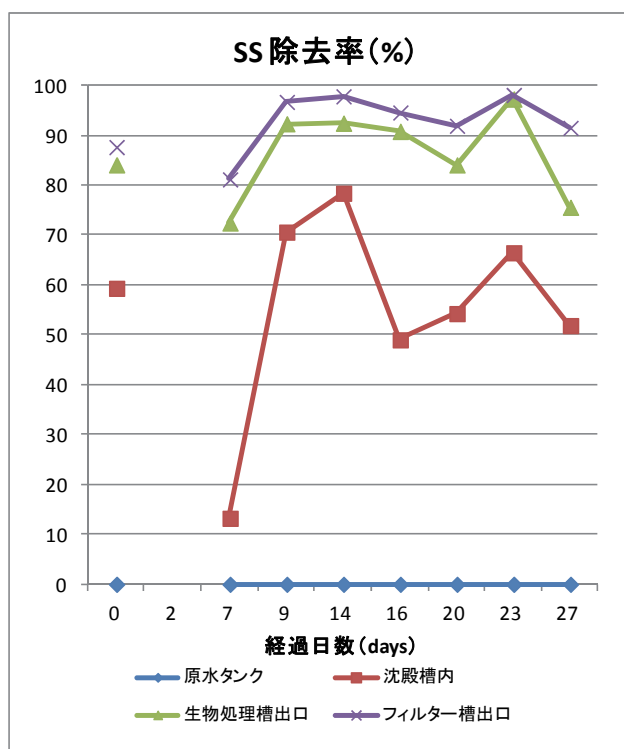
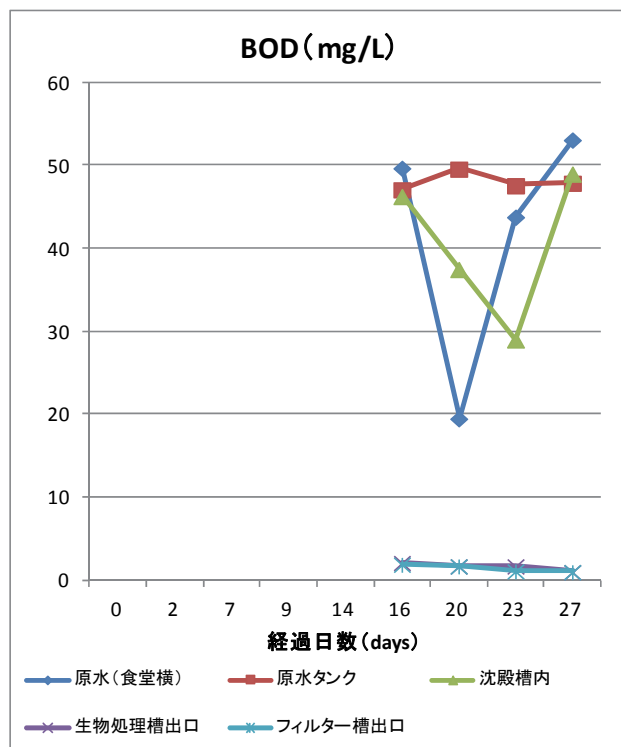
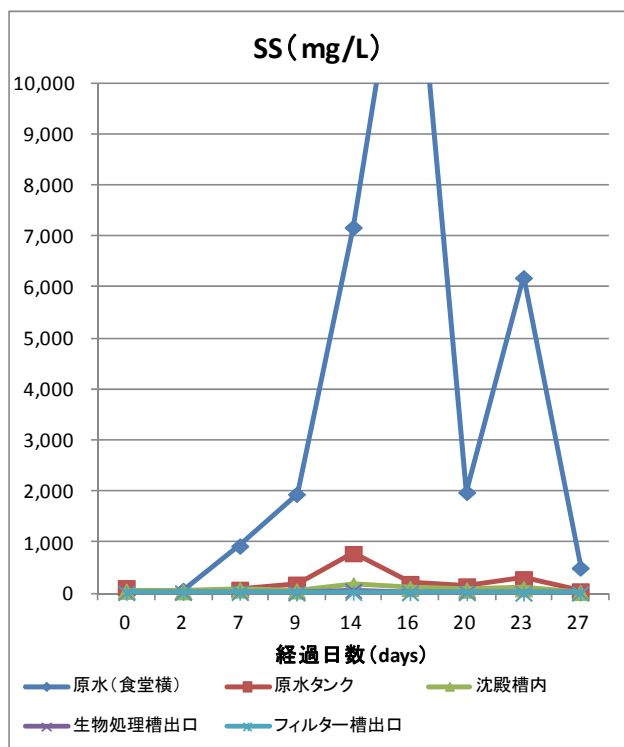


図 2.3.5-3 排水処理試験結果③

2.3.6 考察

一連の試験結果より、以下のことが考察された。

- ・生物処理槽の BOD 除去能力は原水 BOD 50mg/L に対し、処理水 BOD として約 2mg/L 程度まで低減でき、原水に対する BOD 除去率で 90%前後を確保した。
- ・原水（食堂横オイルトラップ）の SS 濃度は高くかつ非常に変動が大きかったが、原水の採水口を適切に配置することで、処理装置の原水槽の SS 濃度を原水（食堂横オイルトラップ）の 40%程度に低減できた。
- ・処理水の SS 濃度は 20mg/L 程度まで低減でき、原水タンクに対し 90~95%程度の SS 除去率であった。
- ・最終のフィルター槽前後での水質の変化がほとんど認められないため、フィルター槽が有効に機能していない結果となった。
- ・原水から一時的に高濃度の滅菌用塩素が検出されたことがあり、このような状態が継続すると処理が不安定となることが懸念された。

水質の計測結果からは安定した処理能力が確認されたが、原水水質の大幅な変動や装置の稼働上の問題（フィルターの表面での閉塞）が考慮された。また、原水タンクやフィルター槽内に固形分が堆積すると水質の悪化や臭気発生源となるリスクが懸念される。そのため、連続運転時には定期的な点検と内部の清掃が必須となると想定される。

本装置の処理水量の実績は、一日当たり 0.2~0.5m³程度であった。2,000m²の壁面緑化に必要な灌水量は、夏季には 20m³/日、冬季に 10m³/日である。本装置で 20m³/日を供給するとなると、現在の装置の 20~100 倍程度の規模が必要となる。

また、前述の文献調査の結果より、一般的に水使用量 10~20m³/日程度の雑用水の排水処理装置のランニングコストが 1,500 円/m³程度必要となると想定される（図 1.1.2-5 雑用水利用コストと上下水道料金（出典：平成 19 年版 日本の水資源 国土交通省水資源部））。東京都の水道・下水道料金を合わせて最高で 650 円/m³程度であり、上水削減によるコストメリットを得ることが難しいと考えられた。

以上より、厨房排水を原水として簡便な生物処理により緑化用水として使用する方法は、水質的に許容できるレベルまで処理することができるが、連続運転を行った際に長期安定性やメンテナンスの負担が増える懸念、小規模排水処理装置の運転コストが上水削減額を超過する可能性が高いと想定されることから、実用上の適用は困難であると判断した。

本研究では、緑化用灌水の原水としては、厨房排水よりも水質が良好で調達コストの安価な雨水、地下水、および中水（地区循環や地域循環で供給可能な場合）を優先して使用することとした。

さらに、未利用水の有効利用を促進する観点から、灌水の余剰水に着目し、再利用の可能性の検討を行うこととした。灌水の余剰水とは、壁面緑化等の灌水のうち植物が吸収しきれずに下部から流出する水であり、現在は地中に還元しているものである。循環処理を継続すると、徐々に水質が悪化することが懸念されるため、再利用可能な水質を維持するための運転条件を把握することが有用であると考えられる。

2.4 各種センサーを用いた最適灌水システムの検討

2.4.1 節水型灌水システム文献抄録

「灌水×システム×節水」をキーワードに論文検索を行い、検索結果の中から節水型灌水に関する抄録を以下に示した。

1) 水分センサーを用いた薄層緑化基盤の灌水試験

内山知二，豊原憲子（大阪府環境農林水産総合研），木口耕二（フジワーク）

日本緑化工学会誌

Vol.33, No.1, Page.296-299 (2007.08.31)

抄録：屋上緑化では、重量負荷の問題から培土を改良して保水性を高めるには限界があり、適期に灌水する技術が重要である。そこで、薄層緑化基盤内に水分センサーを埋め込み、乾燥している部分に重点的に灌水するシステムを構築しようとした。供試した水分センサーは、光学式で消費電力が少なく、薄層培地の水分をリアルタイムで監視することができる。その結果、緑化培地を過湿・過乾にすることがなく、節水型の灌水システムができる。（著者抄録）

2) てん茶の点滴施肥栽培における自動灌水制御器による節水灌漑

The Water Saving Irrigation by the Autoirrigation with the tensiometer in the Drip Fertigation of Tencha tea garden

白井一則，辻浩孝，木下忠孝（愛知県農業総合試）

愛知県農業総合試験場研究報告

No.38, Page.147-153 (2006.12)

抄録：てん茶の点滴施肥栽培において、愛知農総試で開発されたテンシオメータを利用した自動灌水制御器による節水灌漑の効果を検証した。1. 点滴チューブ横 10cm、深さ 20cm に埋設したテンシオメータにより、土壌水分が設定 pF 値を超えると直ちに灌水する灌水制御を行った。その結果、制御器の作動期間中の土壌水分は、設定 pF 値を超えることはなかった。2. 自動灌水制御器を導入した点滴施肥は、従来のタイマーで制御された点滴施肥栽培に比べ、年間で 75%程度の節水効果が見られた。3. 本自動灌水制御による収量・品質は、タイマー制御された従来の点滴施肥システムと比べて、同等以上であった。（著者抄録）

3) 日本における超低流速灌水システム発展の可能性・V, 中華人民共和国と日本の灌水事情の違いからみた超低流速灌水の方向性・

吉川(山西)弘恭，井上久義，渡辺修一，吉川省子（農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究セ），村口浩（香川県農試），横田和志（日進機械 技術部）
農業および園芸

Vol.81, No.3, Page.427-432 (2006.03.01)

抄録：筆者は、パルセーターを用いた節水灌がい技術の技術移転のため、2005 年 10 月に約 2 週間北京に滞在した。この間の見聞等をもとに、中国の農業における水資源不足の危機的状況を紹介し、超低流速灌水が利用できる局面について検討した。1)中国

華北平原の農業生産の概況,2)中国畑作地帯における灌がいの実情と節水灌がいの目標と方法,3)中国における節水灌がいの問題点。中国では,水資源不足の解決に伝統的に続けられてきた湛水灌がいに替わる節水灌がい技術が求められている。しかし,日本の普及組織に当たるものがきわめて脆弱であり,設備を設置した後の灌水や栽培の指導が行われていないようで,栽培現場に密着した活動の重要性を強く感じた。

4) 日本における超低流速灌水システム発展の可能性-III,超低流速灌水システムを利用したマーガレット栽培-

村口浩, 松本由利子, 阿部政人 (香川県農試), 横田和志 (日進機械 技術部), 吉川省子, 渡辺修一, 井上久義, 吉川(山西)弘恭 (農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究セ), 中尾誠司 (農業・生物系特定産業技術研究機構 畜産草地研)
農業および園芸

Vol.81, No.1, Page.81-84 (2006.01.01)

抄録: 香川県は年間降水量が非常に少ない。少水資源の有効活用法として,超低流速灌水システムがマーガレットの隔離培地耕栽培に及ぼす影響を検討した。灌水方法については,超低流速灌水システム(同誌 80(11),1241-1248(2005))による区を低速灌水区とし,対照として一般に使われている硬質点滴チューブを用いる区を通常灌水区とした。灌水速度としては,通常灌水区がベッド 1m 当り 23L/h 吐出するのに対し,低速灌水区は 2.5L/h と,約 10 分の 1 の速度で灌水を行う。1 日当りの灌水量は,低速灌水区を 2 割程度少なく設定した。土壌水分,切り花収量等について調べたが,土壌水分は両区ともほぼ同様に推移し,切り花収量にもほとんど差がなかった。低速灌水により総灌水量,施肥量を削減できることがわかった。また,タイマー等による定量灌水では曇天時に過湿となるので,ソーラーポンプ(同誌 80(4),440-445(2005))による間欠式自動灌水が有効である。

5) 日本における超低流速灌水システム発展の可能性-I,超低流速灌水の進歩と現状-

Possibility of development of ultra-low flow velocity sprinkling system in Japan
(1). Progress and present state of ultra-low flow velocity sprinkling.

吉川(山西)弘恭, 井上久義, 吉川省子, 渡辺修一 (農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究セ), 横田和志 (日進機械 技術部), 村口浩 (香川農試)
農業および園芸

Vol.80, No.11, Page.1242-1248 (2005.11.01)

抄録: 近年,点滴灌水よりもさらに灌水速度が遅い,超低流速灌水システムが注目されている。旧来型点滴灌水の点滴口当りの灌水速度が 2-12L/hr 程度であるのに対して,超低流速灌水システムではその 1/10 の 200mL/hr 程度である。本システムの概念,実際の装置,現状とその利点について紹介した。水が節約でき,また灌水システムにかかわる設備コストを低減できることから,日本の農業生産に適する灌水方法ではないかと考える。

6) 雨水保水型薄層屋上緑化への取組について

竹垣敏郎（東京都土木技研）

都市公園

No.168, Page.28-32 (2005.03.25)

抄録：東京都では、ヒートアイランド現象緩和策の一環として、屋上緑化を推進している。その軽量化、原価低減、灌水節水を図り、気温低減効果と雨水保水性を有する屋上緑化システムの開発を目指し、試験施工を行ったので、その中間状況を報告した。開発の考え方(雨水貯留性能 5mm、汎用性のある植物、荷重 60kg/m²以下、15,000 円/m²以下)、試作品と試験施工(薄層タイプ=コウライシバ、アジサイ等植栽、極薄層タイプ=シバ、ユキヤナギ等植栽)、測定・観測方法(生育状況、土壌水分、降雨量、表面温度)、調査結果、を述べた。更なる省灌水を目指して試行中である。

7) 即時制御灌水システムを導入したトマトの養液土耕栽培マニュアル

山田良三，川嶋和子，金子良成，今川正弘，矢部和則，菅原真治，愛知県農総試，東三河農研

関東東海北陸農業研究成果情報

Vol.2003, No.3, Page.22-23 (2004.07.20)

抄録：トマト養液土耕栽培において、圧力変換器付き pF センサーと灌水制御器を組合わせて灌水を行うシステムを開発し、栽培マニュアルを作成した。本法では、土中に埋設した pF センサーと灌水制御器が土壌水分を常時モニタリングし、土壌水分が設定値以上になった時、即時に灌水されるため、品質の向上と節水栽培が可能である。また、窒素の日施用量調節方式により効率的な栄養管理が行なわれる。

8) 地中マット灌水に関する基礎的実験

A foundation experiment on underground mat irrigation.

福田淳，伊藤浩，酒見幸助（東急建設 技研）

東急建設技術研究所報

No.23, Page.119-122 (1997.09)

抄録：日本は水の豊富な国であるとされていたが、1994 年夏を代表例として近年水不足の地域、期間が増加しており、水が貴重な資源であることが再認識されている。また、生活環境を充実させるために、最近サッカー場等のスポーツ施設、公園、街路樹などのアメニティに対する需要が高まっており、都市において緑化空間が求められている。ただ、都市の様な人工環境において緑を維持させるには灌水システムが必要であり、維持管理の手間や近年起きた水不足の点を考慮すると、管理に手間の掛からない節水灌水システムであることが望ましい。筆者らは特殊な地中マットを用いて地中から灌がいを行うと管理の省力化と節水効果が得られると考え、今回、その地中マット灌水による土壌含水比への影響、灌排水量、植物生育量について調査し、有効な結果を得られたのでここに報告する。（著者抄録）

9) フィルムマルチ条件下のドリップ灌がいにおけるファジィ制御の灌水

Water Application in Drip Irrigation Based on Fuzzy Control under Film-Mulching Conditions.

筑紫二郎 (九大 生物環境調節セ), 豊田正範 (香川大 農), FLORIANI E V (Proyecto Agricola JICA/FFM/ESSA, MEX)

日本砂丘学会誌

Vol.43, No.2, Page.9-14 (1996.12)

抄録：マルチ栽培ではフィルムマルチによって水分の蒸散が抑制され、土壌水分を高く維持して灌水量を節約できる。フィルムマルチ栽培条件下において、灌水量の決定にファジィ制御を適用し、さらなる節水の可能性を検討した。メキシコの圃場において、メロンをフィルムマルチで栽培し、ドリップ灌がいシステムでの給水量を、ファジィ推論によって調節した。その結果、ドリップ灌がいにおいて、ファジィ制御とともにフィルムマルチを併用すると、高い節水率で栽培することが可能なことがわかった。降雨の少ない乾燥農業では、土壌面蒸発の損失が大きいため、このような栽培法が有効であると考えた。

10) 点滴灌がいシステムと灌水試験

Drip Irrigation System and Irrigation Experiments.

森信之 (九州共立大 工)

九州共立大学研究報告 工学部

No.19, Page.159-169 (1995.03)

抄録：エダマメ、チンゲンサイなどを供試し、チューブ灌がいで砂地において灌水試験を行った。3日間断で1回当り6-15mmの4段階で灌水を行い、作物を栽培した。地中温度計で地中温度を測定した。ライシメータで水収支、浸透損失を、テンシオメータで土壌水分変化量を測定し、消費水量、蒸発散量を算出した。このシステムにより、節水条件で作物収量を上げることができた。

11) 地中埋設型自動灌水システム

Automatic Underground Irrigation System.

田辺英俊, 杉山猛, 石黒義昭, 名川良春, 鈴木浩之 (矢崎計器)

矢崎技術リポート

No.19, Page.128-137 (1994.12)

抄録：環境と人間の関わりは、これからの我々の大きな課題であると同時に、限りある資源の有効利用と生体系の保護は、地球環境規模で急務となっている。昨今、我々は環境問題について様々な角度で取り組んできた。今回、「自然を活かした地域開発」をテーマに開発された湘南国際村の中心施設である国際村センターより「灌水」のテーマを与えられた。我々は、植物に対し、「必要なとき必要なだけの水分あるいは栄養分を与える」ことが一つの生育システムの理想と考え、地中埋設型自動灌水システムを構築、導入した結果、その効果が得られた。（著者抄録）

以下に論文検索結果のまとめを列記する。

- ・緑化に供する地被植物にとって生育に最も必要な要因は水、光、空気、土壌である。
- ・水は植物体の 90%以上を占めるもので、水分不足は即、枯死につながる。
- ・根から吸収した水分は、養分の植物体内の隅々までの運搬や光合成活動への関与など植物体内で重要な働きをする。水分の吸収は根毛で主に行われ、土壌中に張り巡らされた根の先端付近に密集する根毛は大面積となり、土粒子の間隙に付着する水分や溶存無機物の吸収を行う。
- ・水分の枯渇は根毛に与えるダメージが大きく、植物体の衰弱にすぐに影響することになる。このため、水分を適切に継続的に植物に供給することが、植物体の健全な生育を確保する上で実に重要な課題となる。

農作物での水分管理は研究事例が多いが、造園植物でのそれは多くはないことから、各種センサー及び、水分管理システムの検討を次項にて行った。

2.4.2 植栽地の水分管理方法

1) 灌水システムの考え方

水分管理には、様々なアイディアが創出され、実際に植物を育てることでその効果を検証している。センサーを用いた自動灌水による節水方式が多く、灌水にドリップ式を用いるものや、超低流速灌水及びフィルムマルチ栽培による節水、また用水計画での節水などがある。

屋上緑化では、センサーを用いた節水管理のほか、雨水を一次貯留して洪水調節と節水に寄与する仕組みが考案され、検証されている。灌水を有効なものにするためには、まず植物の健全な生育の確保があり、そのための水分供給方法が植栽地の状況に応じて適切に選択されることである。我々の扱う建築物に付帯する緑化は大きく分けて4種類ある。建築物の外構、屋上、壁面および室内の緑化である。環境変動の少ない屋内緑化については植物工場並みの灌水制御が実施されているが、雨が多い日本の気象環境のせいもあり屋外環境は節水型の有効な灌水制御が遅れている現状にある。

2) 灌水システムに用いる代表的なセンサー制御

自動化された植栽地の灌水管理は、年間のプログラムを組み気候に関係なく定時定量の灌水を行うことが多い。しかし雨の日や風の強い日、曇りの日や寒い日は植物の光合成による水分消費が極めて少ない。このような場合に、センサーを用いて灌水量を制御することは維持管理費の低減に有効である。

ただし、芝生でも生育量のばらつきなどがあるため、灌水の状況については定期的な管理人の目視評価が必要である。センサーがあっても、目視の補助的なものと考えれば大きな失敗は免れると思われる。それぞれのセンサーの特徴を以下に示す。

①雨水用（レイン）センサー

レインセンサーは雨が降ってきた時、降っている間、降雨後に暫時散水システムを作動させないために使用する。

②風速用（ウィンド）センサー

ウィンドセンサーは強風時（風速 5.4m/秒～15.6m /秒）に散水システムを作動させないために使用する。

③凍結監視用（フリーズ）センサー

フリーズセンサーは気温が低下し、凍結が予想される場合（3℃以下）散水システムを作動させないために使用する。

④土中水分センサー

スプリンクラー灌水において多用させる。主な根域土層が **pF2.7** まで乾燥したときに灌水を行う。また、降雨後土壌が乾燥しにくい場合に散水システムを作動させないために使用する。

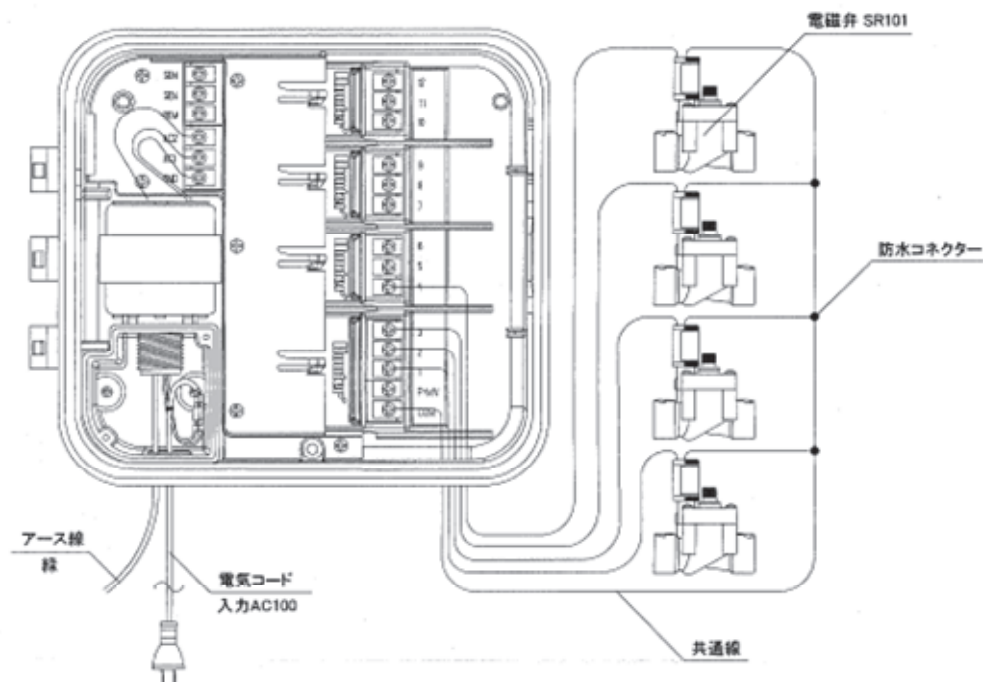


図 2.4.2-1 制御盤による年間プログラム灌水装置例

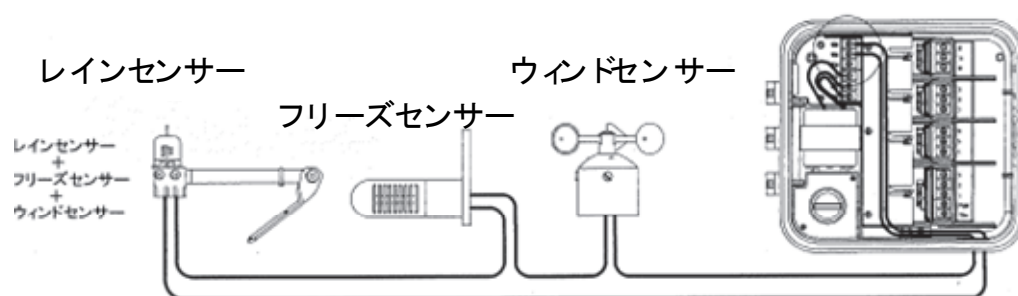


図 2.4.2-2 センサーを用いたプログラム灌水例

実際に稼働しているプロジェクトでは、灌水の有無を確認する方法として、流量計を灌水ホースに設置している。つまり流量計の作動状況をセンサーで調べて、水が流れないときは中央監視室に警報を発するためである。これは、電磁弁の作動状況で灌水の有無をセンシングする従来の方法に比べて、灌水の有無について有効な警報システムである。

年間プログラム制御で灌水を行うことも多いが、大規模な緑化の場合、植物の水要求量に応じた灌水方式が望ましい。植物は温度変化や日射量の変化等には光合成の反応として敏感に反応する。つまり、使用水量が植物を取り囲む環境条件で常に変化するのであるが、この敏感な植物の吸水生理機構に合う水分供給が可能となるセンシング技術はまだ確立できていない状況にある。

2.4.3 水分監視システムの検討

造園植物の水管理の考え方について検討した結果について記述する。

1) 造園植物の水要求量

植物が必要とする水の量（地被植物の例）は一般に式 1 で求められる。また、造園の高木植物が必要とする水の量は式 2 で求められる。

$$\frac{PET^{*1} \times \text{植物係数}^{*2}}{\text{灌水効率}^{*3}} \quad \text{式 1}$$

$$\frac{PET^{*1} \times \text{樹冠面積}^{*4} \times \text{植物係数}^{*2}}{\text{灌水効率}^{*3}} \quad \text{式 2}$$

PET^{*1}：最寄りの測候所や気象台で入手可能なものであり、一日の植物の水の消費量である。下記に葉面性の違いによる水分消費量の違いを示す。

例) 平均気温 20-28℃、湿度 50%以上の時

葉面積大の植物	10mm/日
葉面積中の植物	7.8mm/日
葉面積小の植物	5mm/日

植物係数^{*2}：緑色藻類を 1 とした時の各植物の相対的水要求量を示す値であり、下記の係数が与えられている。

数値例)

柑橘類(0.4-0.6)、落葉性果樹(0.6-0.7)
灌木(0.7-0.8)、地被・花卉類(0.8-1.0)
芝生(0.7-0.9)

灌水効率^{*3}：灌水システムの水損失率であり、現在多く用いられている点滴ホースの灌水効率はかなり高いものとなっている。

数値例)

点滴灌水(0.9-0.97)

樹冠面積^{*4}：地面に投影された面積×補正係数(=植物の露光係数)で表す。補正係数は下記の数値を用いる。

数値例)

補正係数	樹高 (m)	樹冠径 (m)	⇒	補正係数
	1	1		1.00
	2	1		1.08
	3	1		1.13
	4	1		1.17
	5	1		1.20

2) 計算例

以下に地被植物と高木が必要とする水分量の計算例を示す。

① 芝生の夏季の水要求量の計算

夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
PET/day	8.7mm
植物係数	0.9
灌水効率	0.95(トリップ® 灌水)

$$\text{必要灌水量} = \frac{8.7 \times 0.9}{0.95} = 8.24\text{mm/日}$$

暑い夏の晴天時に、芝生は1日1m²当たり8.24リットルの水を消費する計算になる。

② 立ち木の夏季の水要求量の計算

夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
樹冠面積	3.14m ²
樹冠投影直径	2m
露光係数	1
樹高	1.5m
PET/day	11.2mm
植物係数	0.35
灌水効率	0.95(トリップ® 灌水)

$$\text{必要灌水量} = \frac{0.35 \times 3.14 \times 11.2}{0.95} = 12.8\text{mm/日}$$

立ち木の場合、夏の暑い1日は1m²当たり12.8リットルの水を消費する計算になる。

3) 壁面緑化ユニットが必要とする水の量の算定

実プロジェクトでの必要灌水量を上述の式を用いて推定を以下に試みた。壁面緑化ユニットは、薄層で用いられる場合が多い。また、降雨の利用はほとんど無理であるため、灌水は不可欠である。対象プロジェクトの壁面緑化は 2010 年 11 月に緑化工事を完了した。壁全面約 2,000 m²を、世界であまり例が見られない樹木を本格的に取り入れた壁面緑化システムである。樹木の根を、個別の植栽パネルだけではなく、植栽パネル全域に自由に伸長させることにより、樹木が健全に生育し長年にわたり美しい緑化景観が維持されている。

夏の平均気温	30℃
相対湿度	35%
PET/day	11.2mm
植物係数	0.7
灌水効率	0.95(ドリップ灌水)

必要灌水量

$$\frac{11.2 \times 0.7}{0.95} = 8.25 \text{mm/日}$$



写真 2.4.3-1 壁面緑化事例

このような壁面緑化の場合、夏の暑い 1 日には 1m² 当たり 8.25L の水を消費する計算になる。従って、壁面全体では $8.25 \times 2,000 = 16,500 \text{ L/日}$ の水消費量となる。

壁面緑化植物の生育状態は、灌水の十分な供給に負うところが大きい。上記の計算でわかる通り、壁面緑化植物が 1 日に使用する水量は、夏季の最大値ではあるが樹木では 1m² 当たり約 10L の水を消費すると考えられる。

冬季にはこの半分程度の水を必要とするため、以降の室内緑化試験体を用いる試験では、灌水使用量を行う場合は 5L/m²・日を基本とした。

2.5 壁面緑化試験体における灌水循環利用実験

2.5.1 目的

本項では室内の壁面緑化試験体に使用した灌水の有効利用を図るべく、以下二点を目的として検討を行った。

- ・ 季節に関係なく継続的に使用できる建物周囲の緑化灌水システムを前提とし、水量的には、可能な限り灌水の再利用を図る。
- ・ 水質的には、植物の生育に悪影響を与えない水質を確保する管理方法を確立する。

2.5.2 試験体

本章で検討対象とした緑化試験体を図 2.5.2-1 および図 2.5.2-2 に、屋内緑化試験体の植栽の構成を表 2.5.2-1 に、屋外試験体の構成を表 2.5.2-2 に示す。

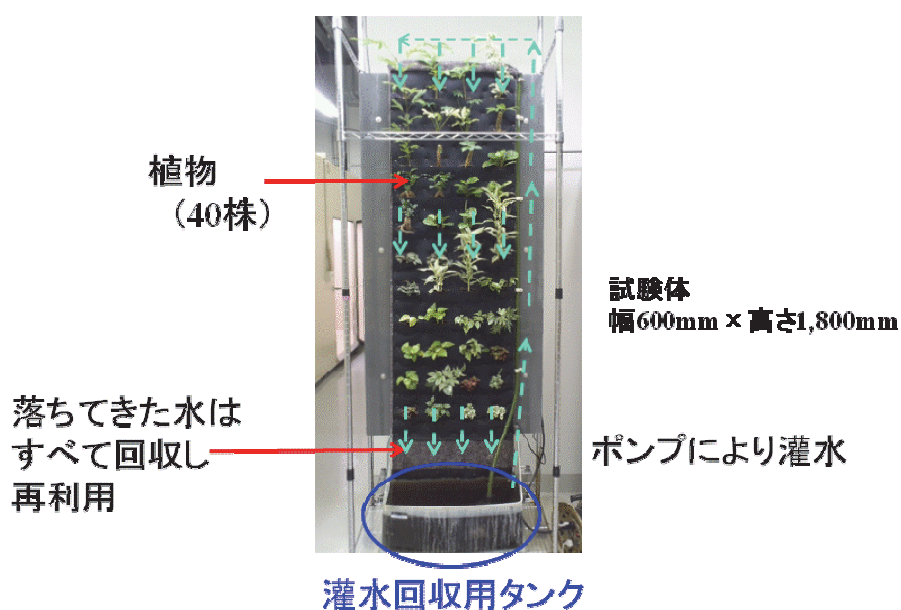


図 2.5.2-1 室内緑化試験体 A～C

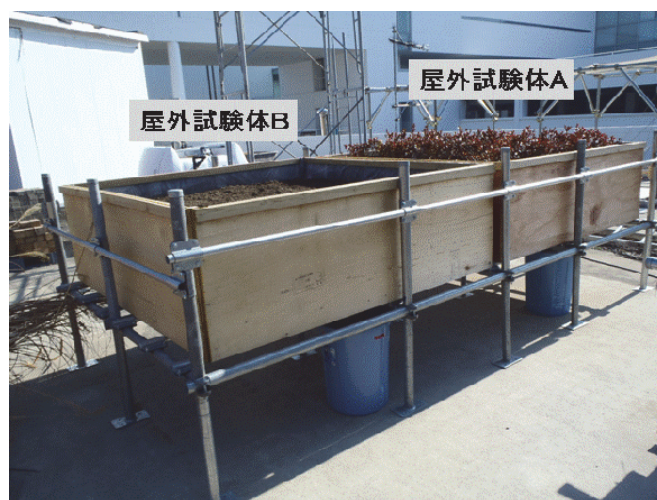


図 2.5.2-2 屋外緑化試験体 A～B

表 2.5.2-1 室内緑化試験体構成

試験体	室内緑化試験体 A	室内緑化試験体 B	室内緑化試験体 C
上段の 植栽	エバーフレッシュ ベンジャミン カポック ガジュマル ドラセナ・レフレクサ	エバーフレッシュ ベンジャミン カポック ガジュマル ドラセナ・レフレクサ	エバーフレッシュ ベンジャミン カポック ガジュマル ドラセナ・レフレクサ
中段の 植栽	キフペペロミア タマシダ ドラセナ・コンシナ アサバソウ ポトス	キフペペロミア タマシダ ドラセナ・コンシナ アサバソウ ポトス	キフペペロミア タマシダ ドラセナ・コンシナ アサバソウ ポトス
下段の 植栽	シンゴニウム リュセイクロトン セブリナ アミメグサ ヘデラ・ゴールドダスト シロブチャツデ	シンゴニウム リュセイクロトン セブリナ アミメグサ ヘデラ・ゴールドダスト シロブチャツデ	シンゴニウム リュセイクロトン セブリナ アミメグサ ヘデラ・ゴールドダスト シロブチャツデ
灌水 (初期は 水道水)	・ 5 L / m ² で灌水	・ 5 L / m ² で灌水 ・ 回収用タンクにて曝気	・ 5 L / m ² で灌水 ・ 回収用タンクにて曝気 ・ 回収用タンクにて砂ろ過 (循環処理)

表 2.5.2-2 屋外試験体構成

試験体	屋外試験体 A	屋外試験体 (比較対照)
	ヒラドツツジ (24 株) 2000m × 2000 mm 土壌設置厚 500 mm	2000m × 2000 mm 土壌設置厚 500 mm
集水方法	底部タンクにて土壌を 通過したものを全量回 収	底部タンクにて土壌を 通過したものを全量回 収

2.5.3 実験概要・実験条件

室内緑化試験体の試験体設置および水質計測の日付別の実施内容を表 2.5.3-1 に示す。試験体 A は 2012 年 12 月より灌水とその循環を開始し、試験体 B および試験体 C は 2013 年 1 月より灌水と循環を開始した。試験体 B と試験体 C の水処理は 2013 年 1 月 28 日より開始した。

屋外試験体については、2013 年 2 月 1 日より集水を開始し、屋外試験体 A の試料について 2013 年 2 月 18 日に詳細計測（イオン有機酸、特殊有機酸）用の分析を行った。

表 2.5.3-1 実施内容

日付	室内緑化試験体 A	室内緑化試験体 B	室内緑化試験体 C
2012 年 11 月 27 日	装置設置、灌水循環開始	試験体準備	試験体準備
2012 年 12 月 1 日	植栽設置、試験開始		
～	水質計測（定期計測週 1～2 回）		
	水補給（10 日に 1 回程度）		
2013 年 1 月 4 日	水替え	植栽、灌水循環開始	植栽、灌水循環開始
～	水質計測（定期計測 週 1～2 回） 水補給（10 日に 1 回程度）		
2013 年 1 月 21 日	詳細計測（イオン有機酸）用 試料採取および水補給		
2013 年 1 月 28 日		水処理（曝気）開始	水処理（曝気+砂ろ過）開始
2013 年 2 月 18 日	詳細計測（イオン有機酸、特殊有機酸）用 試料採取		
以降	継続計測		

2.5.4 計測手法

1) 定期計測

各試験体について、週 2 回を基本頻度として、表 2.5.4-1 に示す水質の計測を行った。また実験中の植物の生育評価は、生育の勢いや葉の状態変化を目視で確認した。また 20 日に一回の頻度で顕微鏡による目視とクロロフィル（エタノール抽出 *Wintermans and De Mots (1965)*）の計測を試みた。

表 2.5.4-1 定期計測項目一覧

計測項目	計測方法
水量	水位計測により換算
水温	溶存酸素計付属の水温センサー
溶存酸素	ガルバニ式隔膜モニター
pH	ガラス電極法
全窒素	燃焼非分散型赤外線式分析法
有機性炭素	燃焼酸化赤外線式分析法
電気伝導度	交流 2 電極法
全鉄	FerroVer 法
酸化還元電位	白金電極法
紫外吸光度	分光光度計（波長 254nm）

2) 詳細分析

(1) イオン・有機酸分析

各試験体について、2013 年 1 月 21 日および 2013 年 2 月 18 日に採水後、表 2.5.4-2 に示す計測を行った。

表 2.5.4-2 イオン・有機酸分析

計測項目	計測方法
1. 陽イオン分析	
ナトリウムイオン	フレイム原子吸光法 (JIS-K-0102.48.2)
カリウムイオン	フレイム原子吸光法 (JIS-K-0102.49.2)
カルシウムイオン	原子吸光法あるいは ICP 発光 (JIS-K-0102.50.2)
マグネシウムイオン	原子吸光法あるいは ICP 発光 (JIS-K-0102.51.2)
アンモニウムイオン	吸光光度法 (JIS-K-0102.42.2)
2. 陰イオン分析	
硝酸イオン	吸光光度法 (JIS-K-0102.43.2.3)
硫酸イオン	イオンクロマトグラフ (JIS-K-0102.41.3)
リン酸イオン	吸光光度法 (JIS-K-0102.46.1.1)
塩化物イオン	イオンクロマトグラフ (JIS-K-0102.35.3)
3. 有機酸分析	
ギ酸、酢酸、N-酪酸、イソ酪酸、プロピオン酸、クエン酸、シュウ酸、乳酸	高速液体クロマトグラフ法 (多成分同時分析)
リンゴ酸	高速液体クロマトグラフ法
コハク酸	高速液体クロマトグラフ法
マロン酸	高速液体クロマトグラフ法

(2) 特殊有機酸分析

2013年2月18日採水の室内緑化試験体AおよびBについて、表2.5.4-3に示す計測を行った。

表 2.5.4-3 特殊有機酸分析

計測項目	計測方法
クエン酸、ピルビン酸、リング酸、 コハク酸、乳酸、ギ酸、酢酸、 レプリン酸、ピログルタミン酸、 プロピオン酸、イソ酪酸、n-酪酸、 イソ吉草酸、n-吉草酸	有機酸14成分同時分析システムによるポストカラム反応、HPLC-CDD

2.5.5 計測結果

1) 定期計測結果

全植栽について、試験期間を通じて枯れる、あるいは変色するなどの変化は認められなかった。水質等の計測結果から、水温は12℃～18℃、pHは6.5～8.0の範囲で推移した。電気伝導度や全窒素濃度については、試験体Aにおいて急激な値の上昇を確認した。また、水量については、1日平均で約0.4～0.8L減少した(採水による減少量は除外済)。試験体B及び試験体Cでは曝気開始後の減少量は0.7～1.1L/日であった。酸化還元電位ORPについてはすべての試料で100-150mVの間の値を示した。

採水した全ての試料について紫外吸光度(OD_{254nm})の計測で、有意な値(0.001Absを超える値)は確認されなかったことから、土壌中のフミン酸物質は存在しないものと推測された。一方で、全鉄濃度の結果では通水開始直後に値の一時的な上昇を確認しており、初期に土壌から溶出した可能性が高い。また、植物プランクトン(藻類)について、顕微鏡による確認で植物性プランクトンの存在は確認できなかったものの、クロロフィル(a+b)の計測で表2.5.5-1に示す結果を確認したことから、藻類は断続的に発生しているものと推測された。

表 2.5.5-1 クロロフィル(a+b)計測結果

採水日	2012/11/28	2013/1/18	2013/1/18	2013/1/18
試料	室内試験体A	試験体A	試験体B	試験体C
クロロフィル(a+b) (mg/L)	1.36	0	0.02	0.11

採水日	2013/2/18	2013/2/18	2013/2/18
試料	試験体A	試験体B	試験体C
クロロフィル(a+b) (mg/L)	0	0.36	0.16

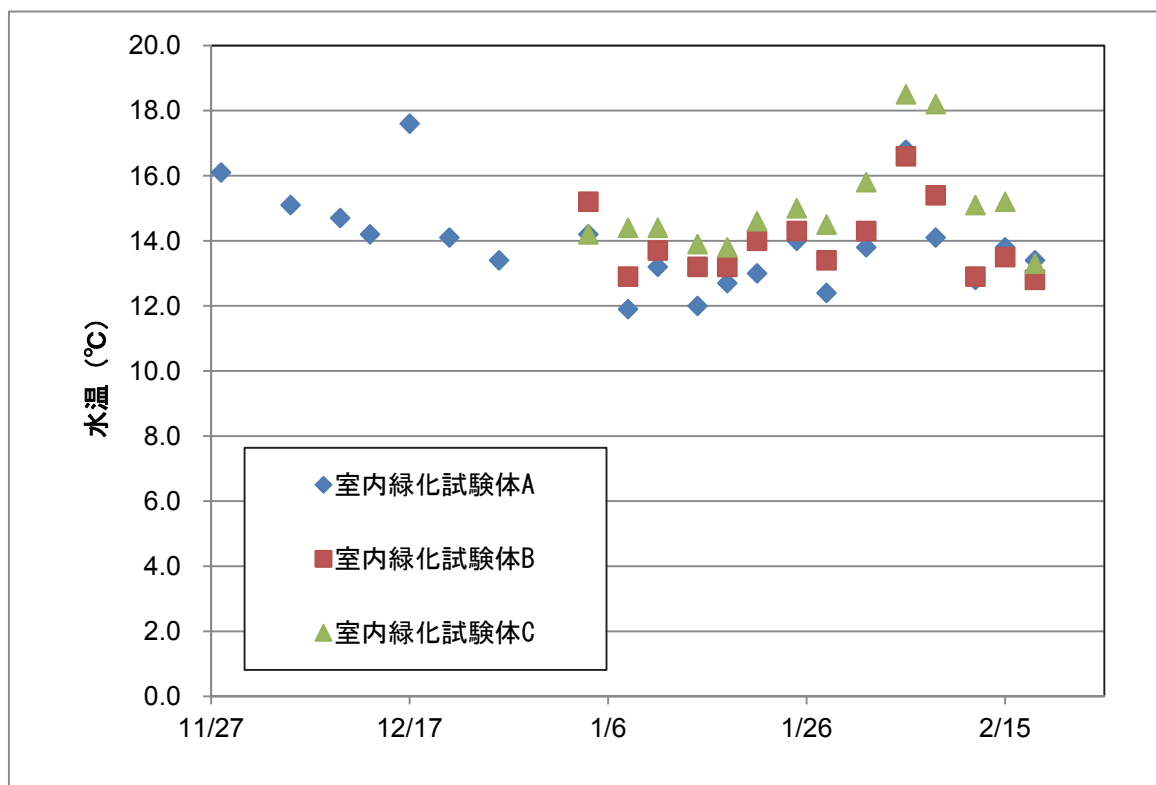


図 2.5.5-1 水温の経時変化

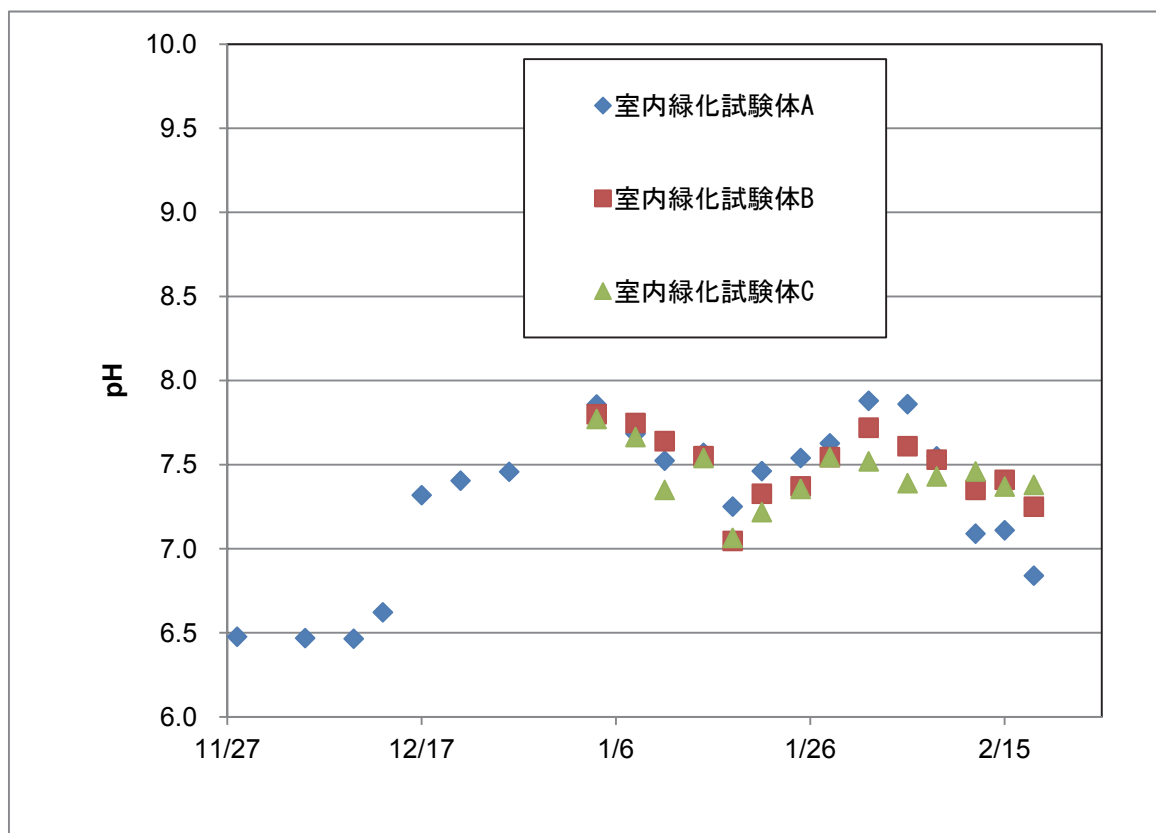


図 2.5.5-2 pH の経時変化

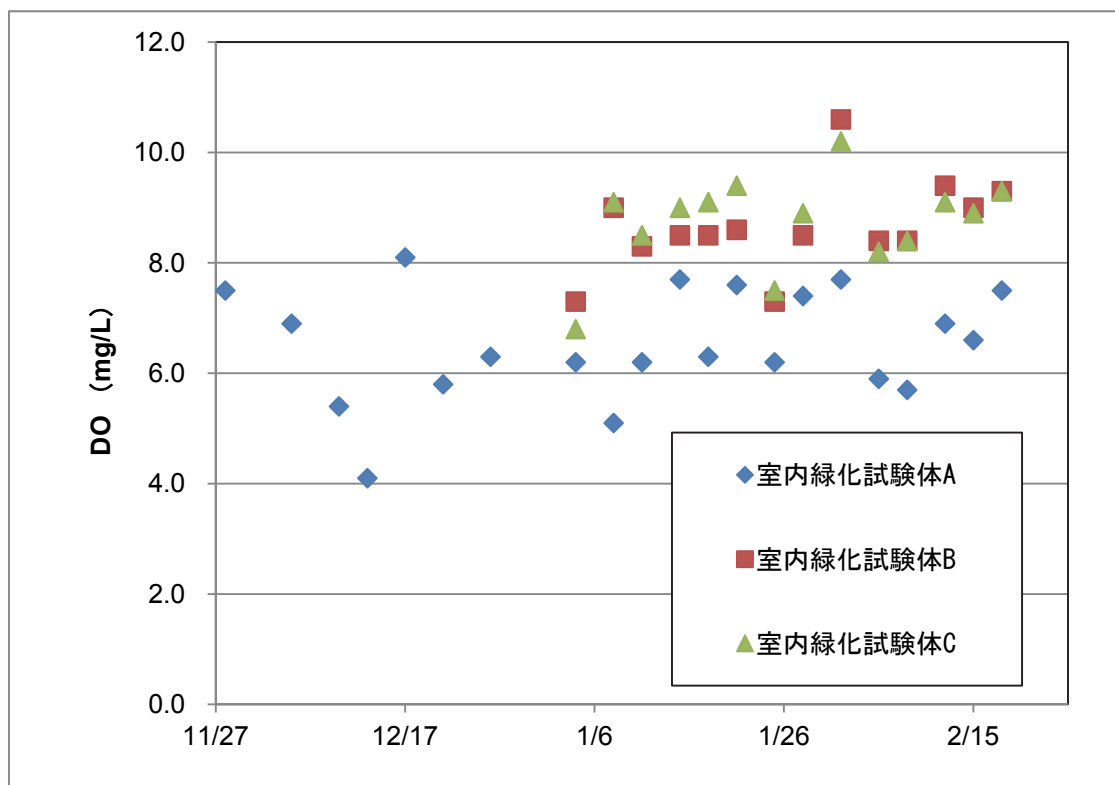


図 2.5.5-3 溶存酸素の経時変化

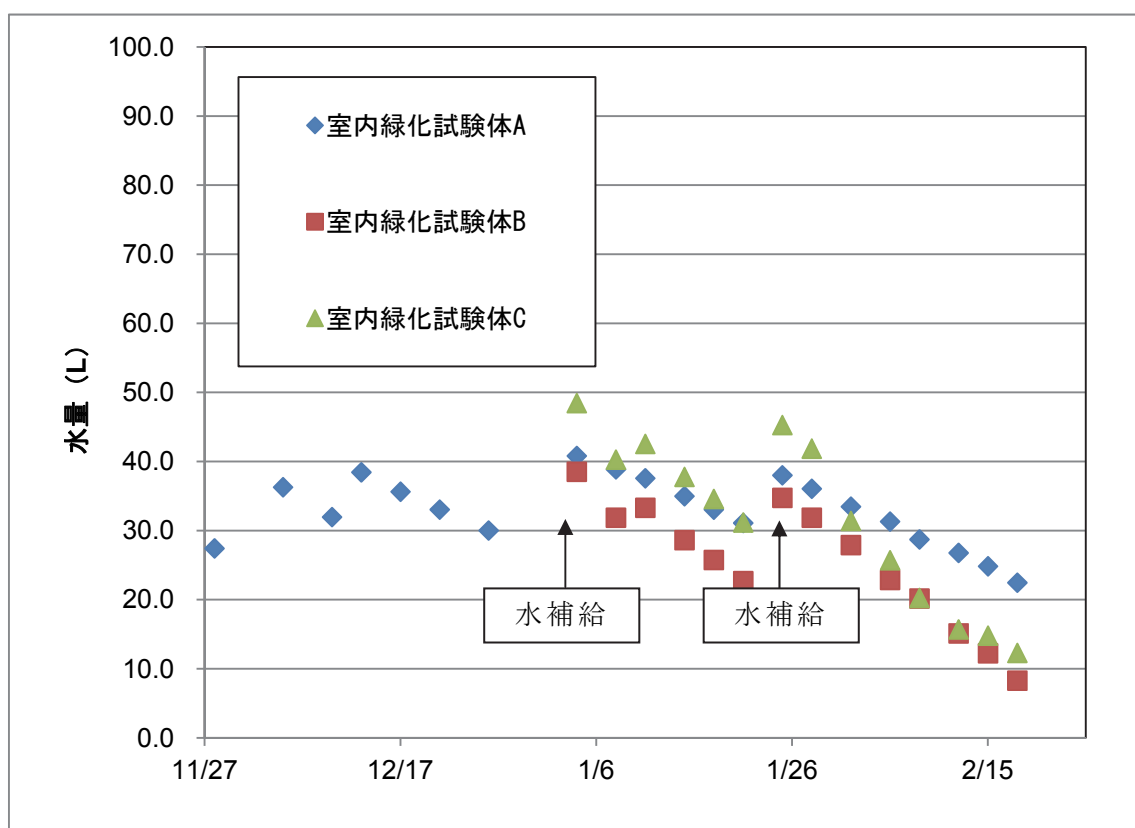


図 2.5.5-4 水量（タンク内）の経時変化

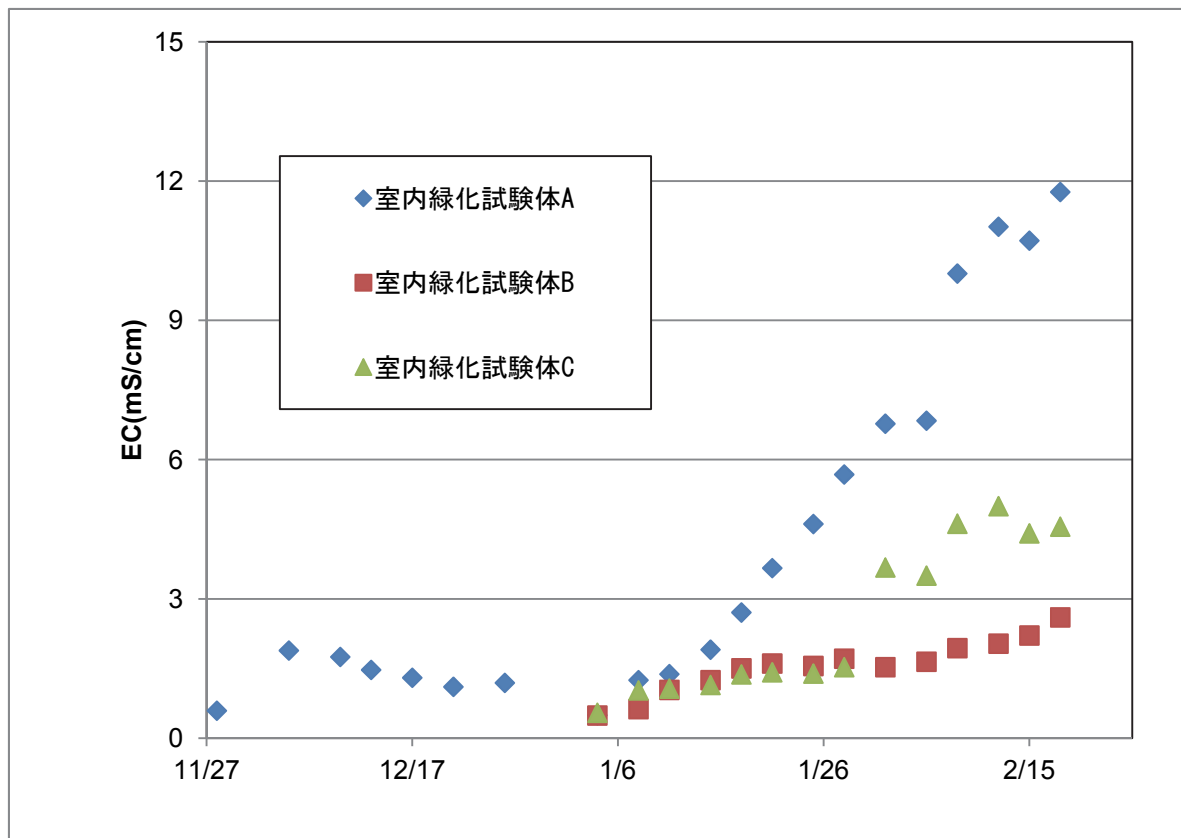


図 2.5.5-5 電気伝導度の経時変化

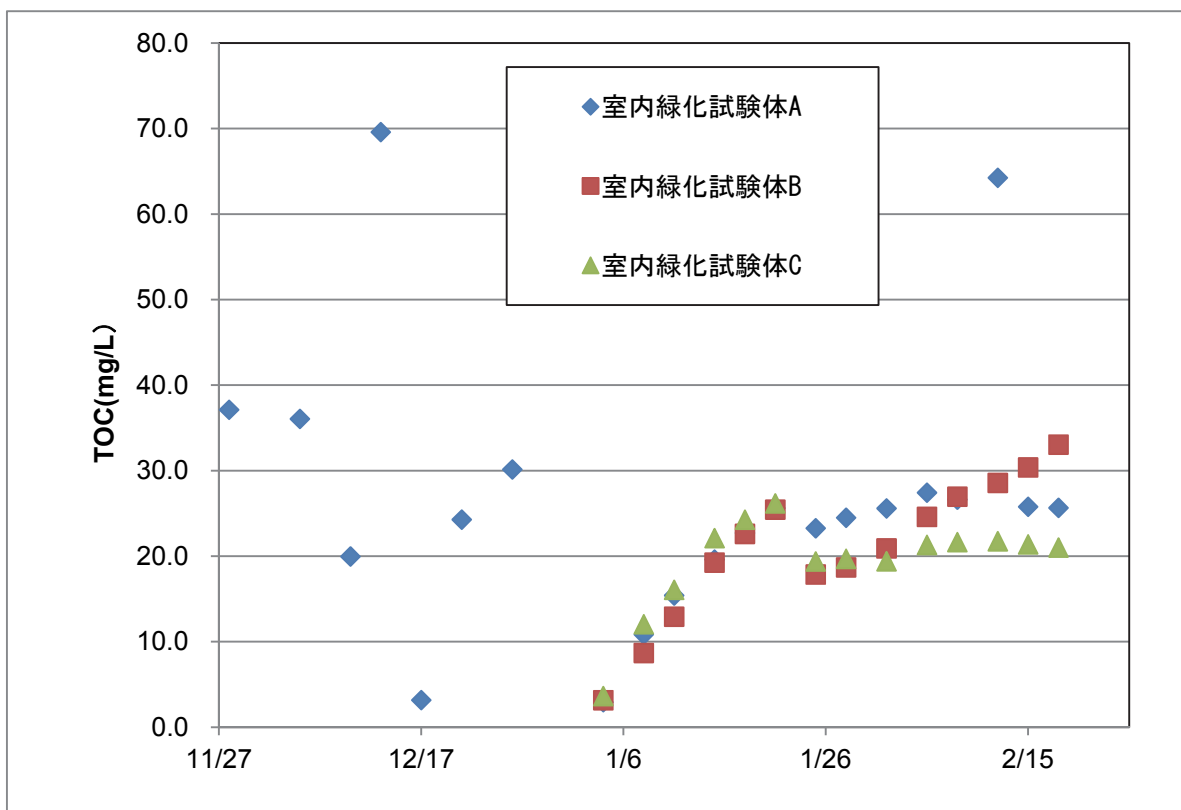


図 2.5.5-6 有機性炭素濃度の経時変化

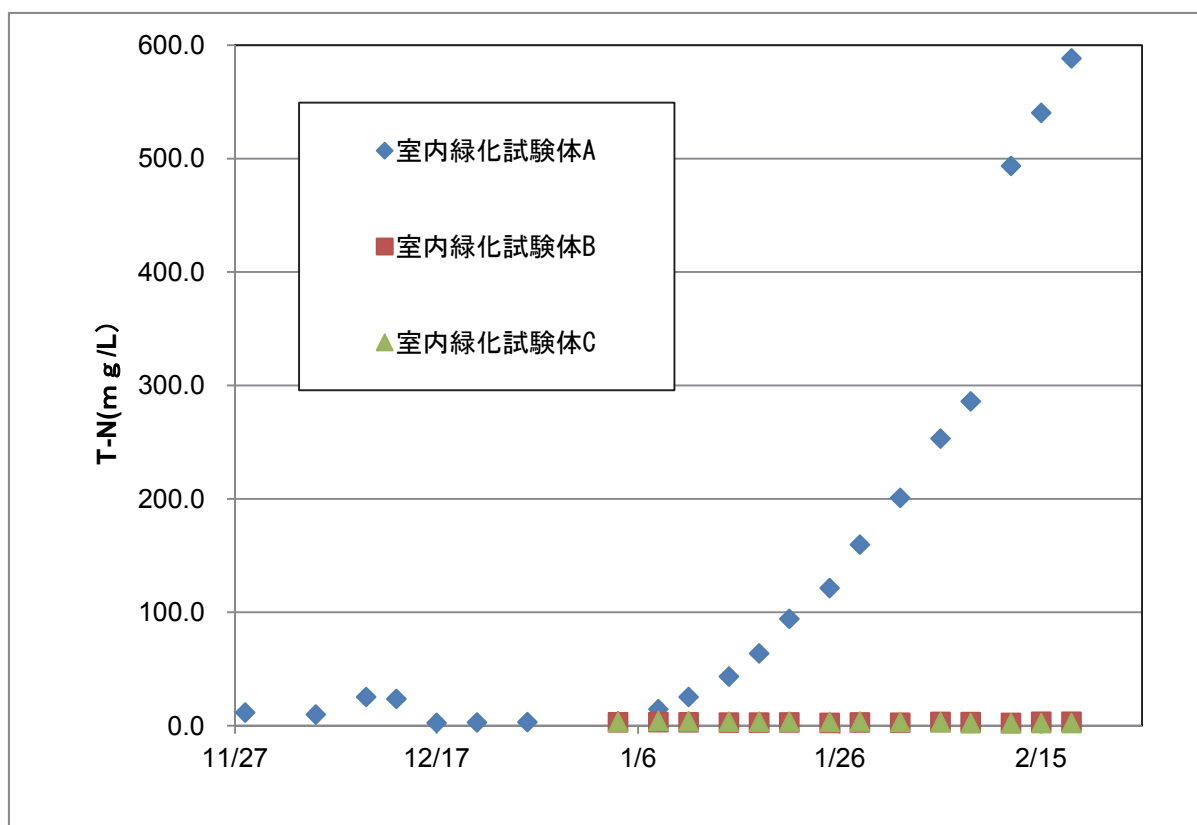


図 2.5.5-7 全窒素の経時変化

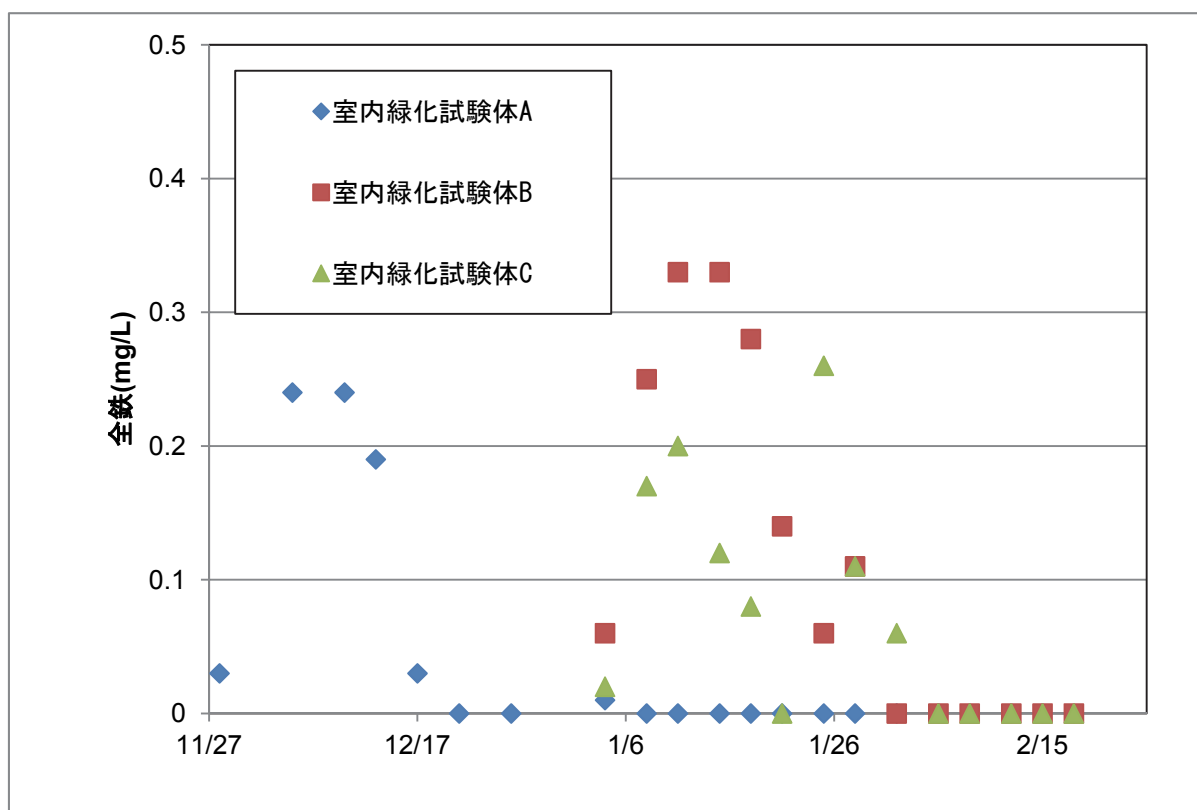


図 2.5.5-8 全鉄の経時変化

2) 詳細分析結果

(1) イオン・有機酸分析

イオン・有機酸分析の結果を図に示す。イオンについては、室内試験体 A（循環利用のみのケース）で相対的に高い硫酸イオンと硝酸イオン、アンモニウムイオンが検出された。また、室内試験体 C（エアレーション+砂ろ過のケース）においても 2013 年 2 月 18 日採水分については高濃度の硫酸イオンが検出された。有機酸分析については、すべての項目で定量下限（2.5～250mg/L）以下であった。シュウ酸及びクエン酸については妨害物質の影響があるため、分析試料を 1～100 倍希釈して測定し、定量下限値を 2.5 未満～250 未満とした。

表 2.5.5-2 イオン分析結果（2013/1/21 採水分）

2013/1/21採水試料	室内試験体 A	室内試験体 B	室内試験体 C
ナトリウム (mg/L)	27	30.7	28
カリウム (mg/L)	4.2	4.9	4.2
カルシウム (mg/L)	17.2	23	19.6
マグネシウム (mg/L)	4.4	5.5	4.5
塩化物イオン (mg/L)	38	45	38
硫酸イオン (mg/L)	107	89	75
硝酸イオン (mg/L)	65.2	2.32	4.7
アンモニウムイオン (mg/L)	68.2	0.4未満	0.5
イオン性リン (mg/L)	0.03未満	0.03未満	0.03未満

表 2.5.5-3 イオン分析結果（2013/2/18 採水分）

2013/2/18採水試料	室内試験体 A	室内試験体 B	室内試験体 C	屋外試験体 A
ナトリウム (mg/L)	41.8	69.1	140	6
カリウム (mg/L)	9	4.7	5.9	6.7
カルシウム (mg/L)	134	47.4	163	91.5
マグネシウム (mg/L)	19.4	11.1	13.6	11.3
塩化物イオン (mg/L)	50	95	67	21
硫酸イオン (mg/L)	354	175	502	45
硝酸イオン (mg/L)	986	0.56	0.2	185
アンモニウムイオン (mg/L)	81.3	0.4未満	0.4未満	0.4未満
イオン性リン (mg/L)	0.03未満	0.03未満	0.03未満	0.08

表 2.5.5-4 有機酸分析結果（2013/1/21 採水分）

成分名	室内試験体 A	室内試験体 B	室内試験体 C
シュウ酸 (mg/L)	<250	<2.5	<2.5
クエン酸 (mg/L)	<25	<2.5	<2.5
乳酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
蟻酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
酢酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
プロピオン酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
イソ酪酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
ノルマル酪酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
リンゴ酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
コハク酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5
マロン酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5

表 2.5.5-5 有機酸分析結果（2013/2/18 採水分）

成分名	室内試験体 A	室内試験体 B	室内試験体 C	屋外試験体 A
シュウ酸 (mg/L)	<250	<2.5	<2.5	<2.5
クエン酸 (mg/L)	<25	<2.5	<2.5	<2.5
乳酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
蟻酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
酢酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
プロピオン酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
イソ酪酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
ノルマル酪酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
リンゴ酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
コハク酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5
マロン酸 (mg/L)	<2.5	<2.5	<2.5	<2.5

(2) 特殊有機酸分析

定量下限値を大幅に下げた状況下での有機酸分析を行ったものの、定量下限を上回る有機酸は検出されなかった。(1)節の結果と併せて、本試験期間中の有機酸の蓄積は確認されなかった。

表 2.5.5-6 特殊有機酸分析結果 (2013/2/18 採水分)

成分名	室内試験体 A	室内試験体 B
クエン酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
ピルビン酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
リンゴ酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
コハク酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
乳酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
ギ酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
酢酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
レブリン酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
ピログルタミン酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
プロピオン酸 (mg/L)	<0.5	<0.5
イソ酪酸 (mg/L)	<1.0	<1.0
n-酪酸 (mg/L)	<1.0	<1.0
イソ吉草酸 (mg/L)	<1.0	<1.0
n-吉草酸 (mg/L)	<1.0	<1.0

2.5.6 考察

本試験結果から考察された事項を以下に列記する。

・水温 12℃から 18℃の室内条件下で、循環水量の 10%～20%（約 1m² の壁面緑化試験体で 5L/日を循環した場合に 0.5～1 L/日）が減少したため、これに相当する補給水が必要となった。このため、20 日に 1 回程度の割合で補給を行った。

・最長の循環利用日数は 27 日間であったが、試験期間を通じて、すべての室内緑化試験体に外見上の変化は認められなかった。

・室内試験体 B および試験体 C の水質計測結果から、室内試験体 A と比較した場合の水質悪化の程度は全般的に低い結果となった。

・当初予想されていた根酸類の蓄積による極端な pH 低下現象は確認されなかった。ただし、本試験は植栽を設置した直後の試験であり、今後、根の発達に伴い、根酸類の濃度が上昇する可能性はある。

・室内試験体 A の水質計測結果から、灌水を全量再利用する場合の電気伝導度や全窒素濃度の上昇、高有機性炭素濃度が確認された。植栽への影響は認められなかったものの、電気伝導度の値から将来的には植栽体の保持は困難（いずれは枯れる）と推測された。表 2.5.6-1 に灌水に求められる水質（電気伝導度）の値を示す。

表 2.5.6-1 灌水の電気伝導度と植物への影響

塩害	電気伝導度 (EC)	影響
低い	0.8 mS/cm 以下	有害な影響なし
中位	0.8～1.6 mS/cm	感受性の高い植物はストレスを示す
高い	1.6～3 mS/cm	耐塩性の植物のみ生存
非常に高い	3 mS/cm 以上	非常に耐塩性の高い植物のみ生存

出典：オーストラリア クイーンズランド州農林水産部ホームページ

http://www.daff.qld.gov.au/26_15352.htm

・詳細分析の結果、電気伝導度上昇の原因であると考えられた物質は、硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオンであった。一般的に緑化施設で析出することの多い塩類は、塩化ナトリウム、硫酸ナトリウム、硫酸カルシウム、硫酸マグネシウムであるとされており、硫酸イオンについてはこれと同様な結果となった。

以上のことから、灌水の循環利用に伴い、現時点では緑化試験体への悪影響が出ていない一方で、将来的には主に電気伝導度（高い塩類濃度）により、植栽に影響がでる恐れが高いことが懸念された。水質悪化の原因としては、試験の結果から想定された硫酸イオン、硝酸イオン、アンモニウムイオンによる塩類の蓄積、有機性炭素濃度による水の腐敗による影響がでるものと推測された。そこで、効率の良い循環利用を水量ならびに水質の面から以下のように検討した。

【水量】

初期 30L の水を 5 L/日で循環する場合、6 日間で 30L、12 日間で 60L の水を使用した。循環利用率 100%を達成する場合には補給水のみが必要となり、6 日間で必要な補給水量は式 1 で算出される。一方、循環利用率 50%を達成する場合、式 1 と式 2 の合計より、18L の水が必要となる。同様に 12 日間では式 3 より、21L の水が必要となる。循環利用率 50%の場合、初期 30L の水が入れ替わるのに 20 日間が必要となる。

$$5\text{L/日} \times 20\% \times 6 \text{ 日間} = 6 \text{ L} \quad \text{式 1}$$

$$(\text{初期 } 30\text{L} - 6\text{L}) \times 50\% = 12\text{L} \quad \text{式 2}$$

$$\{\text{初期 } 30\text{L} - (5 \text{ L/日} \times 20\% \times 12 \text{ 日})\} \times 50\% + 5 \text{ L/日} \times 20\% \times 12 \text{ 日} = 21\text{L} \quad \text{式 3}$$

本試験では平均貯水量 30L の水に対し、循環利用率 100%での循環利用日数（連続運転可能な日数）として 27 日間を確認した。

【水質】

電気伝導度の計測結果から、20日間連続の循環利用を行った場合の電気伝導度の上昇幅を算出した。次いでこの上昇幅の値を表 2.5.6-1 の植物生育一灌水の電気伝導度と比較して将来的な植物への影響を予測した。結果を表 2.5.6-2 に示す。本試験の結果からは、循環率 100%の条件下であっても屋内緑化試験体 B（エアレーションを実施したケース）であれば連続運転が可能であると考察された。しかし、現実的には耐塩性の低い植物も利用すること、電気伝導度の値を管理しながらの運転が現時点では困難であること、長期的には土壌の緩衝能が小さくなること等が懸念された。よって、次章以降の試算は、エアレーションによる処理を行う想定で、灌水を 50%循環利用するケースでの試算を行う。

表 2.5.6-2 本試験における電気伝導度の上昇幅と植物への将来的な影響予測

ケース	時期	初期の値 (mS/cm)	20～21 日後 の値 (mS/cm)	上昇幅 (mS/cm)	初期値を 0mS/cm とした 場合の将来的な影響 予測（表 2.5.6-1 より）
屋内緑化 試験体 A	1/4-1/25	0.5	4.6	4.1	塩害の恐れが非常に高く、20 日間の連続運転は困難
屋内緑化 試験体 B	1/4-1/25	0.5	1.6	1.1	塩類に感受性の高いものはストレスを示すが、連続運転は可能
屋内緑化 試験体 C	1/4-1/25	0.5	1.4	0.9	塩類に感受性の高いものはストレスを示すが、連続運転は可能
屋内緑化 試験体 A	1/28-2/18	5.7	11.8	6.1	塩害の恐れが非常に高く、20 日間の連続運転は困難
屋内緑化 試験体 B	1/28-2/18	1.7	2.6	0.9	塩類に感受性の高いものはストレスを示すが、連続運転は可能
屋内緑化 試験体 C	1/28-2/18	1.5	4.6	3.1	塩害の恐れが非常に高く、20 日間の連続運転は困難

2.5.7 今後の課題

今後、実規模の装置へ適用するに当たり、考えられる課題を以下に列記する。

- ・ 本試験は 1 ヶ月～3 ヶ月程度の短い試験期間で実施した。水を入れ替えることによる植栽への影響や継続的なストレスによる植物への悪影響を長期的に評価する必要がある。
- ・ 屋外での適用に伴う日光による藻の発生や温度変化（特に夏季）に伴う水質への悪影響を把握する必要がある。
- ・ 水質悪化の鍵となると考えられた物質の処理方法について、更なる詳細検討を行い、より効率の良い処理方法や管理方法を検討する必要がある。
- ・ 本試験では植栽を植えた直後に試験を開始している。植栽の根が生育することで、根酸の濃度上昇をはじめとした水質への影響増加の恐れがある。
- ・ 特定建築物の雑用水には利用目的に応じて、pH 値や残留塩素などの基準が設定されている。対象施設がこれらの特定建築物に該当する場合は pH 調整装置や滅菌装置などの追加施設が必要となるため、使用するエネルギーが増加することとなる。

第3章 水と自然エネルギーの有効活用システムの概念設計

3.1 概要

本章では水と自然エネルギーの有効活用システムの概念設計を行うにあたり、壁面緑化に必要な灌水を貯留する地下の雨水貯留槽と集水設備、灌水に必要なポンプを使用するために必要な太陽光パネルから構成される図 3.1-1 記載のシステムの施設規模の算出を目的とした。

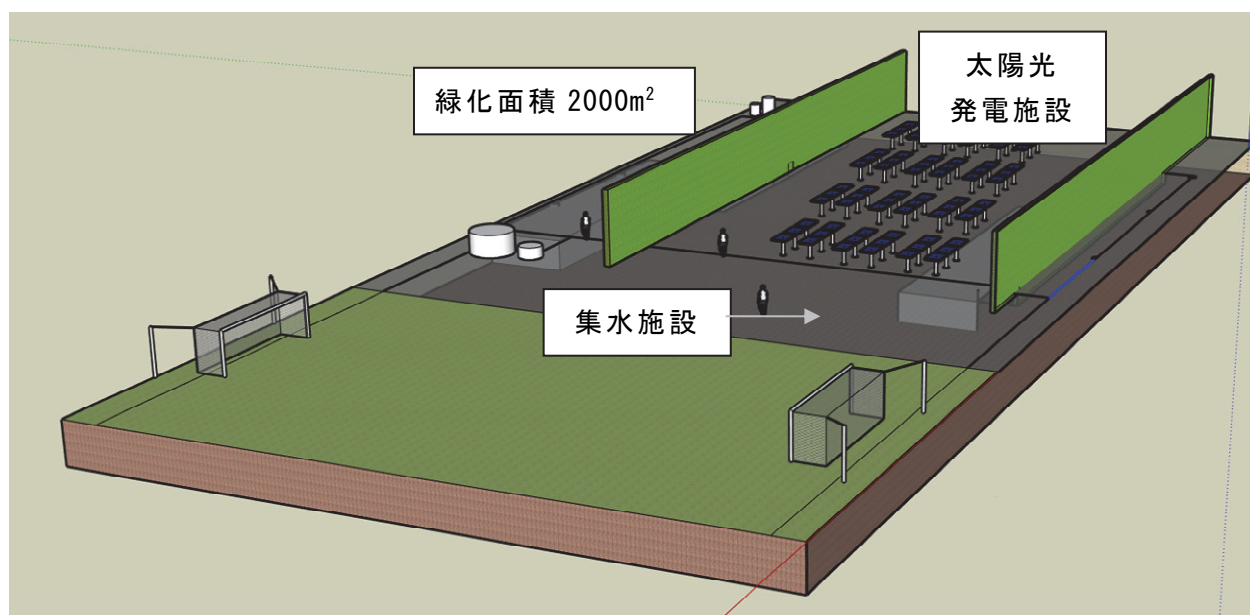


図 3.1-1 水と自然エネルギーの有効活用システムイメージ

3.2 概念設計フロー

国内に存在する緑化施設のうち比較的規模の大きいものを対象として、概念設計を行った。施設規模は緑化面積 $2,000\text{m}^2$ として、以下の設計を行った。太陽光発電による年間の発電量が、壁面緑化（面積 $2,000\text{m}^2$ ）の灌水に必要な電力量に相当するとして、図 3.2-1 に示すフローによる試算を行った。諸元となる降水条件や日射条件は国内（東京都）のデータを元に算出した。

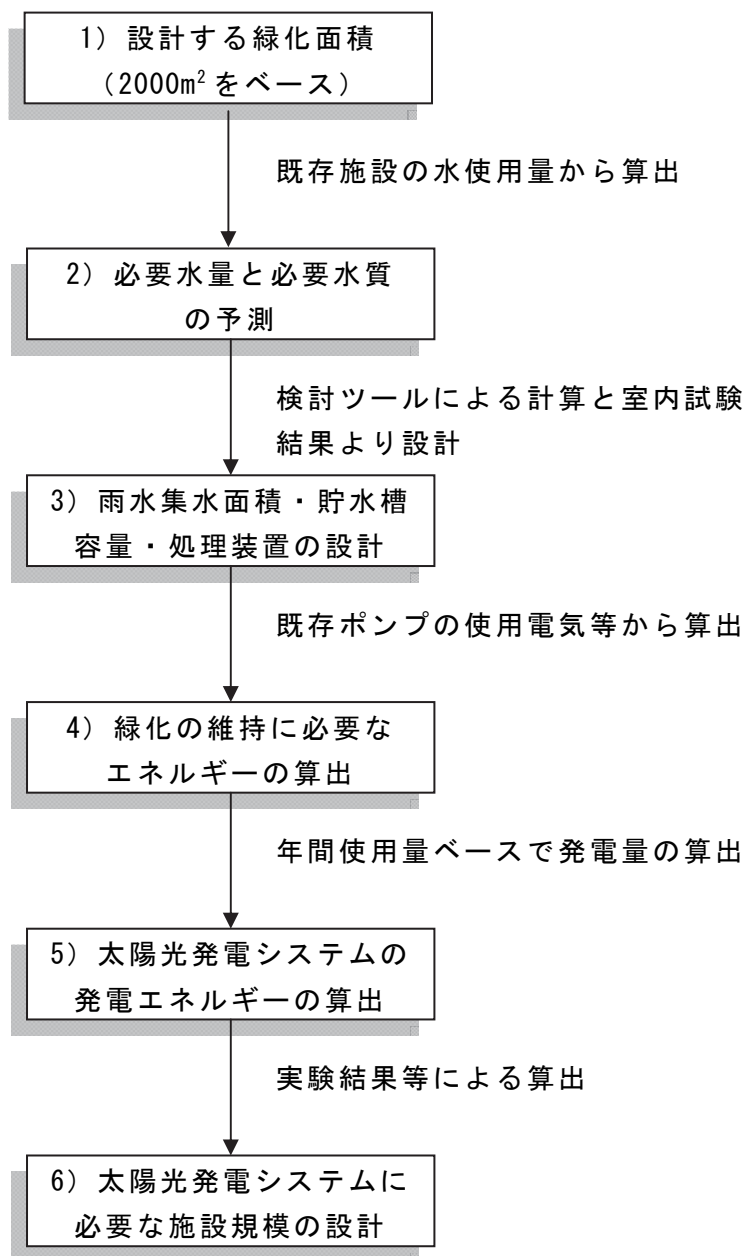


図 3.2-1 施設規模の算出フロー

3.3 ケーススタディ

第2章での検討から、雨水充当率は60%が妥当であること、緑化に必要な灌水使用量は夏季に10L/m²・日、冬季に5L/m²・日であることが示唆されている。本項ではこれらの諸元によるケーススタディを行った。

3.3.1 雨水利用60%を目指すケース

表3.3.1-1に示す数値を用い、第2章の2.2項の検討ツールを用いて雨水浸透エリアに必要な屋根面積と雨水貯留槽の施設規模を算出した。1982年～2010年の降水量実績（図3.3.1-1）を用いて、全使用灌水量のうち、雨水の使用可能量（以下雨水充足率）が60%となるよう算出した。

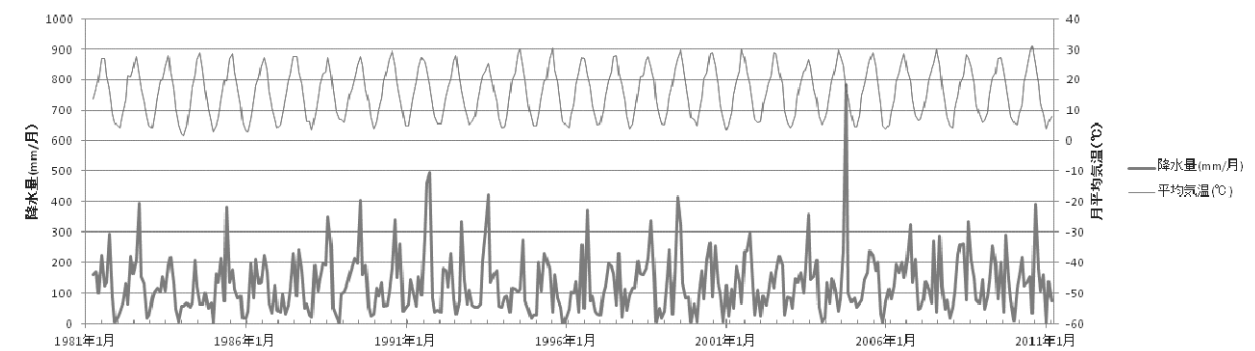


図 3.3.1-1 東京都降水量（実績）

表 3.3.1-1 雨水の灌水利用の算出諸元

項目	数値	単位	備考
壁面緑化設置面積	2,000	m ²	想定値
検討場所	東京都		
検討開始	1982	年	
検討終了	2010	年	
単位面積あたりの必要水量	5	L/回・m ² ・日	
灌水回数	2	回	
冬季灌水率	50	%	
上水使用量（目標）	2	L/m ² ・日	蒸発等で最低限必要な量
雨水の使用可能水量（目標）	3	L/m ² ・日	雨水充当率60%を目標

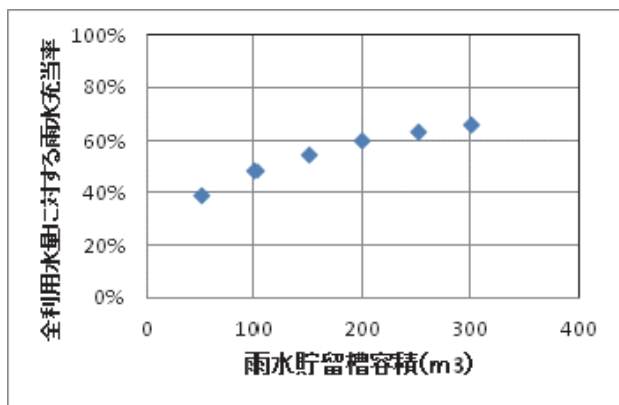


図 3.3.1-2 雨水貯留槽容積と雨水充当率

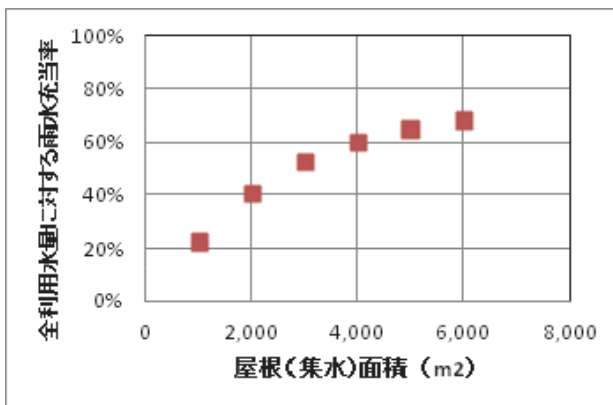


図 3.3.1-2 屋根（集水）面積と雨水充当率

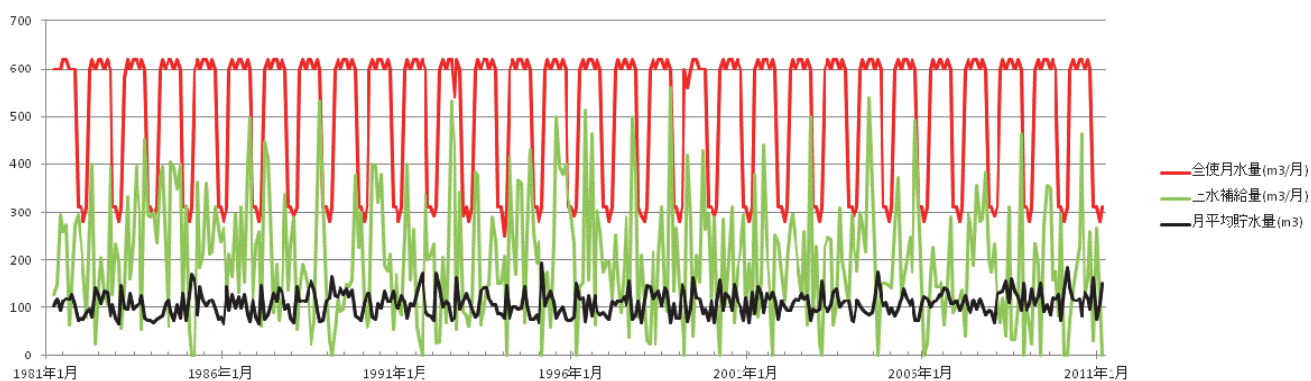


図 3.3.1-3 使用水量に対する平均貯水量と上水補給量の関係

雨水貯留槽容積は 200m^3 、屋根面積が $4,000\text{m}^2$ の際に雨水充当率は 60% となった。このケースの全使用水量・上水補給量 ($\text{m}^3/\text{月}$)・月平均貯水量 (m^3) の全期間の変動を図 3.3.1-3 に示した。ツールによる試算により、必要な上水補給量から算出される上水の削減量は $3,658\text{m}^3/\text{年}$ となった。

一軸追尾集光型太陽光発電システムの追尾方式は、地軸追尾型(2.1.9 参照)とし、集光倍率は 40%、追尾精度は $\pm 0.3^\circ$ (追尾誤差によるロス分 9.5%) と想定した。また一軸追尾集光型太陽光発電に用いる太陽光発電セルの発電効率は 18.9%、各種損失係数を 0.8 と設定した。

灌水に必要な電力量が年間 $1,825\text{kWh}/\text{年}$ ($5\text{kWh}/\text{日} \times 365$ 日) であることから、この電力量を太陽光発電で賄うものとした。東京における傾斜面直達日射量(一軸追尾した場合の傾斜面における)は $886\text{kWh}/\text{m}^2$ 年である。 1m^2 あたりの発電量は下記の通りと予測される。 1m^2 あたりの発電量 $= 886\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ 年} \times 0.189$ (発電効率) $\times 0.8$ (各種損失係数) $\times (1 - 0.095)$ (追尾誤差によるロス) $= 121\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ 年}$ 、よって発電に必要な面積は 15m^2 と試算される。以上の結果から、雨水充当率 60% を目標とした際の施設規模は雨水貯留槽容積が 200m^3 、屋根面積が $4,000 \text{ m}^2$ であり、上水削減量は $3,658\text{m}^3/\text{年}$ となった。灌水に必要な電力量は $1,825\text{kWh}$ であり、必要な太陽光発電の施設面積は 15 m^2 となった。

3.3.2 雨水充当率 60%で使用した雨水の循環利用率 50%を目指すケース

3.3.1 と同様の手順にて、1982 年～2010 年の降水量実績（図 3.3.1-1）を用いて、全使用灌水量のうち、雨水の使用可能量（以下雨水充足率）が 60%となる施設を用いた。利用した雨水のうち 50%を再利用する（循環利用率 50%）とした場合の使用電力量と発電施設面積を算出した。

表 3.3.2-1 雨水の灌水及び灌水再利用時の施設規模の算出諸元

項目	数値	単位	備考
壁面緑化設置面積	2,000	m ²	想定値
単位面積あたりの必要水量	5	L/m ² ・日	
上水使用量	2	L/m ² ・日	蒸発等で最低限必要な量
雨水の使用可能水量	3	L/m ² ・日	60%
雨水浸透エリア設置面積	4,000	m ²	
雨水貯留槽	200	m ³	+雨水再利用の処理水槽や循環ポンプ、ブローが必要
灌水再利用水量	1.5	L/m ² ・日	雨水の使用可能量の 50%を再利用するとした
緑化の維持及び灌水再利用に必要なエネルギー	15kWh	1 日あたり	灌水ポンプ+水処理用循環ポンプ+ブロー

雨水充当率 60%を目標とした際の施設規模は雨水貯留槽容積が 200m³、屋根面積が 4,000m²であった。この時に必要な電力量は、循環利用率 50%を考慮した場合の上水削減量は 5,486m³/年となった。灌水に必要な電力量は 5,475kWh であり、前述の 1m²あたりの発電量＝886kWh/m²年×0.189(発電効率)×0.8(各種損失係数)×(1－0.095(追尾誤差によるロス))＝121kWh/m²年より、必要な太陽光発電の施設面積は 45m²となった。

3.4 まとめと今後の課題

本章では第1章、第2章で収集された情報や検討結果を元にシステムの概念設計を行った。施設規模をまとめた結果を図3.4-1に示す

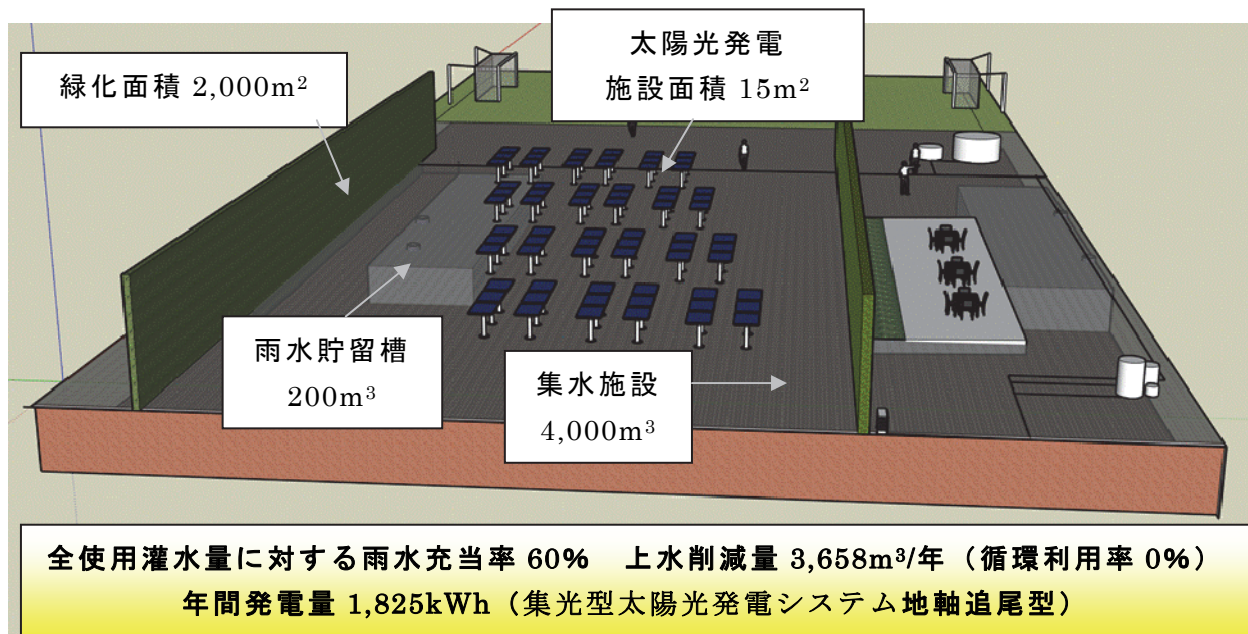


図 3.4-1 水と自然エネルギーの有効活用システム 施設規模まとめ

以下に本システムを成立させるために今後、更なる検討が必要な項目を列挙した。

【国内適用】

- ・ 高い発電効率を持った追尾型発電装置の適用制限（風荷重等）
- ・ 補助金を含めたコスト情報（各装置のイニシャル・ランニングコスト）
- ・ 灌水の循環利用をする場合の長期的な水質や植栽に関わる知見

【国外適用】国内適用に加えて

- ・ 降水量や気温に関わる情報
- ・ 井水の利用条件（降水量の乏しい地域では井水による灌水が主体）と循環利用時の制限
- ・ 使用する植栽に関わる情報

おわりに

本事業では緑化施設の持続可能な利用を目的として、局所分散型で水とエネルギーを独立で確保できる有効活用システムの検討を行った。具体的には第 1 章にて、太陽光発電装置や水の有効利用に関わる既往研究ならびに既往システムの知見収集を図るとともに、既存施設へのアンケート調査を通して、実態把握を行った。次に、第 2 章では、地軸追尾型の集光型太陽光発電システムや壁面緑化における灌水の循環利用のためのプロトタイプを作成し、各種データの収集を試みると共に水利用検討ツールの開発を行った。最後に第 3 章では、第 1 章と第 2 章で得られた知見を元に、緑化面積 2,000m² の施設の概念設計を行い、太陽光発電の施設面積や雨水貯留槽等に必要となる施設規模の算出を試みた。

今後、本事業で得られた成果を拡大し、国内外への適用を図るためには以下の技術分野での更なる研究開発が必要であると考えられる。

本年度、世界で最も進んだ水のリサイクル率を誇るイスラエルの水処理技術及び灌水技術を実地調査した。(補足資料-1 参照) 本文で記載した建物排水の利用に関しては、今後イスラエルのフィルター技術、濾過システムのアイディアを活用し、より効率の高いシステムを開発させたい。

平成 24 年度の調査研究の目的を達成した後は、継続的な研究を続けることが重要である。特に太陽光発電装置に関しては、実現性を重視して、メーカーとの共同開発を実施し、最終的に総合的なシステムを完成させる必要がある。

— 以上 —

水処理及び灌水技術の先端事例に関する報告書

調査の目的

世界で最も進んだ水のリサイクル率を誇るイスラエルの水処理技術及び灌水技術を調査することを目的とする。

イスラエルの国土は日本の四国程度であり、その 60%は不毛の地と言われる「荒野」と「砂漠」が続いている。経済重視の各国では緑が減少していくことを理解していながらも緑化には力を注がない現状である。しかし、イスラエルでは長年(約 30 年)の砂漠研究が進み、その研究成果が実り砂漠が減少している。2006 年以降は、イスラエルは水のリサイクル技術を中国へ伝え、中国も『砂漠の面積が縮んでいる国』となっている。中国はイスラエルと比べると大きな国なので、率で見ると小さいが、中国の砂漠面積も、イスラエルとの技術提携により、確実に縮小し始めている。

イスラエルは人口 750 万人、農業人口 8 万人である。砂漠地帯にもかかわらず食料自給率は 95%である。海水の淡水化技術、下水の再処理活用技術及び節水型の灌水技術は世界で最も進んでいる。1970 年代に灌水ホースの独自開発で節水を果たし、農業に革命をもたらした。灌漑用水は全て下水処理水でまかなう。北部の大都市で出た下水処理水を南部の砂漠地帯で農業用水として活用する。水のリサイクル率は 80%に達する。2 位はスペインで 25%である。水処理技術は現在世界に輸出される。

以上を踏まえて、海水の淡水化(飲料用)技術、下水の再処理技術、灌水技術及び都市の漏水削減技術について得られた結果について報告する。

調査日時

2013 年 1 月 12 日から 18 日

訪問先

- ①GES Global Environmental Solutions Ltd.(Elad Dinar)
- ②YAMIT E.L.I(Yaron Benayahu)
- ③Beth-EI Industries(Guy Zymann)
- ④Gilat Experimental Station(Uri Yermiyahu)
- ⑤Stream Control Ltd.(Shlomo Avitbul)

1. 最先端の水処理技術

イスラエルの進んだ水処理技術に、全自動スクリーンフィルターと全自動ディスクフィルターがある。全自動スクリーンフィルターは $3,000\sim 80\mu\text{m}$ の濾過を行い、 $10\sim 1,500$ トン/時の浄化処理を行うことができる。全自動ディスクフィルターはさらに細粒分を対象とし、 $80\sim 20\mu\text{m}$ の濾過を行い、 $5\sim 800$ トン/時の浄化処理を行うことができる。これらの装置は全世界に向けて輸出されている。

(1) 全自動スクリーンフィルター

全自動スクリーンフィルターは下水、川、湖、井戸水などの様々な水質の水を容易に目標とする水質に濾過できる。このフィルターは農業、都市用水、下水道システム、及び工業用途に適したフィルターで、簡単に設置・使用・点検できるものである。

以下に全自動スクリーンフィルターの構成を示す。

表 1-1 全自動スクリーンフィルターの構成

No.	名称	No.	名称
1	インレット	6	ダートコレクター
2	プレフィルター	7	サクションノズル
3	ファインスクリーン	8	電動モーター
4	水圧フラッシングバルブ	9	緊急フラッシングバルブ
5	フラッシングチャンバー	10	アウトレット

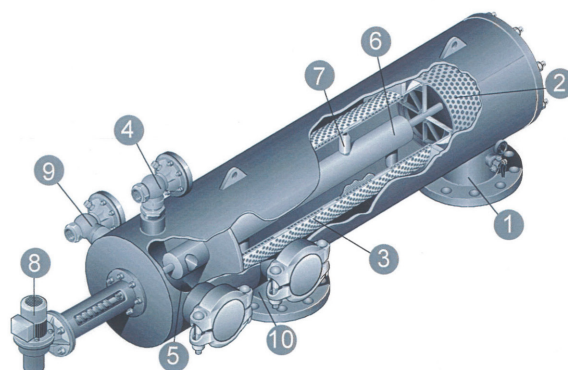


図 1-1 全自動スクリーンフィルターの構成概要

(出典：Yamit E.L.I カタログ)

(2) 全自動ディスクフィルター

全自動ディスクフィルターは主に排水処理、熱交換器循環水、冷却水のリサイクル、洗浄水のリサイクル、工業用水処理、海水循環などに用いられる。

全自動ディスクフィルターは圧縮積層したディスク外面・ディスク盤間で汚濁物をキャッチするため、一般のスクリーン式自動フィルターやウェッジ式フィルターのように表面だけで異物をキャッチするのと比較して濾過面積が大きいのが特徴である。ディスク表面にはミクロンサイズの精密な溝加工が施され、その重ね合せの技術で精密濾過を可能にしている。

原水がディスク外面・ディスク盤間で通過するときに汚濁物をキャッチする。キャッチした汚濁物が積層されていくと入口と出口に差圧が生じ、差圧指示器で設定された差圧を感知すると、コントローラーから逆洗モードの指示が出る。逆洗モードの指示によりディスク間を広げ目詰まりした汚濁物を排出しやすくし、強烈なスプレー噴射でディスク盤をスピンさせ、水流と遠心力を効かせて汚濁物を洗浄排出する。連結されたユニットは濾過水で順次逆洗を行うため、洗浄中も濾過は継続する。

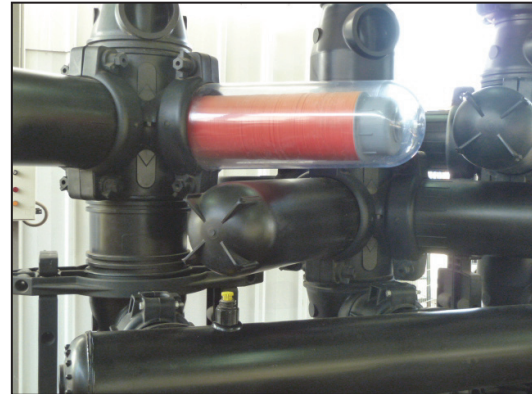


写真 1-1 1セット12基のディスクフィルター

写真 1-2 内部構造のデモ装置

写真は12基のディスクフィルターが連結されたもので、約2,000トン/時の処理能力を持つ。イスラエルでは国家プロジェクトで紅海からくみ上げた海水を飲料水化するため、写真の12基で1セットのものを50基用意し、10万トン/時の処理が可能とする海水の淡水化計画が進んでいる。ディスクフィルターで処理した海水は、逆浸透膜（RO膜）を用いて飲料水化するというものである。これにより、飲料水に関する国民の不安がほぼなくなるという。

(3)節水を最優先の灌水技術

イスラエルは乾燥した地域に位置しているが、独自の灌水技術の適用により緑の多い国である。都市緑化も積極的に展開されている。もっとも大きな技術的な特徴は灌水ホースの開発にある。ドリップホースを用いた点滴灌水は、蒸発分を少なくし植物へ効率よく給水できる。このドリップ部分に画期的な仕組みを取り付けて、現在では、従来不可能であった、点滴1か所当たり1.6L/時の灌水が可能となっている。ホースの内部に取り付けた仕組みは、フィルター、ダイヤフラム、乱流を生じる流水路で構成されている。写真 1-3 にドリップ灌水ホースの内部構造を示す。特徴は以下のとおりである。

- ①ドリッパーの独自の構造が乱水流を起こすため、目詰まりがきわめて少なく、液肥灌水も可能である。中水やリサイクル水の使用も可能である。
- ②水圧の変化を自動的に補正する機能があるため、勾配や灌水距離に影響を受けることなく、全面積に100%近い灌水が行える。
- ③点滴ホースに各種のドリッパーを組み合わせることにより、個々の植物に適切な養分を施し、安定した植物の生育が可能となっている。
- ④個々の植栽エリアをコンピューターにより管理することができ、灌水システムの完全自動化や広大な面積の灌水が可能となっている。



写真 1-3 ホース内臓ドリッパーの断面

(4)都市の漏水削減技術

Stream Control 社の Shlomo avitbul 氏は 30 年水関係の仕事に従事している。イスラエルでは、ここ数年水不足が続くと同時に、地下水位も下がっているという。よい水の製造は緊急の課題であり、現在海水の淡水化プラントが 4 か所できている。最大のものは 200,000,000m³/年の製造能力がある。4 つのプロジェクト全体で 6 億トンの飲料水が手に入る。全イスラエルの必要飲料水は 9 億トンであるから、67%の飲料水製造能力となる。海水の淡水化での飲料水製造コストは 50 セント/m³である。これを家庭配布で 2・3 ドル/m³で売る。現在 2 か所増築中である。これにより 90%製造を目指している。海水の淡水化プラント建設会社は 3 社で行っている。飲料水は様々な生活利用の後、リサイクル利用され農業灌水に最後は用いられる。飲料製造された水の 80%は農業用に用いられている。このリサイクル率は世界最高水準であり、2 位のスペインで約 30%である。

都市の水道配管は老朽化していて、40%の漏水がある。各施設や家庭の水使用量と送水量の比較で漏水量を把握する。送水圧が強いために起こっている問題である。この送水圧を下げる装置を開発した。40%×30%⇒12%に漏水量カット（2006 年から実施している）水のロス是世界中で 14 ビリオンドル/年である。夜中に圧力は最大となる。日中も圧力は高くロスが発生している。朝以外の圧力は高い。地域ごとにある元バルブと減圧装置を製造販売している。減圧装置は必要とする圧力に変換できる装置である。装置は 1 日の圧力変動に合わせて圧力調節可能なものである。減圧装置は 5,000 家族/セットで、単価は 20,000 ドル/セットである。

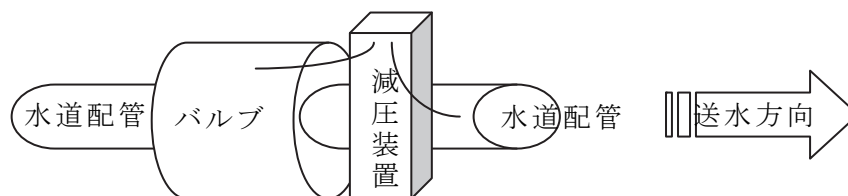


図 1-2 水道配管の減圧機構模式図

2. 都市緑化を支える灌水技術

市街地を歩くと植物が多く見られる。根元には必ず灌水ホースが設置されている。日本では地面に植えられた植物に灌水ホースを取り付けることは無いが、イスラエルでは人工地盤ではもちろんのこと、地面の植物でも灌水されている。

(1)降雨に対する備えのない都市

市内の道路には側溝がない。雨季は1月と2月に集中しそれ以外は雨が降らない。雨水は集めて利用する対象になっていない。雨は建蔽された道路表面を走り海に流れ込む。住宅に雨樋はあるが樋で受けた雨水は地表に垂れ流しである。

(2)植物を育てる仕組み

灌水チューブは多様であるが、すべての灌水ホース及び灌水チューブに独自開発されたドリーパーの構造が設置されている。灌水量がギリギリの設定のため、植物によっては生育状態が良好ではないものも見受けられる。プランターは街路灯

の脇のものも灌水されている。都市の中のあらゆる植物に灌水が施されている。灌水ホースのインフラが整備されていると想定する。大規模なホテルの集積するこの地区は、海（地中海）から200mも離れていない。微細な海砂が道路や街路に吹き溜まりを作る。雑草はほとんど見られない。海岸は空隙の多い岩と微細な砂で構成される。海水の地下水位が高いと推察できるが、岩盤で海岸が構成されるので、地下水位の影響を受けない植栽基盤構造であり大きな根の深い植物も健全に生育している。もちろん灌水はきちっと行われている。

緑化に使用される植物の種類は多くない。サボテン類、マツ等の針葉樹類、トベラ等の耐塩性広葉樹で構成されている。



写真 2-1 側溝の無い市街道路

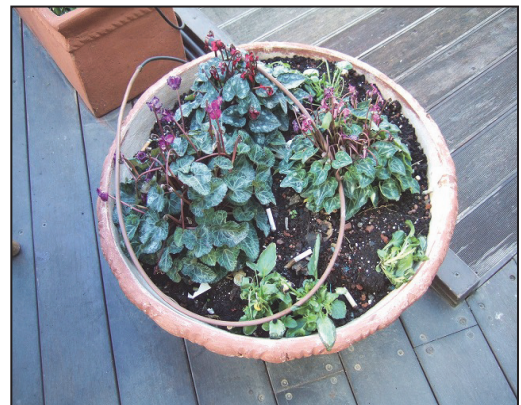


写真 2-2 側溝の無い市街道路



写真 2-3 ホテル外構の樹木

海岸部に立地するヒルトンホテルの外構は、広い面積を緑化してある。高木はマツが主体であり、灌木類はソテツやアロエ、トベラが目立つ。中庭にサボテン園が設けられていた。芝生の広場も多い。これらの植物の夏季晴天時の水要求量は約10L/日程度と推定するが、面積が数千 m² に及ぶ緑地への灌水量は1日当たり数十トンになる。水の不足する地域では灌水効率の向上は必須の課題となっている。



写真 3-1 GES 社訪問

3. GES 社の水処理技術

(1)企業概要

GES 社は AKKO の南に位置する、水質浄化を専門とする会社である。説明者 Elad Dinar 氏は日本のクラレ勤務経験者である。

GES 社は主に海水の淡水化技術の会社で、海水を飲料水・工業用水・国家プロジェクトの3本柱で行う。

従業員数は260人(イスラエル)

取り扱い量は50,000m³/年⇒80,000m³/年に拡大中。

(2)特色

製品はすべてカスタムメイドである。スタンダード品はない。企画から施工、メンテナンスに一貫して関与する。したがって運営・メンテナンスを一括して請け負う。メリットは現場で管理するので、現場の問題をすべて自社で解決することである。以下の3つの装置を販売する。

- ①海水の淡水化プラント
- ②工業用水処理プラント（全てカスタムメイド：ex ボイラー排水の処理）
- ③地表に現れる水の処理



写真 3-2 大規模な海水の淡水化プラント

（出典：GES Global Environmental Solutions Ltd. カタログ）

写真 2-2 のプラントはテルアビブの南 20km に位置する海水を淡水化するプラントである。1億5千万ドルの施設である。

海水の塩分濃度は場所により異なる。地中海は塩分濃度が高いが、日本の海に比べると塩分濃度は低い。このように塩分濃度が低い場合は活性炭で処理を行う方法をとる。

ヘルツェリアは人口 20 万人の都市であるが、市街から出た排水を処理し、農業用に用いている。処理で生じるスラッジは肥料にする。この処理は扱い始めて 1 年半になる。販売方法の一つにリース形式のものがある。処理プラントを設置・運営管理する費用を 10 年間で毎月回収する方法である。

中国のプロジェクトでは 30,000m³/日の処理を行い、20,000m³ の飲料水と肥料を回収している。

GES のサービスの特色は、クライアントにイスラエルで装置を組み立てて、コンテナで輸送する。現地では簡単に組み立てることができるので、短期間で運営を開始できる。小さなプラントなら、2 日間で組み立て即運営開始となる。一番重要なことはクライアントに要望をよく聞くことである。小規模は 1m³/時から大規模は 4,000m³/時のプラントがあるが、いずれもコンテナで現地に輸送し組み立てる方式である。

ビル等の大規模建築物への適用も全く問題なくできる。設置に大きなスペースは必要ない。クライアントの条件に全て応じることが可能である。トータルでソリューションを提供する。日本は市場が成熟しているため魅力的ではなく、マーケットは中国やインドである。

(3)プラントのコンテナ運搬に関する説明

写真 3-4 は 20m³/時から 80m³/時の処理装置を運ぶコンテナである。飲料水を製造する装置である。

写真 3-5 は、火力発電所用の飲料水製造プラントである。5~6 年に 1 回フィルターを交換する。海水と温水排水を飲料水として製造する。日本の海水は塩分濃度が低いのでフィルターの交換頻度はさらに低くなると考える。



写真 3-3 工業用水処理フィルタ



写真 3-4 海水の淡水化プラント



写真 3-5 海水の飲料水製造プラント

(出典：GES Global Environmental Solutions Ltd. カタログ)

4. ヤミット社の水質浄化システム

(1)ため池利用の広域灌漑システム

雨季の集中豪雨集水池流入水を農地灌漑に用いる施設を視察した。1,200m³/時の能力をもつフィルターシステムが 6 本ある。φ 48 インチで水圧式のフィルターである。灌漑用の装置が詰まることのないように 200 ミクロンのフィルターで固形物を除去する。この水は住宅地にも配られ、庭木にいつでも灌水可能である。(米国ネバダ州では、庭の植物への灌水は 3 回/週までと規制されている)ため池は河川の水も引き込んでいるため、一年中水がなくなることは無いという。制御室での全自動管理を行っている。フィルターで取り除かれた固形物はため池に再投入されて処理する。



写真 4-1 雨水貯留池



写真 4-2 貯留雨水の揚水施設

(2)全世界からの注文に応じる生産

水質浄化システムは、飲料水仕様、産業対応仕様、農業仕様の 3 種類がある。ヤミット社は 1985 年に創立して現在に至る。世界 40 ヶ国に対応している。社員は 200 人、(技術開発 10 人、営業 35 人、管理 30 人他)で構成される。製品の 95% は輸出である。国内で製品を製造して輸出する。処理層の最大のものは直径 3m、高さ 3m もある。



写真 4-3 ろ過システム

(3)下水処理施設

市全域の下水を一括で処理し、農用灌漑に用いる。はじめに生物処理を行い、第 1 のフィルターで TSS、BOD を小さくする。BOD は 23 以下にする。このとき塩素を投入し殺菌を行う。次に砂ろ過タンクで時間をかけた高度処理を行う。高さ 3m、直径 3m のタンクの処理能力は 65m³/時である。この処理で TSS を 10、BOD を 10 にまで落とす。これを紫外線殺菌して灌漑用に供給する。農業用水としての水使用量は僅少である。これが 12 台あり、時間当たり 500 トンの処理能力を示す。タンクの清掃は逆洗浄 (30 分/台) 程度である。濾過槽に使用する砂の交換は 4 年に一度で済むという。特許の部位もあるが、性能を確保する部分や運営維持管理ノウハウが目標性能を確保する決め手であることから、製品の注文を受けてからの生産及び納入、そして運営維持管理を一括して請け負う体制で実施する。利用者のリピーターが多いことでこの方法を貫いている。会社ははじめから世界を市場に戦略的に活動している。中国は大型発注を受け納入が進んでいる。オーストラリアでは灌水大手のトロ社に納入している。

(4)考察

灌漑に用いる水量は大変多い。この水を確保することが食料自給率確保の重要な要因となる。そのためには人間にとって最も大事な飲み水を確保した後に、手洗い、調理、洗濯等の利用水をどのように再利用する仕組みを確保するかが重要となる。下水道使用量は上水使用量同等と考えられるので下水道の水を再利用することでリサイクル率は 100%に限りなく近づく。イスラエルのように雨が少なく、雨季にのみ集中する降雨を活用する考えは得策ではない。1年のうち約1ヶ月に集中する雨水は年間を通じての貯留活用は困難である。恒常的に手に入る河川水や地下水を生活に活用して、その定時定量の余剰排棄水を灌漑用に再利用する方策が賢明である。イスラエルでは1年を通して栽培可能な気候が手に入る。植物はほとんど常緑樹が植栽されている。

このような水利用に対する考え方からすれば、一般の施設に付帯する緑地や公園等の公共の緑地に再利用水を用いるのは当然の発想となる。まさに風土が生み出した自然な水利用方策といえる。

日本の風土はどうか。高温多湿の温帯気候で雨は年間を通して多い。植物は地面にある限り水分不足で枯死するという事は無い。近年夏季の高温無降雨状態が地面との連続性のない人工地盤や屋上の緑化植物を枯死に至らしめる事象が出ている。このため、都市部の緑化においては灌水が不可欠の認識となったが、水道水利用に抵抗を示す建築主は多い。雨の多い国なのにおかしいではないかという素朴だが正しい認識の結果である。水道水を用いれば利用料金は下水道使用料と共に請求される。水道料金の請求金額にある数字を見て驚くのである。少なくとも植物に与える水に多額の金額を支払うことは変だと考えるのである。

イスラエルの水道料金は高く、自宅で毎日風呂に入ればすぐに月当たり数万円の水道料金を請求されるという。必然的に水道水の利用量は減少する。日本では毎日入浴しても、一家族当たりの水道使用料金は数千円程度で済むのである。水利用に関わる認識の相違はこの現実的な金銭感覚が規定するものと考えてよいだろう。雨の多い日本で高額な水道料金設定は住民感情の納得は得られまい。生活必需品であるが豊富にあるとの認識と現実に渇水の危機を感じることは驚くほどわずかである。ならばその日本人に自然に受け入れられる感覚での水利用方法はどういうものであるのか。豊富な雨水の再利用方法の提案であり、また豊富な井水の利用方法の提案である。緑化施設を雨水の再利用機能装置と位置付けた提案も可能である。緑地に必要な通年の灌水量とその変動量の把握および緑地排水量の水質の把握により、再利用基準の目標が設定可能となる。イスラエルでの灌漑使用水量の把握と供給減水量の割合把握は、日本での適用に参考になることであろう。



写真 4-4 砂ろ過を説明するヤローン氏



写真 4-5 最終濾過装置



写真 4-6 ヤミット本社訪問



写真 4-7 フィルター製造工場(パレスチナ地区)



写真 4-8 逆洗浄自動化フィルタ



写真 4-9 ネタフィム仕様(OEM)

5. イスラエルの灌漑技術

(1)灌漑技術の概要

イスラエルの国土面積は 22,000km²である。農地は 440,000ha（日本は 5,700,000ha）あり、灌漑が必要な農地は 182,000ha ある。北部は雨が多いが、南部はほとんど降らない。農地には孤立した土地や砂漠を活用して用いる。また、耕作不適地の活用も行う。北部に降った雨をいかにして南部に運ぶかが課題である。降雨量は年変動が大きいので、この変動する降雨量を如何にコンスタントに活用するかも大きな課題である。雨季は冬季の 3 ヶ月間のみである。標高は死海のマイナス 400m から 400m の間で多種類の果実を育てている。人口は北部に集中し、農業は南部で行って輸出をしている。水源はガラリア湖、地下水、海水、排水再利用水である。排水再利用水は 15%になる。世界的には人口は 100 年前に比べ 4 倍に増え、水の需要は 9 倍になっている。

世界の水需要の 70%は農業に用いられている。イスラエルでは農業に用いる水は 47%である。これは水の保存方法と利用方法を熟知しているためである。水の価格は 3 ドル/m³である。点滴灌水方式の開発で水使用量は劇的に減少した。農業革命をもたらしたと言える。施肥方法も同時に開発され、より高い収穫量と少ない病気の害を手に入れた。同時に効率の高い（少ない就業人口での農業）農業を達成している。灌漑用水は 70%が処理水を利用している。水質は政府の検査・管理下にある。降雨では全てを賄いきれないので、現在、薬剤散布で人工降雨を発生し 15%程度雨を増加させた。温室で全てを制御するシステ

ムで収穫を一定化し、増量がはかれた。ネットで虫害も防除できる。

主要作物：トマト、ピーマン、ミニトマト、キュウリ、ナス、青菜

北部での果実栽培の収穫はチェリー、ネクタリン、アンズ、洋ナシ、リンゴ、ザクロ

低地ではアボカド、マンゴー

砂漠地帯ではナツメヤシ等

農業の効率化の改善の度合いは、10年前は1人で15人分の生産効率であったが、現在は150人分の効率化を達成している。より少ない人手でより高い収穫を実現している。

南部の大きな農地では効率が良い。イスラエルでは農業従事者が圧倒的に多い。

(2)研究開発の実態紹介

産業界と農家と強い関係を築いている。産業界で得られた化学肥料、農業資材等を農家に適用し実績を上げる。つまり産業界の知識を R&D に渡し、テストし、よければ農業に適用する。厳しい環境条件はそれをメリットに変える方法を考える。例えば、テルアビブでは冬でも晴れたら暖かく耕作可能である。栽培された作物は、端境期のヨーロッパに輸出され外貨を稼いである。ロシアは冬-40℃で夏 40℃を超える。このような場所は温室による環境コントロールで栽培可能になる。ここでも従来不可能であった野菜作りが効率的に行うことができている。3年前にドバイに温室を作り栽培を行った。日中の気温は 40℃を超え、地下水も 40℃になり栽培にとって厳しい環境である。ドバイにあつてはヨーロッパからの作物は大変高価であるため、地元で作る安価な生産はメリットとなる。



写真 5-1 植物工場サラダ菜栽培



写真 5-2 水冷式の冷氣送風壁

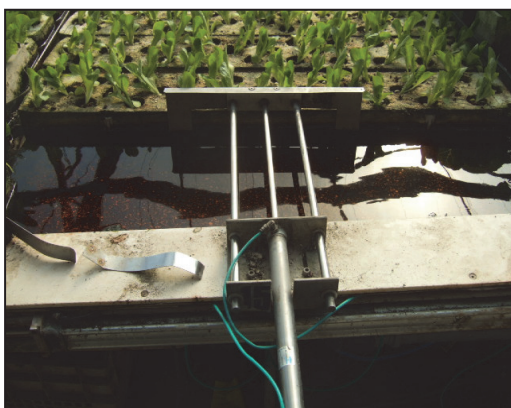


写真 5-3 栽培床の移動自動化装置



写真 5-4 栽培用液の管理システム

6. R&D センター

砂漠地帯での農業を可能にした主な技術は、極端な節水が可能なドリップ装置が開発できたためである。栽培作物が必要とする灌水量を時間をかけて植物が使用する分だけ灌水補給する。下水処理された中水を灌漑に用いるため、ドリップの目詰まりは即植物の枯死につながる。先述した灌水ホースの開発が砂漠での農業を可能にしたのである。

(1) 砂漠の実験農業

ネゲブの砂漠地帯は誰もいない土地であった。40 年前 Yoel De Malach 氏がトマトの生産に挑戦したことが緑地化の始まりとなった。現在 1,000 家族が住む。キブツと個人農家の集まりが集落を形成している。標高は 500m である。夏季は 40℃になり酷暑であるが、冬季は 0℃で耕作はできる。砂漠のため湿度は低い。地下水は塩分濃度が高く、EC4 である。トマトは高い塩分濃度に耐える植物で、EC2 でも収穫量は落ちない。これ以上高くなると急激に収穫量は落ちる。灌漑用の水はテルアビブよりリサイクル水が 150km 送水され、その EC は 0.3 である。二つの水をミックスすることで EC2 を実現してトマト栽培を行っている。オリーブは EC4 でも栽培可能であるので、地下水をそのまま栽培に利用している。オリーブの苗は定植して 4 年後には収穫が可能になる。砂漠の砂には、水と肥料分がゼロである。この砂に水と肥料を 20%加えることで、オリーブオイルの収穫量を 60%増量した。トマトは 1,000m² 当たり 20 トンの生産量がある。一年中栽培は可能である。

温室はネットフィルムの側面とナイロン屋根で構成される。これにより露地栽培に比べて 50%エヴァポレーションを削減できる。冬季のヨーロッパはトマトの需要が高くよく売れる。ここでは冬季に見事なトマトの収穫が可能なのである。(説明者 Uri Yirmiyahu 氏) 最近ポテトの栽培も始まった。ポテト栽培のメリットは、栽培時期がずれるので出荷に競争相手がいない。また、砂質土壌で良質のポテトが収穫できることである。

(2) R&D センター

ネゲブ砂漠で行う砂漠農業の発展は地域の利点を活かす農業が必須である。地下水の塩類濃度が高くこの水が使用可能な植物の栽培が重要になる。以下は R&D センターでの実施内容である。

- ① 野菜や輸出用の新鮮なハーブ
- ② オリーブ、オリーブオイル、ワイン生産、ザクロ、ホホバ
- ③ 塩生植物
- ④ 装飾用の花
- ⑤ 農業のための先端技術開発
- ⑥ 汽水域で生育する魚の繁殖技術の開発
- ⑥ 新しい野菜と花の製品の開発
- ⑦ 地域の農家に蓄積された知識の移転
- ⑧ 外国人留学生のための先進的な農業の職業訓練



写真 6-1 ブドウの栽培試験



写真 6-2 果実の生育状況



写真 6-3 イチゴ栽培状況



写真 6-4 イチゴの栽培ベッド



写真 6-5 広大なネゲブ砂漠



写真 6-6 オリーブの生育実験



写真 6-7 試験区への灌水の状況



写真 6-8 トマトの生育実験装置

7. 砂漠の漁業

(1) アッセンシーバスの養魚場

ここでも、水のリサイクル技術が活躍する。養魚場は魚の排せつ物で水質が悪化しやすい。栄養塩類の豊富な排水濾過が必要なため、メディアを用いたバイオリアクターが稼働している。また、養魚池に溜める水は地下水を用いている。地下水は塩分濃度が高いものだが、海水魚(アッセンシーバス)の養殖でその難点を克服した。地温が一定であることがメリットになる。直径 4m、深さ 3m の水槽に魚の密度で $200\text{kg}/\text{m}^3$ の魚が泳ぐ。ちなみに、日本の養魚場では魚の最大の密度で $75\text{kg}/\text{m}^3$ であるという。いかに高密度の飼育率であるかがわかる。稚魚から 8 ヶ月で出荷の大きさになる。養魚施設の主な特徴は 3 つある。

- ① 水温が一定の 28°C
- ② 特許のバイオフィルター（メディアを用いたバイオリアクター）
- ③ 特許の酸素供給装置

水は 1 時間半で全部が入れ替わる。一日 10 回の循環になる。水を追加することはほとんどない。現在コイの養魚も行っている。会社はポーランドで一番大きくなった。天井の緑色のフィルムは単に安価であるとの理由であり、意味は他にない。



写真 7-1 砂漠の漁業施設



写真 7-2 シーバスの養魚槽



写真 7-3 地下水の汲み上げ装置



写真 7-4 魚を一度に捕獲する仕組み

書 名 平成24年度 エネルギー自立型排水浄化再利用システム
の調査研究報告書

発 行 平成 25 年 3 月

一般財団法人 エンジニアリング協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目 18 番 19 号
虎ノ門マリンビル 10 階

TEL 03 (5405) 7201 (代表) FAX 03 (5405) 8201

印 刷 株式会社 三造ビジネスクリエイティブ