

沖縄県における
都市下水道処理水の畑地灌漑利用マニュアル

平成29年3月

沖縄県 農林水産部 南部農林土木事務所

マニュアルの目次

| | ページ |
|---|-----|
| はじめに..... | 1 |
| 第1編 沖縄県における下水処理水の畑地灌漑利用のマニュアルの基本事項..... | 3 |
| 1-1. 沖縄県における下水処理水の畑地灌漑利用の背景とマニュアルの構成..... | 5 |
| (1)背景..... | 5 |
| (2)マニュアル構成..... | 7 |
| 1-2. マニュアルの目的..... | 8 |
| 1-3. マニュアルの対象..... | 11 |
| 1-4. 下水処理水の畑地灌漑利用計画にあたっての検討事項..... | 12 |
| (1)基本的な検討事項..... | 12 |
| (2)下水処理水の水量..... | 13 |
| (3)下水処理水の水質..... | 15 |
| (4)沖縄県で栽培されている農作物とほ場条件..... | 17 |
| (5)沖縄県の気象条件..... | 18 |
| (6)沖縄県の土壌..... | 20 |
| 1-5. 畑地灌漑利用する下水処理水の水質の注意点..... | 22 |
| (1)下水処理水の水質で注意すべき内容..... | 22 |
| (2)「人の健康」に関連する病原微生物..... | 23 |
| (3)栄養塩類..... | 25 |
| (4)塩分..... | 28 |
| (5)ナトリウム..... | 30 |
| (6)特定イオンの毒性..... | 32 |
| (7)pH..... | 34 |
| (8)浮遊物質(SS)..... | 36 |
| (9)「農業」と「環境」に関連する水質項目のまとめ..... | 37 |
| (10)「農業」に関連する微量元素..... | 38 |
| 1-6. 農作物と灌漑手法に応じた下水処理水の水質の考え方..... | 42 |
| (1)ISOガイドラインでのバリア点数..... | 42 |
| (2)ISOガイドラインでの下水処理水の水質区分..... | 43 |
| (3)ISOガイドラインでのバリアの種類..... | 46 |
| 1-7. 下水処理水を利用する畑地灌漑施設の留意事項..... | 47 |
| (1)畑地灌漑施設の構成と留意点..... | 47 |
| (2)貯留施設..... | 50 |
| (3)ポンプ施設および用水路..... | 52 |
| (4)末端灌漑施設..... | 53 |
| (5)下水処理水を利用する畑地灌漑施設の色と目印..... | 56 |
| 1-8. モニタリング..... | 57 |
| 1-9. 下水処理水の畑地灌漑利用計画の流れ..... | 58 |
| (1)計画フロー..... | 58 |
| (2)下水処理水をサトウキビの灌漑に利用する場合..... | 59 |

| | |
|--------------------------------------|-----|
| 第2編 モデル対象地域における下水処理水の生食用作物への畑地灌漑利用計画 | 61 |
| 2-1. 下水処理水の生食用作物への畑地灌漑利用で検討すべき事項 | 63 |
| (1)モデル対象地域の選定理由 | 63 |
| (2)モデル対象地域の畑地灌漑条件 | 64 |
| (3)モデル対象地域での検討課題 | 67 |
| 2-2. 下水処理方法の検討と選定 | 71 |
| (1)ISOガイドラインのバリア | 71 |
| (2)ISOガイドラインのカテゴリ | 71 |
| (3)CREST研究のリスク評価 | 71 |
| (4)再生水処理施設の選定 | 74 |
| 2-3. 選定した再生水処理施設(再生水)の水質 | 78 |
| (1)「人の健康」に関連する水質項目 | 78 |
| (2)「農業」と「環境」に関連する水質項目 | 79 |
| 2-4. 再生水の生食用作物への畑地灌漑利用管理マニュアル | 81 |
| (1)再生水の畑地灌漑利用で懸念される問題 | 81 |
| (2)再生水畑地灌漑利用における管理マニュアル作成の目的 | 81 |
| (3)再生水畑地灌漑利用のリスク管理対象 | 82 |
| 2-5. 再生水処理施設の運転管理水質基準 | 85 |
| (1)運転管理水質基準の項目 | 85 |
| (2)運転管理水質基準の設定根拠 | 86 |
| (3)運転管理水質基準の管理場所 | 87 |
| (4)運転管理水質基準の管理者 | 87 |
| (5)ウイルス除去率の確認 | 87 |
| 2-6. 再生水畑地灌漑利用の管理組織 | 88 |
| (1)管理施設と組織構成 | 88 |
| (2)管理組織の連絡体制 | 89 |
| 2-7. リスク管理マニュアルの構成 | 92 |
| 2-8. 平時のリスク管理 | 93 |
| (1)再生水処理施設の管理内容 | 93 |
| (2)再生水利用畑地灌漑施設の管理内容 | 98 |
| (3)再生水利用農業者への灌漑方法などの指導内容 | 101 |
| (4)消費者などへのリスクコミュニケーション | 103 |
| 2-9. 緊急時のクライシス(危機)管理 | 107 |
| (1)危機の重要度の決定 | 107 |
| (2)危機の重要度を決定するためのフローチャートと組織体制 | 109 |
| (3)批判的な危機への対応 | 113 |
| (4)初期の対応手順 | 114 |
| (5)クライシスコミュニケーション(危機レベル3&4) | 115 |
| (6)危機シナリオ | 118 |
| 参考資料 | 119 |
| 参考文献 | 125 |

はじめに

沖縄県は、亜熱帯海洋性の温暖な気候条件で農業生産に適しているが、年降雨量が約2,000mmと多雨地域であるにもかかわらず、島嶼地域であるので河川流域が狭小で、降水の約60%が梅雨と台風時に集中するため、干ばつが多く発生する。

このような気象条件や地質・地形条件により、安定した水源確保として、畑地帯集水利用や地下ダムなど、沖縄県独自に発展した水源開発技術により、農業生産基盤整備が全県で展開されてきた。

しかしながら、このような地下ダムなどによる大規模な水源開発が、困難な沖縄本島中南部地域や離島地域では、新たな対応策や技術開発が望まれている。とりわけ、沖縄本島中南部地域では、水源整備率が約4割で、灌漑施設整備率が約2割と、他地域に比べて低く、依然として不安定な農業生産を余儀なくされている。

モデル対象地域が位置する糸満市は、県都那覇市の近郊に位置し、地下ダムによる安定した農業用水により、都市や流通拠点(空港・港湾)に近い立地条件を活かして、野菜や果樹と花卉などが導入されている農業振興地域である。

しかし、モデル対象地域である「糸満市北部地区」においては、安定した農業用水の水源が確保できず、計画的な農業生産活動が困難であり、農業経営に地域格差が生じており、具体的で早急な再生水利用等による対応が求められている。

そこで、農業用水の安定確保が困難な「糸満市北部地区」をモデル対象地域とし、新たな水源確保手法の一つとして、沖縄本島で一日に約30万 m^3 が海へ放流されている下水処理水を再利用する「沖縄型水資源循環型システム導入可能性」の検討が、平成25年度から平成28年度まで実施されてきた。

並行して、京都大学が中心となって、(独)科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事業(以降「CREST研究」という)で、「那覇浄化センター」において水再生技術の研究・開発を平成20年度より進めており、平成26年度からは、「糸満市浄化センター」に実験プラントが移設され、その研究・開発が継続されている。

さらに、平成27年度からは、国土交通省の下水道革新的技術実証事業(以降「B-DASHプロジェクト」という)により、「糸満市浄化センター」に1,000 m^3 /日規模の実証プラントが建設され、糸満市や京都大学等の共同研究体による本格的な実証試験が開始されている。

一方、平成21年7月より、国際標準化機構(以降「ISO(International Organization for Standardization)」という。)において、下水処理水の灌漑利用に向けた専門委員会が設置され、「下水処理水の灌漑利用プロジェクトに関するガイドライン」(以降「ISO ガイドライン」という)の策定に向けた検討が進められ、平成27～28年に4部構成となるISO ガイドラインが、国際規格として発行された。

本マニュアルは、沖縄県における畑地灌漑へ下水道法上の下水道(以降「都市下水道」という)の処理水を再利用する計画を行う場合に、検討すべき内容を、ISOガイドラインを参考に整理したものである。

特に、生食用野菜などの畑地灌漑において検討すべき内容は、モデル対象地域におけるCREST研究とB-DASHプロジェクトの成果を参考に、本マニュアルで整理した。

本マニュアルが、沖縄県における下水処理水の畑地灌漑利用の普及に役立ち、下水処理水の循環利用の一環として、畑地灌漑の計画や下水道に関わる関係各位が、積極的に活用されることを期待する。

最後に、このマニュアルの作成にあたり、ご指導を頂きました「再生水利用検討委員会」の委員各位に厚く御礼申し上げます。

平成29年3月

表1 再生水利用検討委員会

| 委員 | 氏名 | 役職 | 所属 | 備考 |
|-----|-------|-------|-----------------------------------|---|
| 常任 | 田中 宏明 | 教授 | 京都大学 大学院工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター | 工学:再生水の処理・リスクアセス (平成25年度～平成28年度) |
| | 治多 伸介 | 教授 | 愛媛大学 農学部 地域環境整備学研究室 | 農学:再生水による灌漑 (平成25年度～平成28年度) |
| | 濱田 康治 | 主任研究員 | 農村工学研究所 水利工学研究領域 水環境担当 | 工学:再生水の国際規格 (平成25年度～平成28年度) |
| | 佐藤 進 | 技術監 | 一般社団法人 地域環境資源センター | 農学:農業集落排水事業担当 (平成25年度～平成28年度) |
| | 比嘉 明美 | 班長 | 沖縄県 農業研究センター 土壌環境班 | 農学:再生水による栽培試験 (平成25年度～平成28年度) |
| | 金城 靖 | 部長 | 糸満市 経済観光部 | 行政:糸満市関係部代表 (平成26年度) |
| | 上原 司 | 部長 | 糸満市 経済観光部 | 行政:糸満市関係部代表 (平成27年度～平成28年度) |
| | 新城 治 | 課長 | 沖縄県 農林水産部 村づくり計画課 | 行政:事業計画担当課長 (平成25年度) |
| | 仲村 剛 | 課長 | 沖縄県 農林水産部 村づくり計画課 | 行政:事業計画担当課長 (平成26年度～平成27年度) |
| | 大村 学 | 課長 | 沖縄県 農林水産部 村づくり計画課 | 行政:事業計画担当課長 (平成28年度) |
| 非常任 | 仲地 宗俊 | 名誉教授 | 琉球大学 農学部 | 検討部会代表:リスクコミュニケーション 検討部会と環境効果検討部会 (平成26年度～平成27年度) |

第1編

沖縄県における下水処理水の畑地灌漑利用のマニュアルの基本事項

1-1. 沖縄県における下水処理水の畑地灌漑利用の背景とマニュアルの構成

沖縄本島中南部地域や離島地域では、地下ダムなどによる大規模な水源開発が困難な地域があり、下水処理水利用等の新たな対応策や技術開発が望まれている。
 本マニュアルは、ISOガイドラインおよびCREST研究とB-DASHプロジェクトの成果を参考に整理して、沖縄県における畑地灌漑に都市下水道の処理水を再利用する場合に、必要な内容を取りまとめたものである。

【解説】

(1)背景

沖縄県は、亜熱帯海洋性の温暖な気候条件で農業生産に適しているが、年降雨量が約2,000mmと多雨地域であるにもかかわらず、島嶼地域であるので河川流域が狭小で、降水の約60%が梅雨と台風時に集中するため、干ばつが多く発生する。

このような気象条件や地質・地形条件により、安定した水源確保として、畑地帯集水利用や地下ダムなど、沖縄県独自に発展した水源開発技術により、農業生産基盤整備が全県で展開されてきた。

地下ダムなどによる大規模な水源開発が、困難な沖縄本島中南部地域や離島地域では、新たな対応策や技術開発が望まれている。

とりわけ、沖縄本島中南部地域では、約7千haの農地を有し(図1-1-1)、その農業生産額は他地域に比べても高い。ところが、本地域は、水源整備率が約4割で、灌漑施設整備率が約2割と、他地域に比べて低く、依然として不安定な農業生産を余儀なくされている(図1-1-2)。

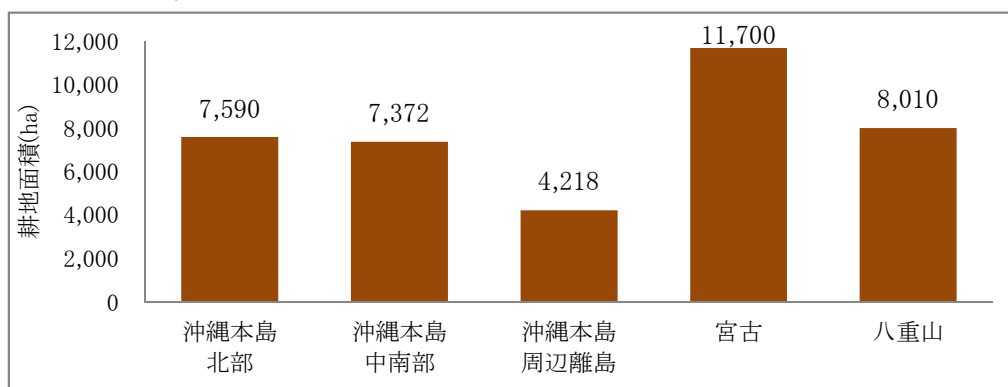


図1-1-1 沖縄県の耕地面積(平成24年度)

出典:[1] 沖縄県の耕地面積(平成24年度)

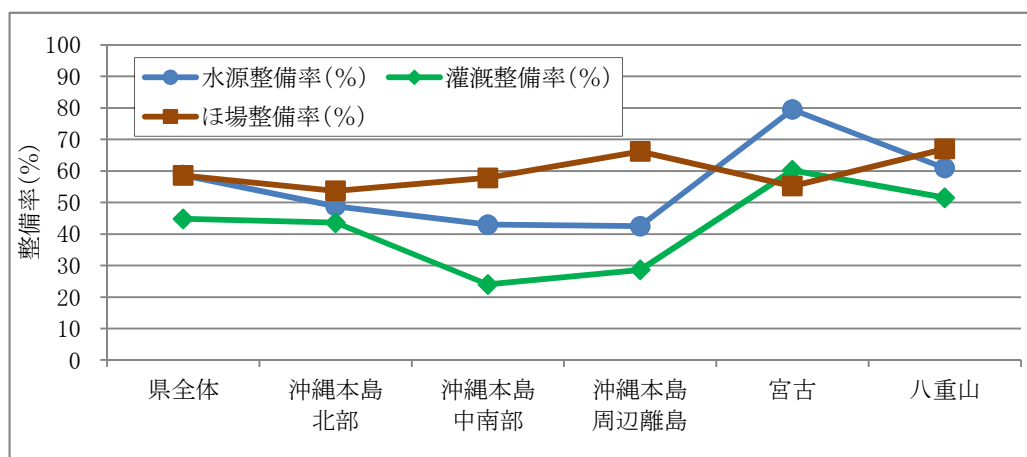


図1-1-2 沖縄県の農業基盤整備状況(平成24年度)

出典:[2] 沖縄県の農業基盤整備状況(平成24年度)

モデル対象地域が位置する糸満市は、県都那覇市の近郊に位置し、地下ダムによる安定した農業用水により、都市や流通拠点(空港・港湾)に近い立地条件を活かして、野菜や果樹と花卉などが導入されている農業振興地域である。

しかし、モデル対象地域である「糸満市北部地区」(現況受益面積約340ha)においては、安定した農業用水の水源が確保できず、計画的な農業生産活動が困難であり、農業経営に地域格差が生じている。本地域では、具体的で早急な再生水利用等の対応が求められている。なお、本モデル対象地域は、「那覇浄化センター」の処理水を水源とした「島尻地区」[3]の計画に含まれた経緯もあり、再生水農業利用に対する地元の理解と要望は高い。

平成24年度に策定された「沖縄21世紀ビジョン基本計画」[4]では、持続可能な循環型社会の構築を図る施策展開として、下水汚泥と消化ガスの他に、再生水の利用も位置づけられている。

「新ゆがふむらづくり 沖縄21世紀ビジョンに係る農業農村整備の方向性について」[5]では、南部圏域における畑地灌漑の取組方針として、水源確保が厳しい地域が多いため、再生水利用も視野に入れて地域毎に検討するとしている。

また、「沖縄污水再生ちゅら水プラン2016(沖縄県下水道等整備構想)」[6]では、資源の有効利用として、糸満市におけるB-DASHプロジェクトが平成27年度に選定され、今後は農業利用も含めて、処理水の再利用について検討していく必要性が謳われている。

それにくわえて、平成28年3月に環境省自然環境局自然環境計画課が発行した「サンゴ礁生態系保全行動計画2016-2020」[7]には、再生水の農業用水への利用が、サンゴ礁島嶼の環境保全に資することを紹介している。

CREST研究の実験プラントは、平成26年度に「糸満市浄化センター」に移設され、現在は京都大学が中心となって、研究と調査が継続されている[8]。

さらに、平成27年度からは、B-DASHプロジェクトにより、「糸満市浄化センター」に1,000m³/日規模の実証プラントが建設され、糸満市や京都大学等の共同研究体による本格的な実証試験が開始されている[9][10]。

一方、4部構成からなるISO ガイドラインが、国際規格として、平成27～28年に発行された。ISOガイドラインは、第1部「灌漑への再利用のための基礎」[11]、第2部「プロジェクトの開発」[12]、第3部「灌漑への再利用プロジェクトの構成要素」[13]、第4部「モニタリング」[14]からなっている(表1-1-1)。

ただし、ISOガイドラインは強制力を持たない指針であり、ガイドラインの内容を満たすことで、下水処理水の灌漑利用に関して、何らかの認証に繋がることを意図したものではない。

下水処理水を灌漑利用する場合には、計画的に全体を構築・監視・管理する必要性が高いため、ISOガイドラインは、下水処理水を灌漑利用するプロジェクトを対象としている。それに、ISOガイドラインでの下水処理水の利用方法は、農業利用だけでなく、公園やゴルフコース等を含む公共および民間の庭園、さらには私有の庭園の灌漑まで含めたものとなっている。

表1-1-1 ISOガイドラインの内容

| | | |
|-----|--------------------|--|
| 第1部 | 灌漑への再利用のための基礎 | 下水処理水を利用する灌漑プロジェクトの開発や実施に関する基礎的な内容 |
| 第2部 | プロジェクトの開発 | 下水処理水を利用する灌漑プロジェクトにおける農作物や農業者など、公衆衛生に対するリスク回避に関する計画の判断基準 |
| 第3部 | 灌漑への再利用プロジェクトの構成要素 | 下水処理水を灌漑システムで利用するに当たって必要とされるシステムの構成要素 |
| 第4部 | モニタリング | 下水処理水を灌漑水として利用するプロジェクトのモニタリング |

出典:[11]～[13]ISO 16075-1～3(2015), [14]ISO 16075-4(2016)

参考:[15], [16]再生水の灌漑利用に関するISOガイドライン(1), (2)(2015)

(2)マニュアル構成

本マニュアルは、次に示す二編より構成している。

第1編は、「沖縄県において都市下水道の処理水を畑地灌漑に再利用を計画する際に検討すべき基本的な内容」を、ISOガイドラインを参考にとりまとめている。

第2編は、「生食用作物の畑地灌漑に都市下水道の処理水を再利用する計画の際に考慮すべき内容」を、モデル対象地域におけるCREST研究とB-DASHプロジェクトの成果を参考にとりまとめている。

ただし、本マニュアルの第1編の「沖縄県において都市下水道の処理水を畑地灌漑に再利用を計画する際に検討すべき基本的な内容」について、ISOガイドラインの内容を活用するにあたっては、ISOガイドラインと沖縄県で異なる点にも留意し、より安全な形で下水処理水を畑地灌漑利用する内容としている。

本マニュアルでは、下水処理水(二次処理水あるいは放流水)を、利用用途に応じて再処理(ろ過や消毒など)したものを「再生水」という。

なお、ISOガイドラインの発行に伴い、農林水産省は、一般社団法人地域環境資源センターに委託して、ISOガイドラインの内容を参考にしながら、我が国の状況を踏まえつつ、「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案)」[17]のとりまとめを今年度行っている。

よって、農業集落排水施設の処理水を灌漑利用を計画する場合には、この手引き(案)を参考とすべきである。

1-2. マニュアルの目的

本マニュアルは、沖縄県における畑地灌漑に都市下水道の下水処理水を再利用する計画策定を目的とし、必要な考え方や対応方法および留意事項を、以下の並びでとりまとめたものである。

第1編の基本的な内容のとりまとめにあたっては、ISOガイドラインを参考としている。

- マニュアルの対象
- 下水処理水を畑地灌漑利用計画にあつたての検討事項
- 畑地灌漑利用する下水処理水の水質の注意点
- 農作物と灌漑手法に応じた下水処理水の水質の考え方
- 下水処理水を利用する畑地灌漑施設の留意事項
- モニタリング

【解説】

「ちゅら島、ちゅら海」の実現によって観光立県を目指す沖縄県にとって、快適な生活環境の維持・向上と公共用水域の水質保全を図る污水处理施設の整備は、都市部や農山漁村部を問わず、今後も県全域において重要である。

ゆえに、「沖縄21世紀ビジョン基本計画」[4]の「自然環境の保全・再生・適正利用」などの基本施策に基づいて、計画的に汚水(下水)処理施設の整備を進めている。

沖縄県では、下水道法に基づく都市下水道と、農業集落排水施設等の下水道法以外のものがあり(表1-2-1)、本マニュアルの下水処理水とは、都市下水道の処理水を対象とする。

表1-2-1 下水処理施設の種類

| 区分 | 種類 | 所管 | 概要 |
|--------------------------|--------------------|----------------|--|
| 下水道法上の 下水道 (都市下水道) | 流域下水道 | 国土交通省 | 2以上の市町村の下水を排除し処理する下水道であり、県が管理を行うものをいう。 |
| | 公共下水道 (単独、流域関連) | 国土交通省 | 主として市街地における下水を排除し処理する下水道で、終末処理場を有するものを単独公共下水道、流域下水道に接続するものを流域関連公共下水道という。 |
| | 特定環境保全 公共下水道 | 国土交通省 | 市街化区域以外の区域において設置される下水道で、自然保護地域の水質保全や農山漁村の生活環境の改善等を図ることを目的とするものである。 |
| 下水道法以外 のもの | 農業集落排水施設 | 農林水産省 農村振興局 | 農業用水の水質保全や、農村生活環境の改善を図るため、農業振興地域内の農業集落におけるし尿、生活雑排水等の汚水を処理する施設である。 |
| | 漁業集落排水施設 | 農林水産省 水産庁 | 漁業集落環境の向上、漁港及び周辺海域の水質保全に寄与するため、指定漁港背後の漁業集落におけるし尿、生活雑排水等の汚水を処理する施設である。 |

なお、農業集落排水施設の処理水を灌漑利用する場合には、ISOガイドラインの内容を参考にして、今年度とりまとめられている「農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案)」[17]を参考とすべきである。

下水処理水は、季節や気象に影響されことなく水量が安定している上、病原微生物や重金属類等の有害物質のリスク(人の健康・農業・環境)が小さい水質である場合には、沖縄県における畑地灌漑用水として、利用可能な水源としての条件を備えている。

沖縄本島中南部では、一日に約30万m³/日の下水処理水が海へ放流されており、再生水として再利用している量は、約1,500m³/日と1%以下である(表1-2-2)。

表1-2-2 沖縄本島中南部の都市下水道の処理水量

| 処理場名 | 年間日平均流入下水量 (m ³ /日) | 再生水量 (m ³ /日) | 再利用用途 |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|
| 那覇浄化センター※1 | 135,990 | 1,181 | トイレ用水、街路樹散水 |
| 宜野湾浄化センター※1 | 96,810 | — | |
| 具志川浄化センター※1 | 24,520 | — | |
| 西原浄化センター※1 | 8,000 | — | |
| 糸満市浄化センター※2 | 10,998 | 300 | せせらぎ水路 |
| 計 | 276,318 | 1,481 | |

※1出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典:[19]糸満市浄化センター処理月報(平成24年度)

ISOガイドラインは、下水処理水を灌漑利用するプロジェクトを対象としたものである。

ガイドラインは、都市下水道を含む広範囲な下水処理水を使って、希釈することなく、直接灌漑利用する事業が中心となっており、地域特性や気候を考慮した上で、活用する内容となっている。

したがって、そのままの内容で沖縄県に適用するには不適切な内容を含んでいるので、本マニュアルではこの点も注意して、沖縄県に適用できうる内容に修正してある。

本マニュアルは、沖縄県における都市下水道処理水を畑地灌漑に利用する計画策定を目的として、ISOガイドラインの内容を参考にしながら、「人の健康」や「農業」および「環境」に配慮しつつ、下水処理水を直接あるいは再処理して、畑地の灌漑利用に対応できる形でとりまとめている。

ただし、本マニュアルでは、可能な範囲で具体的な内容を盛り込んでいるが、実際の畑地灌漑利用の計画にあたっては、地域特性や営農状況などの各種条件を踏まえつつ、詳細な検討を行う必要がある。

ちなみに、農業農村整備事業で都市下水道の下水処理水を水源とした場合、用途は農業に限定される可能性がある。そのため、散水用水やトイレ用水など多様な用途に利用する場合には、下水道事業とのアロケーションなども検討する必要がある。

1-3. マニュアルの対象

本マニュアルは、下水処理水を畑地灌漑に再利用するプロジェクトを計画する、沖縄県や市町村等の担当者を対象としている。

本マニュアルは、沖縄県や市町村等の担当者が、より安全な形で下水処理水の有効活用を図る手引きとして、畑地灌漑利用の計画や、灌漑を行う農業者へ指導する際に、参考となるようにとりまとめている。

【解説】

本マニュアルは、下水処理水を畑地灌漑利用するプロジェクトを計画する、沖縄県や市町村等の担当者を対象としている。担当者が、下水処理水の有効活用を図る手引きとして、畑地灌漑利用の計画書を作成したり、灌漑を行う農業者へ指導を行う際に、参考となるようにとりまとめている。

本マニュアルは、沖縄県における都市下水道の下水処理水を対象とし、畑地の灌漑利用に限った内容としている。

下水処理水の畑地灌漑への直接利用、あるいは、それに近い利用形態を中心に、ISOガイドラインに示された内容を参考に活用し、「人の健康」や「農業」および「環境」への影響に対応し、より安全な形で下水処理水を灌漑利用する手法等について記述している。

1-4. 下水処理水の畑地灌漑利用計画にあたっての検討事項

(1)基本的な検討事項

下水処理水の畑地灌漑利用を計画するにあたっては、下水処理水の量と質、栽培される農作物、ほ場条件、気候や土壌の地域的条件を考慮する必要がある。
 畑地灌漑への下水処理水の再利用の実現性は、ほ場に対する下水処理施設の位置、灌漑に必要な水の量と質、供給される処理水の価格によって決まる。

【解説】

畑地灌漑に下水処理水を再利用する事業は、既存の下水処理施設を利用する場合と、特別に設置された新規施設を利用する場合がある。沖縄県では、既存の下水処理施設を利用する場合が多いと考えられる。

既存の下水処理施設の下水処理水を、畑地灌漑へ再利用する場合の実現性は、ほ場に対する下水処理施設の位置、灌漑に必要な水の量と質、供給される処理水の価格によって決まる。

生食用野菜など灌漑される作物によっては、ISOガイドラインで要求する水質基準を満たすために、既存の下水処理施設に、新たに再処理施設を追加しなければならないことがある。

再処理施設の追加は、現在および将来の再利用に必要な水質を、実現できるように選定すべきである。

下表に、畑地灌漑への下水処理水の再利用の実現性を評価するために、必要な下水処理水の量と質に関する情報を示す。

表1-4-1 畑地灌漑水として下水処理水を利用する可能性を評価するために必要な情報

| 下水処理水の量 | |
|----------------------------|-------------------------------------|
| 情報 | 畑地灌漑に関する意志決定項目 |
| 利用可能な下水処理水の量 | 畑地灌漑面積(受益面積) |
| 需要と供給の季節変化 | 貯留必要量、他目的への下水処理水利用の可能性 |
| 下水処理水の供給量 | 常時灌漑できる農地面積、農地および施設の配置、灌漑システム |
| 供給方法:需要に応じた方法 | 農地と施設の配置、灌漑システム、灌漑計画 |
| 供給方式:利用地点まで運ぶか必要性和方式 | 下水処理水を送水するポンプやパイプの必要性、灌漑システムの必要条件 |
| 他の水源の利用可能性 | 下水処理水を補填するため、また水質を制御するための水の混合 |
| 下水処理水の質 | |
| 情報 | 畑地灌漑に関する意志決定項目 |
| 微生物学的性質 | 作物の種類および灌漑方法の選定、再処理の必要性 |
| 処理水の塩分濃度、電気伝導度 | 作物の選定、灌漑方法、溶脱やそれ以外の管理の必要性 |
| Ca、Mg、Na等の陽イオン濃度 | ナトリウムの危険性評価と、適切な影響軽減策の必要性 |
| 重金属、ホウ素、塩素等の毒性イオン濃度 | 下水処理水灌漑が原因と考えられる毒性の評価と、適切な対応方法の必要性 |
| 微量元素濃度(特に植物への毒性が疑われる元素の濃度) | 下水処理水灌漑が原因と考えられる毒性の評価と、適切な影響軽減策の必要性 |
| 栄養塩類(特に硝酸性窒素の濃度) | 施肥必要量と作物選定、処理施設での栄養塩除去の必要性 |
| 浮遊物質(SS) | 灌漑システムの選定と目詰まり防止方法、固形物除去のための再処理の必要性 |

参考:[20]水再生利用学(2010), 表-17.16

(2)下水処理水の水量

下水処理水を畑地灌漑へ再利用を計画するにあたっては、利用可能な処理水量で、灌漑できる面積を確認しておく必要がある。

【解説】

予定する下水処理施設の再利用可能な下水処理水の水量と、計画農作物の灌漑に必要な水量より、下水処理水で灌漑できる面積を確認しておく必要がある。

下水処理水の水量より、畑地灌漑が可能な面積を次式にて概算し、不足することが予想される場合には、貯留施設の容量、他水源との混合、受益面積の変更などを検討する。

$$ET_m = K_c \times ET_o \quad (1.1)$$

ET_m : 基準蒸発散量(mm/日)

K_c : 作物係数

ET_o : 基準蒸発位(mm/日)

$$ET_a = (K_a \times ET_m) \quad (1.2)$$

$$ET = ET_a - Q \quad (1.3)$$

ET_a : 計画蒸発散量(mm/日)

ET : 計画日消費水量(mm/日)

K_a : 水分反応係数($K_a \leq 1.0$)

Q : 上向き補給水量(mm/日)

$$L_w = (ET - P) \times (1 + LR/100) \times (100/E_i) \quad (1.4)$$

L_w : 計画灌漑水量負荷(mm/日)

P : 有効降水量(mm/日)

LR : リーチング必要量(%)

E_i : 灌漑効率(%)

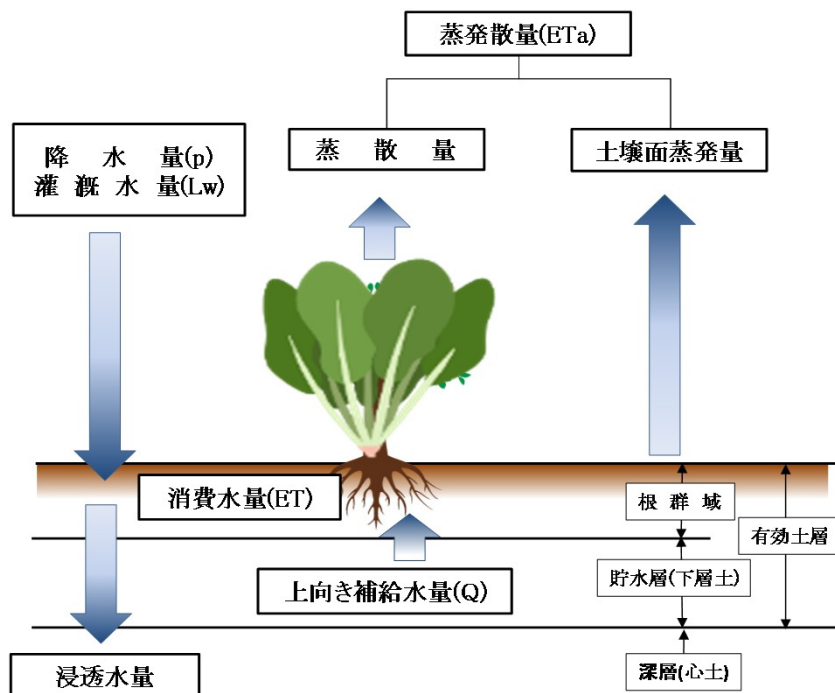


図1-4-1 畑地灌漑における土層と水の動き(水収支の構成要素)

参考:[20]水再生利用学(2010), P774~779

$$Aw = \frac{Qi(365\text{日/年}) + Vs}{Lw \times 10^{-3}} \quad (1.5)$$

Aw: 下水処理水での畑地灌漑可能面積(ha)

Qi: 日平均下水処理水量(m³/日)

Vs: 貯留される下水処理水量(m³/年)

Lw: 年間計画水量負荷(mm/年)

10⁻³ 変換係数(m/mm)

$$Aw \geq Ap \quad \text{足りる} \quad (1.6)$$

$$Aw < Ap \quad \text{不足} \quad (1.7)$$

Ap: 計画地区の受益面積(ha)

上記の計算は、下水処理水の畑地灌漑利用を判断するための計画段階の概算であり、計画をさらに具体化させるためには、地区の各条件を精査して、詳細な水収支計算を行う必要がある。

ただし、下水処理水は、年間を通して毎日発生するのに対し、灌漑利用する期間は、農作物ごとに限られている。

したがって、下水処理水量が灌漑する面積に対して不足する場合には、非灌漑期間の下水処理水を貯留する施設の設置を、第一に検討する。

さらに、貯留施設を設置しても不足する場合には、他水源との混合などを次に検討し、最終的には受益面積を少なくする検討が必要となる。

(3)下水処理水の水質

下水処理水中の微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)による農業者や消費者の疾患などの「人の健康への影響」を避けることは、下水処理水の畑地灌漑への再利用計画では、優先事項として考慮すべきである。

また、下水処理水中の物質による、土壌や農作物に関連する「農業への影響」、および地下水汚染などの「環境への影響」を防ぐため、沖縄県における農作物・ほ場条件・気候・土壌などを考慮して、下水処理水の畑地灌漑への再利用を計画する必要がある。

なお、下水処理水に含まれる栄養塩類(窒素・リン・カリウム)は、肥料の施肥量を少なくできるという有利な面も考慮した計画とする。

【解説】

下水処理水の水質は、家庭用や工業用のさまざまな用途に供給される化学的な物質、および家庭や工業で水が利用される間に添加される物質による結果である。

さまざまな物質が、処理と利水の過程の中で水に添加されており、これにより、下水処理水の組成、ならびに下水処理水の物理的・化学的・生物学的な特性が決まる。

下水処理水に含まれる可能性のある物質は、「微生物」および「無機物」と「有機物」に分類される(表1-4-2)。

表1-4-2 下水処理水中に含まれる可能性のある物質

| 分類 | 含まれる物質 |
|-----|---|
| 微生物 | 細菌、ウイルス、寄生虫、原生動物 |
| 無機物 | 塩分等(全溶解塩、塩化物、ナトリウム、ホウ素)、栄養塩類(窒素、リン、カリウム)、微量元素(亜鉛、マンガン、銅、水銀、銀、クロム、ニッケル、鉛、カドミウム、フッ素を含むその他の化学元素) |
| 有機物 | ホルモン類、医薬品、パーソナルケア製品、蛋白質、炭水化物、油、燃料、潤滑油、界面活性剤、農薬など |

①微生物

下水処理水中には、病原体になり得る微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)が含まれている。

下水処理場では、微生物の濃度を低減できるが、除去出来ない可能性があり、微生物の残留する濃度は、下水処理場の処理水準に依存する。

下水処理水の畑地灌漑への再利用計画では、下水処理水による灌漑で栽培される農作物を取り扱う農業者や、消費者の健康を保証する必要がある。

ISOガイドラインでは、微生物学的指標と対策の概念を結びつける方法について提案している。

下水処理水の全ての微生物の濃度を監視することは、不可能であり、微生物濃度の指標で監視する必要がある。ISOガイドラインで提案された指標は、「糞便性大腸菌群」あるいは「大腸菌(E.coli)を含む耐熱性大腸菌群」である。

さらに、ISOガイドラインでは、人の健康と安全を確保するのに効果的な方法として、灌漑方法や立入制限などによるバリア(対策)を提案している。

沖縄県において、下水処理水の畑地灌漑への再利用を計画する場合、病原微生物による「人の健康への影響」を避けるために、計画地域に適した下水処理水の処理水準や、指標およびバリア(対策)などを、ISOガイドラインおよび我が国における事例や調査研究成果を参考に、検討し選定することが重要である。

②無機物:塩分等

下水処理水には、土壌や農作物に損害を引き起こすことが考えられる、全溶解塩・ナトリウム・塩化物・ホウ素が含まれている。

塩分等に関連した下水処理水の水質を検討する際の主要な指標としては、「塩分含有量:浸透効果」、「塩化物・ホウ素・ナトリウム:毒性」、「ナトリウム吸着比 (SAR):透水性」が挙げられる。

沖縄県においても、塩分等による「農業への影響」を防止するために、畑地灌漑に再利用する下水処理水の水質や灌漑方法などを、ISOガイドラインおよび我が国における事例や調査研究成果を参考に検討し、選定することが重要である。

③無機物:栄養塩類

下水処理水には、雨水より高い濃度で、栄養塩類(窒素・リン)を含有している。下水処理水中にあるカリウムは、一般に、耕作に必要とされるよりも低い濃度で存在している。

農作物の灌漑に利用される下水処理水中の栄養塩類は、一般に農業者が使用する肥料の代替とも言われている。

沖縄県においても、下水処理水の畑地灌漑への再利用を計画する地域で使用されている肥料を、下水処理水中の栄養塩類で代替させる効果に関して、次の内容について検討する必要がある。

- ・含有量: 下水処理水が供給する栄養塩類の量は、農作物の必要性を満たしているのか。
- ・有用性: 下水処理水中の栄養塩類は、化学肥料で供給されるのと同様に、農作物によって吸収されるのか。
- ・時 期: 所定の割合の栄養塩類を、農作物にとって最適な季節に供給できるのか。

④無機物:微量元素

下水処理水には、灌漑水に関連する微量元素(フッ素化合物・バナジウム・クロム・マンガン・鉄・コバルト・ニッケル・銅・亜鉛・セレン・モリブデン・ストロンチウム・ヨウ素・ホウ素・カドミウム等)が、低い濃度で存在している。

下水処理場では、これらの微量元素を処理する設計はされていないが、処理工程中に微量元素類は、液相から固相(下水汚泥)に移動し、処理水中からは除去される。これら元素は、有機物や無機物に吸着されるか、高いpHなどの条件によっては溶解性の低い沈殿物が生成される。

なお、ISOガイドラインでは、医薬品やパーソナルケア製品の残留物についての検討は、含めていない。

沖縄県での計画にあたっては、畑地灌漑へ再利用する下水処理水中の微量元素類の濃度を、確認しておく必要がある。

(4)沖縄県で栽培されている農作物とほ場条件

下水処理水を安全かつ効果的に、畑地灌漑へ再利用するにあたっては、農作物の種類と灌漑方法およびほ場条件に応じて、再利用可能な下水処理水の水質条件などを検討する必要がある。

【解説】

ISOガイドラインでは、下水処理水を農作物に灌漑利用する適用範囲を、「無制限灌漑」と「制限灌漑」に区分している。

農作物の「無制限灌漑」を行うには、「非常に高い水質」の下水処理を使用することを、ISOガイドラインでは要求している。

農作物の「制限灌漑」の場合には、ISOガイドラインでは、灌漑する作物の種類に応じて、「低い水質」・「中程度の水質」・「高い水質」・「非常に高い水質」の下水処理水を使用することとしている。

さらに、ISOガイドラインでは、農作物を「生食用野菜」・「調理して食べる野菜や牧草地」・「野菜以外の食用作物(果樹やワイン用ブドウ)や園芸作物」・「飼料作物や種用作物」・「工業作物やエネルギー作物」の5種類に分類している。

①沖縄県で栽培されている農作物

沖縄県で栽培されている農作物を、ISOガイドラインの分類に従って整理して、下表に示す。

表1-4-3 ISOガイドラインの農作物分類に対応して整理した沖縄県産の農作物

| 分類 | ISOガイドラインの農作物分類 | 沖縄県で栽培されている農作物 |
|-----|--------------------------------|--|
| I | 生食用作物 | 根菜類(だいこん・にんじん)、葉茎菜類(はくさい・キャベツ・ほうれんそう・ねぎ・たまねぎ)、果菜類(トマト・きゅうり・ピーマン)、果実的野菜(すいか・メロン)、葉菜類(レタス)、その他の野菜(にがうり・オクラ・とうがん・ちんげんさい・からしな)、パインアップルなど |
| II | 調理して食べる野菜と牧草地 | 根菜類(さといも)、果菜類(なす・かぼちゃ)、豆類等(さやいんげん・スイートコーン)、その他の野菜(ばれいしょ・甘藷・水いも・へちま)など |
| III | 野菜以外の食用作物(果樹やワイン用ブドウ)と園芸(工芸)作物 | サトウキビ、葉たばこ、茶、かんきつ類(みかん・タンカン・シークワシャー)、その他の果樹(バナナ・マンゴー・ドラゴンフルーツ・パッションフルーツ・パパイヤ)、花き(きく・洋ラン類・リアトリス・ストレッチャー・切り葉・鉢物類・花壇用苗物類)など |
| IV | 飼料作物と種用作物 | 飼料作物(ローズグラス・ギニアグラス・ネピアグラス・ソルガム)など |
| V | 工業作物とエネルギー作物 | エネルギー作物(ソルゴー)など |

参考:[12]ISO 16075-2(2015), Table1

ただし、サトウキビは分類Ⅲに整理しているが、サトウキビを飲料用のジュースとして利用する場合などには、サトウキビは生食用野菜(分類Ⅰ)として整理すべきである(表1-4-3)。

②沖縄県のほ場条件

下水処理水を安全かつ効果的に、農作物に灌漑利用するにあたっては、ほ場の条件(露地・施設)と、灌漑方法や住宅地からの距離などに応じて、再利用可能な下水処理水の水質条件などを検討する必要がある。

- ・ ほ 場 の 状 況 : 露地あるいは施設(ハウス)
- ・ 灌 漑 の 方 法 : スプリンクラー灌漑あるいは点滴灌漑など
- ・ 住 宅 地 からの 距 離 : ほ場に隣接する住宅地が有るか無いか

(5)沖縄県の気象条件

沖縄県の年間降水量は、約2,000mmと全国平均に比べて多いが、面積が狭く、人口密度が高いので、利用できる1人当たりの水資源賦存量は、全国平均の約半分と少ない。いかえると、沖縄県は、「雨は多いが、水が足りない地域」である。

下水処理水の畑地灌漑への再利用にあたっては、地域の降水量などの気象条件を把握して、計画する必要がある。

【解説】

下水処理水の農業利用は、下表に示す「乾燥地」や「半乾燥地」である米国カリフォルニア州やイスラエルなどにおいて、積極的に取り組まれている。

沖縄県は下表の「湿潤地」に含まれるが、年や季節の降水量変動により、農作物への水分が不足する場合がある。

表1-4-4 乾燥指数による気候区分(国連環境計画 UNEP, 1997)

| 気候 | 乾燥指数(AI)※ | 年降水量 | 降雨の 経年変動水準 | 注釈 |
|--------|--------------|--------------------------|-----------------|---------------|
| 極乾燥地 | AI<0.05 | | <100% | 年間を通して水分が不足 |
| 乾燥地 | 0.05<AI<0.20 | <200mm | 50%~100% | |
| 半乾燥地 | 0.20<AI<0.50 | <800mm(夏季) <500mm(冬季) | 25%~50% | |
| 乾性半湿潤地 | 0.50<AI<0.65 | 季節的に多雨 | <25% | |
| 湿潤地 | 0.65<AI<1.00 | 多雨(<2,000mm) | 1,300~2,000mm/年 | 年や季節によって水分が不足 |
| | 1.00<AI | | — | 年間を通して水分に余裕 |
| 冷涼な山地 | — | — | — | 農作物の生育には寒すぎる |

※乾燥指数(AI)=P(降水量)/PET(蒸発散量)

参考:[11]ISO 16075-1(2015), TableA.1を編集

沖縄県の年間降水量は、約2,000mmを超えるが、5~6月の梅雨と8~9月の台風時に降水量が集中し、7月には極端な降水量の減少がみられる(図1-4-2)。

沖縄県の年平均気温は、23℃と周年を通じて温暖な気候となっているが(図1-4-2)、夏や秋に襲来する台風や、冬における北東の強い季節風は、農作物の生育を阻害する要因ともなっている。

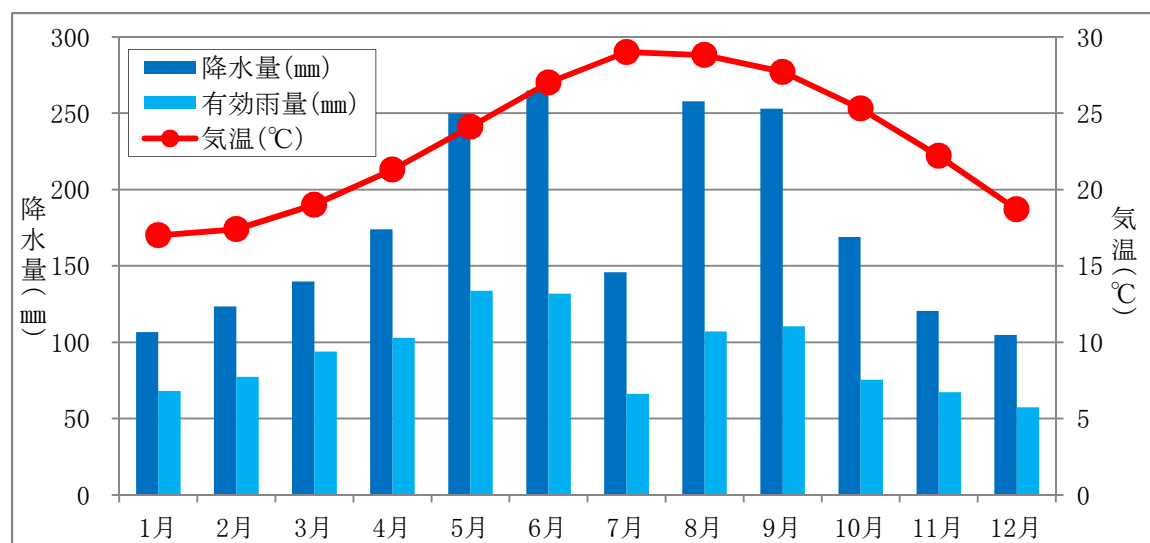


図1-4-2 那覇における月別の気温および降水量と有効雨量

※降水量・有効雨量・気温:30年間(昭和60年(1985年)~平成26年(2014年))の平均値

※有効雨量:5mm以上雨量×0.8、および28mm(TRAM)以下の雨量

沖縄県における年降水量は、約1,300mmから約3,300mmの範囲で変動しており、その差は最大で約2,000mmと大きい(図1-4-3)。

同様に、年有効雨量も約800mmから約1,700mmの範囲で変動しており、2倍以上の差になっている(図1-4-3)。

年最大連続干天日数は、20日から53日の範囲で変動しており、2ヶ月近く干天が続く年がある(図1-4-3)。

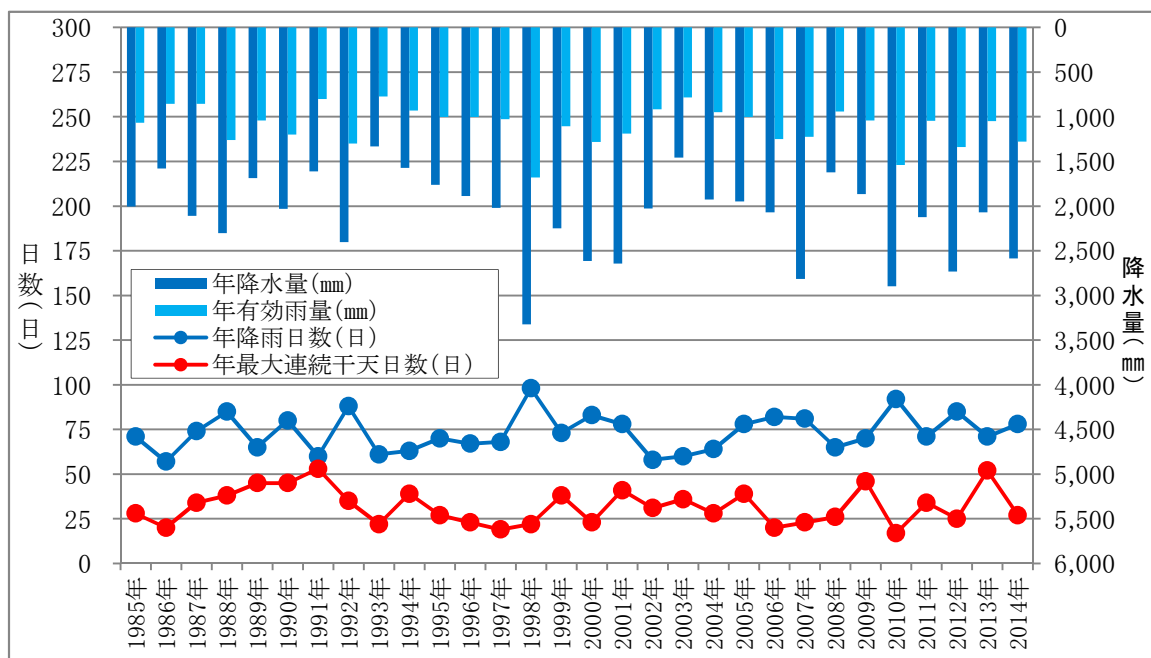


図1-4-3 那覇における年別の降水量と有効雨量および降雨日数と最大連続干天日数

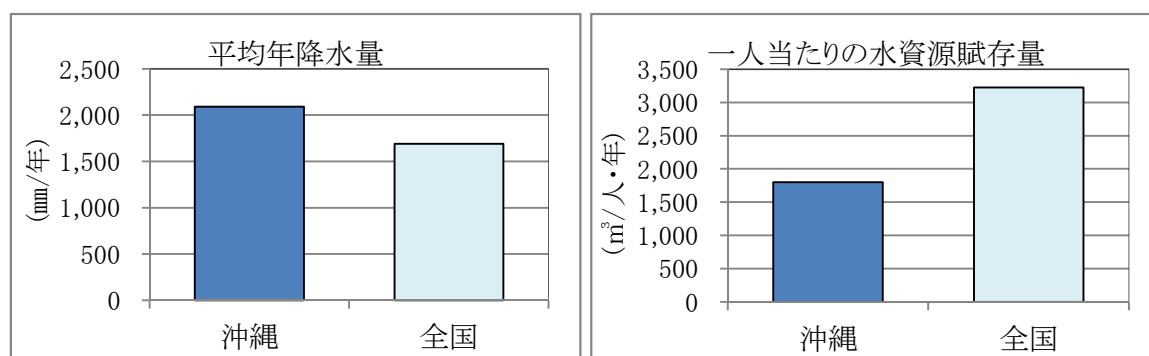
※降水量・有効雨量・降雨日数・最大連続干天日数:昭和60年(1985年)～平成26年(2014年)の30年間に
おける各年の値

※降雨日数:5mm以上の雨量がある日数

※連続干天日数:雨量が5mm未満の連続する日数の各年における最大値

沖縄県の年間降水量は、約2,000mmと全国平均の約1,700mmに比べて多いが、面積が狭く、人口密度が高いので、利用できる1人当たりの水資源賦存量は、全国平均の約半分と少ない(図1-4-4)。

このことより、沖縄県は、「雨は多いが、水が足りない地域」といえる。



| 地域区分 | 面積 (km ²) | 人口 (千人) | 平均年 | | |
|------|--------------------------|------------|------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| | | | 平均年降水量 (mm/年) | 水資源賦存量 (億m ³ /年) | 一人当たりの水資源賦存量 (m ³ /人・年) |
| 沖縄 | 2,276 | 1,393 | 2,093 | 25 | 1,800 |
| 全国 | 377,947 | 128,057 | 1,690 | 4,127 | 3,223 |

図1-4-4 沖縄県と全国平均の降水量および水資源賦存量

出典:[21]日本の水資源の現況(平成27年版)

(6)沖縄県の土壌

下水処理水を畑地灌漑に再利用する場合の「農業への影響」は、地域の土壌特性と、下水処理水の水質に、左右されることの理解が必要である。

【解説】

沖縄県の土壌は下表に示すとおり、国頭マージが最も多く、次いで島尻マージ、ジャーガル、沖積土壌の順となっている。これらの土壌は、沖縄の気候・地質・地形条件等により生成された特徴的な土壌で、母材や有機物の分解が早いため、一般的には有機物が乏しく、粘土質に富む風化土あるいは風化岩の堆積土である。そのため、物理性と化学性からして、良好な耕土とは言い難く、それぞれ改良を必要とする特殊土壌といえる。

表1-4-5 沖縄県に分布するおもな土壌の化学的性質

| 土壌 | 分布割合 (%) | 主要作物 | 層位 | pH (H ₂ O) | 有機物 (%) | 塩基置 換容量 (me/100g) | 置換性塩基 (mg/100g) | | |
|-------|-------------|---------------------|----|--------------------------|------------|-------------------------|--------------------|--------|------|
| | | | | | | | カルシウム | マグネシウム | カリウム |
| 国頭マージ | 55.1 | パイナップル・ 果樹・さとうきび | 表土 | 4.7 | 2.2 | 13.5 | 74.4 | 40.6 | 14.0 |
| | | | 深土 | 5.1 | 0.5 | 14.9 | 120.3 | 58.3 | 6.7 |
| 島尻マージ | 27.4 | 野菜・さとうきび | 表土 | 7.8 | 2.4 | 17.1 | 606.2 | 56.5 | 36.3 |
| | | | 深土 | 7.2 | 1.3 | 15.9 | 276.5 | 40.2 | 12.9 |
| ジャーガル | 8.0 | 野菜・さとうきび | 表土 | 7.2 | 2.1 | 22.0 | 535.2 | 99.4 | 18.2 |
| | | | 深土 | 7.8 | 1.3 | 22.4 | 521.3 | 124.2 | 9.8 |
| 沖積土壌 | 9.5 | 水稻 | 表土 | 8.1 | 1.9 | 5.4 | 1695.0 | 99.6 | 8.1 |
| | | | 深土 | 8.5 | 0.8 | 2.8 | 1683.8 | 116.4 | 3.8 |

出典：[22]沖縄の農業と土壌(2007)

表1-4-6 沖縄県に分布するおもな土壌の物理的性質

| 土壌 | 層位 | 固相 (%) | 液相 (%) | 気相 (%) | 孔隙 (液+気) (%) | 礫 (%) | 粗砂 (%) | 細砂 (%) | 微砂 (%) | 粘土 (%) |
|-------|----|-----------|-----------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 国頭マージ | 表土 | 43.3 | 31.7 | 25.1 | 56.8 | 1.12 | 3.5 | 24.4 | 39.3 | 32.8 |
| | 深土 | 52.7 | 44.7 | 2.6 | 47.3 | 0.64 | 2.5 | 10.2 | 34.9 | 52.4 |
| 島尻マージ | 表土 | 54.2 | 25.8 | 20.0 | 45.8 | 1.10 | 0.5 | 7.2 | 19.3 | 73.0 |
| | 深土 | 59.4 | 35.6 | 5.0 | 40.6 | 0.00 | 0.1 | 1.7 | 7.2 | 91.0 |
| ジャーガル | 表土 | 50.6 | 41.7 | 7.7 | 49.4 | 0.17 | 0.6 | 6.5 | 44.3 | 48.6 |
| | 深土 | 49.7 | 46.3 | 4.0 | 50.3 | 0.12 | 0.7 | 5.0 | 47.5 | 46.7 |
| 沖積土壌 | 表土 | 40.4 | 13.6 | 46.0 | 59.6 | - | - | - | - | - |
| | 深土 | 44.2 | 13.3 | 42.5 | 55.8 | - | - | - | - | - |

出典：[22]沖縄の農業と土壌(2007)

※礫：土壌粒子直径2mm以上、粗砂：2mm～0.2mm、細砂：0.2mm～0.02mm、微砂：0.02mm～0.002mm、粘土：0.002mm以下

ISOガイドラインでは、土壌と関連が密接なリスクの基本概念を、下表で示している。

この表を参考に、下水処理水を畑地灌漑に再利用する場合の農業リスク(土壌への影響)は、地域の土壌特性と、下水処理水の水質に、左右されることを理解しておく。

表1-4-7 土壌に密接なリスクの基本概念 (Schacht他, 2011を修正)

| リスク | 基準 | 土壌中の挙動に影響する土壌指標 |
|----------------|------------------------|-----------------------------------|
| 無機汚染物質の移動性(吸着) | 無機汚染物質(重金属類等)の緩衝能力(吸着) | 土性、有機物、pH |
| 上部土壌層のスレーキング※1 | 上部の土壌層のスレーキング | 土性、有機物 |
| 土壌の塩類集積 | 土壌の塩類集積 | 土性、密度、根域の深度、土壌深度、ほ場の能力、飽和透水係数、溶出率 |
| ホウ素の移動性 | ホウ素の緩衝能力 | 土性、有機物、pH |
| 地下水汚染 | 吸着しない物質の緩衝能力 | 土性、有機物、pH |
| リンの蓄積と移動性 | 土壌中のリンの蓄積や溶出 | 粘土質、鉱物、酸化物、有機物、pH |

出典：[11]ISO 16075-1(2015), TableA.2を編集

※1：スレーキングとは塊状の物質(土塊や軟岩)が乾燥、吸水を繰り返すことにより、細かくばらばらに崩壊する現象をいう。

注意：一般的に、湿気の多い地域や気温の高い地域の酸性土壌では、重金属類の移動性が高いことが予想される。

| 土 壤 | 土 性 | 分布割合 | 主 要 作 物 | 備 考 |
|-------|--------|-------|--------------------|--|
| 国頭マージ | 酸性 | 55.1% | さとうきび・ パインアップル・ 果樹 | 南北大東島の島尻マージは強酸性であり、国頭マージの性質をもっている。 |
| 島尻マージ | 弱アルカリ性 | 27.4% | さとうきび・ 野菜 | |
| ジャーガル | 弱アルカリ性 | 8.0% | さとうきび・ 野菜 | 伊是名では、母材が国頭マージと同じであるが、アルカリ性を示し、島尻マージの性質をもっている。 |
| 沖積土壌 | | 9.5% | 水稻 | |

出典:「よみがえれ土」

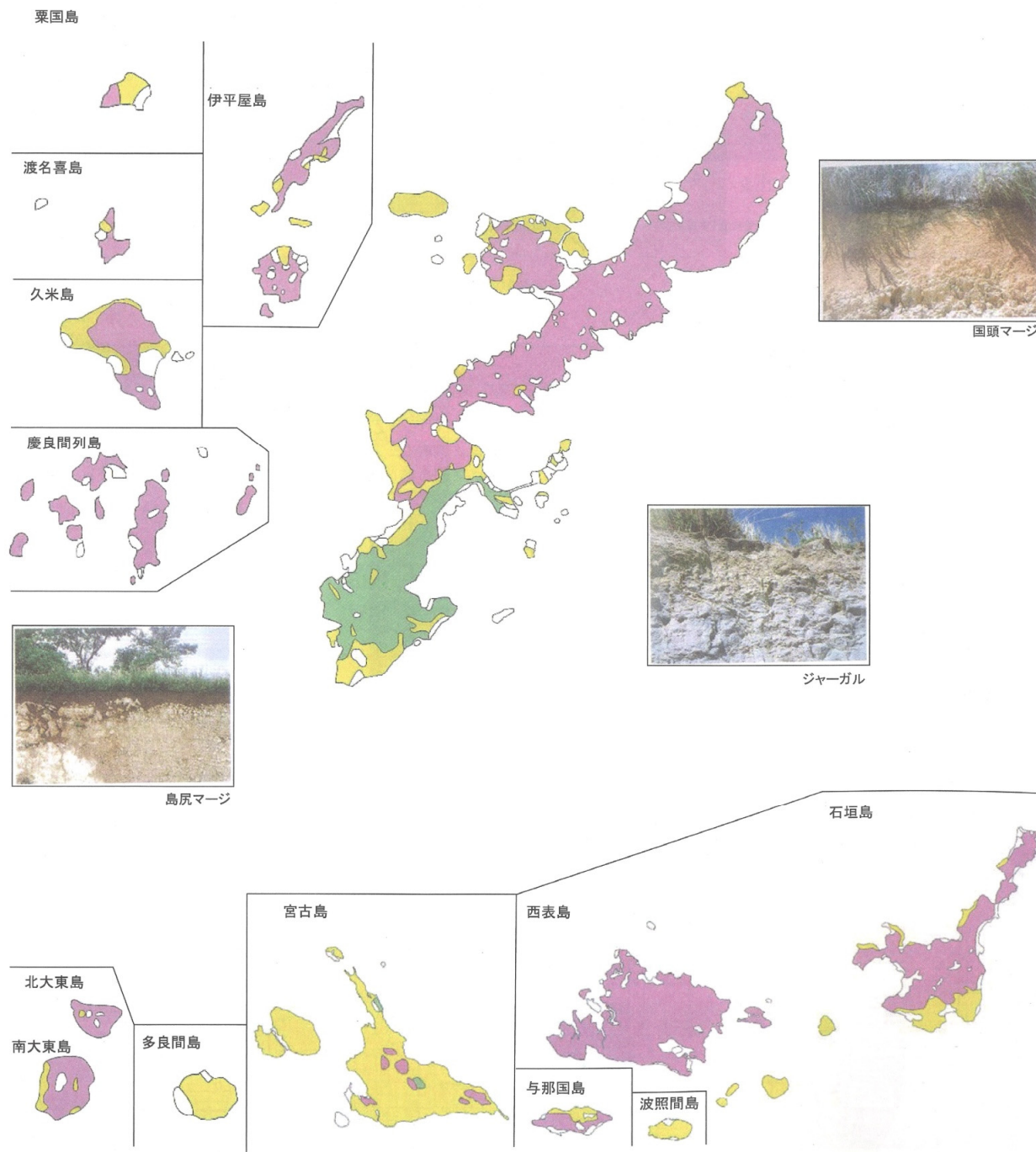


図1-4-5 沖縄県の土壌分布図

出典:[23]沖縄県の農業農村整備(平成27年度版)

1-5. 畑地灌漑利用する下水処理水の水質の注意点

(1)下水処理水の水質で注意すべき内容

下水処理水を安全かつ効果的に、畑地灌漑へ再利用するにあたっては、下水処理水の水質が重要な要素となる。

下水処理水によって供給されている物質(微生物・栄養塩類・微量元素)の挙動は、土壌の条件・農作物・雨量・蒸発散量に大きな影響を受けることから、畑地灌漑計画にあたっては、これらを十分に考慮する必要がある。

下水処理水の病原微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)による「人の健康への影響」、栄養塩類(窒素・リン・カリウム)と塩分等による「環境への影響」と土壌や農作物などの「農業への影響」について、十分に注意する必要がある。

【解説】

①人の健康への影響

病原体微生物を含む下水処理水による畑地灌漑が、原因となる人の健康に対するリスクは、下水処理水から農業者や地域住民および消費者に至る幾つかの伝染経路によって、引き起こされる。

このような伝染経路としては、次に示す経路が考えられる。

- ・下水処理水で灌漑された農作物の汚染
- ・下水処理水を散水灌漑している場合に生じる病原微生物の空中伝染(エアロゾル)
- ・農業者や地域住民の下水処理水への直接接触

②農業(土壌と農作物および灌漑施設)への影響

下水処理水の水質による農業(土壌と農作物および灌漑施設)への影響としては、次に示す内容が考えられる。

- ・栄養塩類による農作物への影響
- ・塩分による土壌と農作物への影響
- ・ナトリウムによる土壌への影響
- ・特定イオン(塩化物・ホウ素・ナトリウム)の毒性による農作物への影響
- ・pHによる農作物への影響
- ・浮遊物質による灌漑施設への影響
- ・微量元素による農作物への影響

③環境への影響

下水処理水中の栄養塩類(窒素・リン)の濃度が、環境に及ぼす影響として、窒素による地下水汚染と、栄養塩類による地表水汚染(富栄養化)が考えられる。

- ・窒素による地下水汚染
- ・窒素とリンによる地表水汚染(富栄養化)

(2)「人の健康」に関連する病原微生物

下水処理水には、病原微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)が、残留する場合があります。

下水処理水を畑地灌漑に再利用する際には、農業者や地域住民および消費者などの「人の健康への影響」についての注意が必要である。

【解説】

一般的な下水処理の過程で、微生物の濃度は低減されるが、微生物が下水処理水中に残留する濃度は、下水処理場の処理水準に依存する。

このため、下水処理水には、病原微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)が、残留する場合があります、畑地灌漑に再利用する際には、農業者などの人と栽培する農作物の衛生面に、注意する必要がある。

食中毒を起こす病原微生物は、土や水および動物や人の腸管内にいる細菌・ウイルス・原虫などである(図1-5-1)。

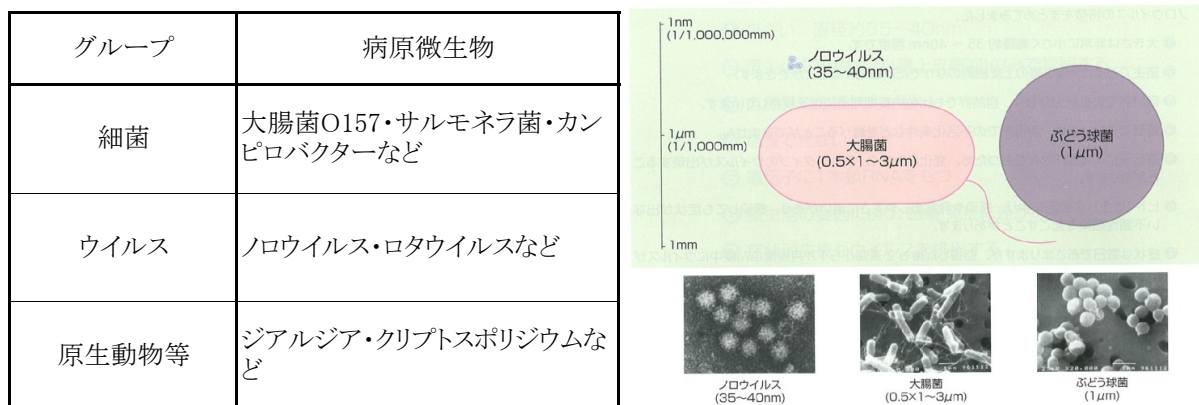


図1-5-1 食中毒を起こす病原微生物の種類と大きさ

出典：[24]ノロウイルス食中毒・感染症からまもる(2013)

野菜を生産する際は、灌漑水や堆肥および人の手などを通して、病原微生物に汚染される可能性がある(図1-5-2)。

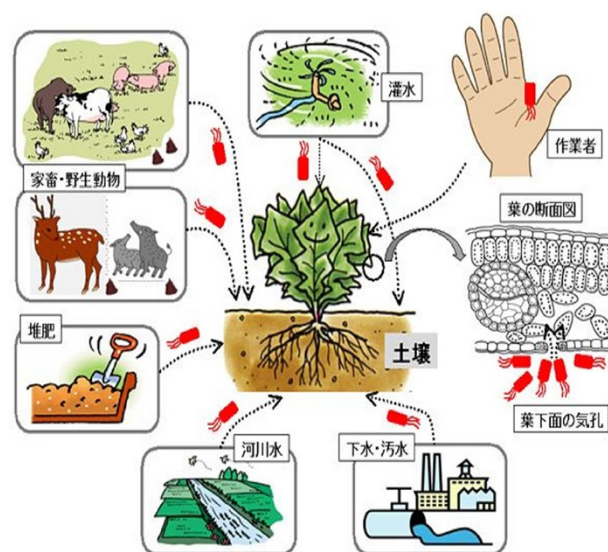


図1-5-2 生鮮野菜の生産環境での食中毒菌汚染経路

出典：[25]生鮮野菜の微生物安全性に向けた取り組み(2013)

ノロウイルスなど下水処理水中の全ての病原微生物の濃度を、監視することは不可能であるので、ISOガイドラインでは、「糞便性大腸菌群」あるいは「大腸菌(E.coli)を含む耐熱性大腸菌群」を、微生物濃度の指標として監視することを提案している。

沖縄県における一般的な下水処理場では、最初沈殿池で比重の大きい濁分を除去した後、反応タンクで微生物を含んだ活性汚泥と下水を混合して空気を送り込み、微生物に水中の有機物等を分解させる標準活性汚泥法を用いている。

次に、最終沈殿地で活性汚泥と上澄み水に分離し、最後に、塩素混和地で塩素消毒して放流されている。

放流水の水質基準(水質汚濁防止法)での大腸菌群数は、3,000個/mLであるが、沖縄県では下水処理場によって、放流水の大腸菌群数は異なっている(表1-5-1)。

この結果から、下水処理水の灌漑利用を計画する際には、水源となる下水処理場ごとに大腸菌群数を確認する必要がある。

しかも、CREST研究の調査結果[8]によると、「那覇浄化センター」の二次処理水からも、ノロウイルスが高濃度(約 10^5 copies/L)で検出されている。

表1-5-1 沖縄県の代表的な下水処理場における放流水の大腸菌群数の測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道※1 | | | | 公共下水道 | 放流水の水質基準 |
|-----------------|-----|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | 水質汚濁防止法(一律) |
| 大腸菌群数 (個/mL) | 最大値 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2,880 | 3,000 |
| | 最小値 | 0 | 0 | 0 | 0 | 不検出 | |
| | 平均 | 1 | 0 | 0 | 0 | 245 | |

※1出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典:[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

沖縄県の都市下水道の下水処理水には、病原微生物(細菌・ウイルス・寄生虫・原生動物)が、残留する場合がある。

このことより、下水処理水を畑地灌漑へ再利用する計画では、農業者や地域住民および消費者などの「人の健康への影響」や、栽培する農作物の衛生面を考慮し、灌漑する農作物に応じて、下水処理方法や灌漑方法を検討することが重要である。

(3)栄養塩類

下水処理水には、栄養塩類(窒素・リン・カリウム)が、河川などの環境水と比較して、高い濃度で含まれている場合がある。

栄養塩類は肥料成分として活用することができるが、その利用にあたっては、肥料の使用を含めて計画的なものとする必要がある。

一方で、地形や土壌の性状によって、地下水汚染や地表水汚染が懸念される地域に関しては、トータルの施肥量と灌漑水量を管理するとともに、灌漑手法の工夫などが重要である。

【解説】

下水処理水を直接あるいは直接に近い形態で利用すると、下水処理水の窒素やリンを肥料成分として、有効に活用することができる。

しかし、灌漑時期に合わせて水量や水質を調整することはできないことや、下水処理場によって窒素やリンの濃度が異なることから、再利用する下水処理水の水質を十分理解した上で、使用することが必要である。

農作物が必要とする窒素やリンは、作物の種類や成長段階で大きく変化する。

ゆえに、下水処理水中の窒素やリンを、代替肥料として積極的に活用する場合には、下水処理水の水質と農作物の栄養(窒素・リン)要求に応じて、施肥量の調整を図るなど、作物に準じた施肥管理を行い、計画的な利用とする必要がある。

ただし、下水処理水中の窒素やリンは、貯留する池での藻類繁殖に影響を与えるので、遮光による対策などを検討する必要もある。

下水処理水中のカリウム濃度は、一般にそれほど高くなく、作物成長に与える効果は小さい。それに、カリウムは土壌中で濃度が高くなっても、作物収量に対してほとんど影響を引き起こさないだけでなく、塩化物イオンによる作物への有害な影響を減少させる効果もある。

ISOガイドラインでは、下水処理水の灌漑利用における栄養塩(窒素・リン)の最大水準を、下表のとおり紹介している。

表1-5-2 下水処理水の灌漑利用における栄養塩類の最大水準(ISOガイドライン)

| 指標 | 単位 | 月平均値 | 最大値 | 備考 |
|----------|------|------|-----|---|
| 全窒素 | mg/L | 25 | 35 | この水準は、かんがい時期に500～600mm(5,000～6,000 m ³ /ha)で灌漑するときに生じる農作物と窒素とリンの消費量の関係を示したものである。 |
| アンモニア性窒素 | mg/L | 20 | 30 | |
| 全リン | mg/L | 5 | 7 | |

出典:[11]ISO 16075-1(2015), TableB.1 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

注意:「イスラエルの公共衛生基準(下水処理水の品質と再生利用のルールに関する基準)」(2014年4月改定)による。

FAO(1994)などでも、窒素の使用制限を、下表のとおり示している。

表1-5-3 灌漑用水の水質ガイドライン(FAO, 1994)

| 潜在的灌漑問題 | 単位 | 適用上の制限の程度 | | |
|------------------------|------|-----------|---------|---------|
| | | なし | 若干の制限あり | 重大な制限あり |
| 窒素(NO ₃ -N) | mg/L | <5 | 5 ～ 30 | >30 |

出典:[26]Water quality for agriculture(1994), Table 1

表1-5-4 灌漑のための水質評価指針

| 灌漑による障害 | 単位 | 使用制限度 | | |
|-----------------------|------|-------|--------|-----|
| | | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| 窒素(全窒素) ^{※1} | mg/L | <5 | 5 ～ 30 | >30 |

出典:[20]水再生利用学(2010), 表-17.5

※1:排水中の窒素形態は様々であるものの、植物は全窒素量に感応する。

これらガイドライン等の基準値(表1-5-2～4)より、下水処理水の灌漑への再利用において、下水処理水中の全窒素濃度は最大で30mg/L以下で、全リン濃度は最大で7mg/L以下であることを確認する必要がある。

沖縄県の下水処理水中の全窒素(T-N)は、約6～30mg/Lの範囲にあり、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、有機性窒素と様々な形態で窒素が含まれているが、アンモニア性窒素の割合が高い(表1-5-5)。

また、沖縄県の下水処理水中の全リン(T-P)は、約0.3～2.0mg/Lの範囲にある(表1-5-5)。

「糸満市浄化センター」の再生水測定結果(表1-5-5)によると、下水処理水中のカリウム濃度は14mg/L程度である。

表1-5-5 沖縄県の代表的な下水処理場における窒素とリンおよびカリウムの濃度

| 水質項目 | | 流域下水道※1 | | | | 公共下水道※2 | 放流水の水質基準※3 |
|--------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | 水質汚濁防止法(一律) |
| 窒素 (mg/L) | 全窒素 | 18.2～20.6 | 7.3～23.4 | 16.5～23.5 | 25.4～29.7 | 5.93～18.0 | 120 (日平均60) |
| | アンモニア性窒素 | 15.4～17.8 | 1.8～17.8 | 10.3～18.6 | 20.8～26.9 | － | |
| | 亜硝酸性窒素 | 0.2～0.8 | 0.2～2.8 | 0.5～2.4 | 1.1～1.5 | 0.14～7.16 | |
| | 硝酸性窒素 | 0.6～2.4 | 0.1～6.4 | 0.8～3.3 | 0.6～2.0 | 0.81～9.75 | |
| | 有機性窒素 | 0.2～2.0 | 0.0～3.5 | 0.9～1.6 | 0.1～1.3 | － | |
| リン (mg/L) | 全リン | 0.3～0.9 | 0.6～2.0 | 0.4～1.2 | 0.2～0.7 | 0.19～0.73 | 16 (日平均8) |
| | 溶解性正リン | 0.2～0.8 | 0.5～1.4 | 0.3～1.1 | 0.1～0.2 | － | |
| カリウム (mg/L) | | － | － | － | － | 14 | － |

※1出典：[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典：[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

※2出典：[27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成26年度)，カリウムは2014/11/13再生水測定結果

※3：窒素およびリンについては、環境省が定めた湖沼、海域及びこれらに流入する公共用水域に排出される排水に限って適用となるためこれら施設では適用されない。

沖縄県の一般的な下水処理水は、アンモニア性窒素が高く、硝酸性窒素が低い、特徴がある。

しかし、下水処理場によっては、下水処理水中の硝酸性窒素の割合が高い場合があり、その場合には、硝酸イオンによる地下水汚染の可能性がある。地下水汚染が懸念される地域では、施肥量とともに下水処理水による灌漑水量を、管理することが重要である。

ISO ガイドラインでは、下水処理水によって引き起こされる地下水汚染や地表水汚染のリスクを、表1-5-6のように示している。

表では、汚濁物質の浸透率、地下水への浸透性、地表水汚染の敏感性の3項目をⅠ～Ⅳに4区分し、「汚濁物質の浸透率と地下水の浸透性」および「汚濁物質の浸透率と地表水汚染の敏感性」の関係を1～3のリスク水準で示している。

沖縄県に分布する土壌の島尻マージは、地下水への浸透性は中程度で、表面流出は低い(表1-5-6)。

国頭マージとジャークは、地下水への浸透性は低く、表面流出は中程度か高い(表1-5-6)。

このような土壌ごとの特徴に留意し、下水処理水を灌漑利用する地域の土壌条件を把握して、計画を行う必要がある。

表1-5-6 下水処理水中の汚濁物質による地下水汚染や地表水汚染のリスク水準例(ISOガイドライン)


| 汚濁物質の浸透率 | | | 地下水への浸透性 | | | |
|---------------|----------------------|-----|----------|----------|---------|---------|
| | | | 浸透性がない | 低い浸透性 | 中程度の浸透性 | 高い浸透性 |
| | | | I | II | III | IV |
| 地下水汚染の 敏感性 | 帯水層が浅いあるいは粘土による保護がない | I | 1 | 2 | 3 | 3 |
| | 粘土による保護がある深い帯水層 | II | 1 | 2 | 2 | 3 |
| | 粘土による十分な保護がある深い帯水層 | III | 1 | 1 | 2 | 2 |
| | 水文学的に連続性がある帯水層のない地域 | IV | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 地表水汚染の敏感性 | | | 3 | 3 | 2 | 1 |
| | | | IV | III | II | I |
| | | | 高い表面流出 | 中程度の表面流出 | 低い表面流出 | 表面流出がない |
| | | | 表面流出 | | | |

参考:[11]ISO 16075-1(2015)、TableC.1

備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

注意:リスク水準 1:汚染リスク小2:汚染リスク中3:汚染リスク大

:島尻マージ

:国頭マージ・ジャーガル

根圏から溶脱する窒素は、排水が放出される地下水や表流水に影響を与えられ

る。浸透水の許容窒素濃度に基づく水量負荷は、次式で求められる[20]。

$$L_{wn} = \frac{C_p(P - ET_a) + 10^2 U}{(1 - f)C_n - C_p} \quad (1.8)$$

L_{wn} : 窒素限界による年間許容水量負荷(mm/年)

C_p : 浸透水の許容硝酸窒素濃度(mg/L)

$P - ET_a$: 有効降雨量から消費水量を引いた値(mm/年)

10^2 : kg/ha・年からmg・mm/L・年への変換係数

U : 作物の窒素吸収(kg/ha・年)

C_n : 供給される下水処理水の窒素濃度(mg/L)

f : 供給窒素のうちで脱窒および揮発で除去される割合
(通常0.2が使われる)

我が国における「地下水の環境基準」では、「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」の基準濃度は、10mg/L以下とされている。

地下水の窒素汚染を防止するために、前述した「農作物の消費水量より求めた水量負荷」(式1.4)と、「窒素負荷より求められた許容水量負荷」(式1.8)を比べ、小さい方の値を畑地灌漑の計画では用いるべきである。

(4)塩分

下水処理水を、畑地灌漑へ再利用する場合に、灌漑水に含まれる塩分に関連して検討すべき項目は、以下のとおりである。

- 塩分による土壌と農作物への影響(全溶解性蒸発残留物・電気伝導度・塩素イオン)
- ナトリウムによる土壌への影響(ナトリウム吸着比)
- 特定イオンの毒性による農作物への影響(塩化物・ナトリウム・ホウ素)

【解説】

下水処理水を、畑地灌漑利用するにあたり、先ず考慮しなければならないことは、塩分(塩類濃度)である。

塩分は、作物にとって必須の栄養元素であるが、過剰に摂取すると生育を阻害する。

塩分の作物への摂取は、灌漑水の他に土壌や雨および化学肥料があり、摂取濃度に対する作物の感受性は、品種によって異なる。

流入下水には、生物学的処理では除去できない無機溶解性物質を含んでおり、下水処理水の塩分は、流入下水とほぼ同程度である。

無機溶解性塩(全溶解塩・塩化物・ナトリウム・ホウ素)が含まれる下水処理水を、灌漑利用することで、土壌や農作物に影響を与える可能性がある。

灌漑水の塩分が高いと、作物体の水分吸収の障害や養分吸収の異常などにより、作物の生育に障害を与える。

このような場合においては、土壌の特性や施肥量に留意した灌漑手法を工夫するなど、塩分の削減について検討することが必要である。

水中の塩分濃度は、全溶解性蒸発残留物(TDS: Total Dissolved Solids)の指標となり、水の電気伝導度(ECw)は、TDS濃度の代替指標として使われている。水の電気伝導度が大きいほど、塩分(TDS)濃度も大きい。

畑地灌漑を目的とするほとんどの場合、ECwとTDSには相関があり、次式で約10%以内の精度で変換できる[20]。

$$ECw < 5(dS/m) \quad TDS(mg/L) \cong ECw(dS/m) \times 640 \quad (1.9)$$

$$ECw > 5(dS/m) \quad TDS(mg/L) \cong ECw(dS/m) \times 800 \quad (1.10)$$

また、塩素イオン(Cl^-)も、電気伝導度(ECw)は関連した水質項目であり、ナトリウム障害や塩類障害に関係し、作物の種類や土壌によって限界値が異なる。

FAO(1994)では、水の電気伝導度と全溶解性蒸発残留物および塩素イオンにより、畑地灌漑水としての塩分とイオン毒性による影響の適否を評価している(表1-5-7)。

表1-5-7 塩分とイオン毒性の影響に関連する灌漑水のECwとTDSおよび Cl^- の関係(FAO, 1994)

| 塩分の影響 | 使用制限度 | | |
|---|------------|-----------------|-------------|
| | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| 電気伝導度ECw ^{※1} (dS/m=mS/cm) | <0.7 | 0.7～3.0 | >3.0 |
| 全溶解性蒸発残留物TDS ^{※1} (mg/L) | <450 | 450～2,000 | >2,000 |
| イオン毒性の影響 塩素イオン Cl^- | 使用制限度 | | |
| | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| 地表灌漑 (meq/L) ^{※1} (mg/L) ^{※2} | <4 <140 | 4～10 140～350 | >10 >350 |
| スプリンクラー灌漑 (meq/L) ^{※1} (mg/L) ^{※2} | <3 <100 | >3 >100 | |

※1出典: [26] Water quality for agriculture(1994), Table 1

※2出典: [20] 水再生利用学(2010), 表-17.5

※ Cl^- : 1meq/L=35.5mg/L

下表は、「鹿島南部農業水利事業」の畑地灌漑計画における灌漑用水の主要畑作物に対する許容限界塩分濃度を、電気伝導度と塩素イオン濃度で示したものである。

表1-5-8 畑地灌漑用水の主要作物に対する塩分濃度の許容限界度

| 作物群 | 許容限界塩分濃度 | | 該当する主要畑作物 |
|---------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|
| | 電気伝導度(EC) mS/cm (dS/m) | 塩素イオン(Cl ⁻) mg/L (ppm) | |
| I 塩分に敏感な作物 | <0.7 | 150 ～ 170 | インゲン・イチゴ・にんじん・レタス・タマネギ・大根 |
| II 中程度の塩分 抵抗性作物 | <1.0 | 220 ～ 250 | トウモロコシ・落花生・大豆・なし・桃・トマト・キュウリ・ピーマン・クローバー |
| III 塩分抵抗性の 大きい作物 | <2.0 | 500 ～ 550 | 大麦・小麦・青刈り麦 |

出典:[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-6

再生水による沖縄本島南部地域の畑地灌漑計画を行った「島尻地区」[3]では、隣接する「沖縄本島南部地区」の「塩水管理マニュアル」を参考に、塩分の影響を監視する指標を塩素イオン濃度とし、その日間平均値が200mg/Lを超えないこととしている。

FAO(1994)と我が国の事例を参考に、「畑作物の水質環境」[28]では、一般的な塩素イオンの限界濃度を200mg/Lとしている。

これら内容を参考として、沖縄県において下水処理水を畑地灌漑用水に再利用する場合には、下水処理場で一般的に測定されている塩素イオン濃度を、塩分の影響を把握する指標として、その限界濃度を日間平均値が200mg/L以下とする(表1-5-9)。

表1-5-9 沖縄県で下水処理水を畑地灌漑利用する場合の塩分イオン濃度による使用制限度(案)

| 使用制限度 | なし | 小～中程度 | 深刻 |
|-----------------------|-------|---------|-------|
| 塩素イオン(日間平均) (mg/L) | < 200 | 200～550 | > 550 |

沖縄県の下水処理場では、下水処理水の塩素イオンと蒸発残留物は測定されているが、電気伝導度は測定されていない。

「那覇浄化センター」は管渠から海水浸入があるため、放流水の塩素イオンと蒸発残留物は、沖縄県の他の処理場に比べて高い(表1-5-10)。

海水侵入のある「那覇浄化センター」以外の下水処理場における平均の塩素イオンは、下表に示すとおりより200mg/L以下であり、畑地灌漑への利用は可能と判断される。

表1-5-10 沖縄県の代表的な下水処理場における塩素イオンと蒸発残留物の測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道 ^{※1} | | | | 公共下水道 ^{※2} | 放流水の水質基準 |
|-----------------|-----|---------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|----------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | |
| 塩素イオン (mg/L) | 最大値 | 910 | 200 | 95 | 87 | 245 | － |
| | 最小値 | 320 | 81 | 87 | 75 | 115 | － |
| | 平均 | 550 | 120 | 90 | 81 | 175 | － |
| 蒸発残留物 (mg/L) | 最大値 | 2,052 | 640 | 306 | 377 | 491 | － |
| | 最小値 | 764 | 376 | 260 | 322 | 331 | － |
| | 平均 | 1,237 | 444 | 290 | 347 | 422 | － |

※1出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典:[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成24年度)

(5)ナトリウム

ナトリウム濃度が高く、カルシウムとマグネシウムの濃度が低い場合に、SAR値が大きくなり、土粒子は分散し、粘土は膨潤する。

我が国では、SARの適正限界値としては7を上限とし、作物によっては3程度までがよいと考えられている。また、柑橘類の一部では、SARが3以下が安全という作物もある。

下水処理水を、畑地灌漑への再利用を計画する場合には、計画する下水処理水のSARおよび電気伝導度を求めて、浸透速度に与える影響も確認しておく必要がある。

【解説】

畑地灌漑水において、ナトリウムが支配的な陽イオンとなっている状態を、ナトリウム化という。

ナトリウム化は、次式で定義されるSAR(ナトリウム吸着比:Sodium Adsorption Ratio)で表され、SARは畑地灌漑水により土壌溶液のナトリウムが支配的な陽イオンとなるナトリウム化を表す指標である[20]。

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]) / 2}} \quad (1.11)$$

SAR: ナトリウム吸着比(Sodium Adsorption Ratio)

$[Na^+]$: ナトリウム濃度 (meq/L) = 濃度 (mg/L) / 質量数(23.0)

$[Ca^{2+}]$: カルシウム濃度 (meq/L) = $2 \times$ 濃度 (mg/L) / 質量数(40.1)

$[Mg^{2+}]$: マグネシウム濃度 (meq/L) = $2 \times$ 濃度 (mg/L) / 質量数(24.3)

我が国では、SARの適正限界値としては7を上限とし、作物によっては3程度までがよいと考えられている(表1-5-11)。とりわけ、柑橘類の一部では、SARが3以下が安全という作物もある[28]。

表1-5-11 地区別の畑地灌漑主要水質項目(SAR)の選定過程と適正限界値

| 水質項目 | 選定過程 | 適正限界値 | |
|------|-----------|-------|-------|
| | | (K地区) | (M地区) |
| SAR | 農業土木学会の基準 | 3 ~ 7 | 3 ~ 7 |

出典:[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-2

ISOガイドラインおよびFAO(1994)では、土壌のナトリウム化に関連して、SARと電気伝導度(ECw)の関係から、土壌を通る水の浸透問題の適否を評価している(表1-5-12)。

表1-5-12 灌漑水の浸透問題に関連するSARと電気伝導度度の関係(ISOガイドライン)

| 潜在的な灌漑問題 | 使用制限度 | | |
|----------|------------------------------|---------|------|
| | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| 灌漑水のSAR | 灌漑水の電気伝導度(ECw, dS/m = mS/cm) | | |
| 0～3 | ≥0.7 | 0.2～0.7 | <0.2 |
| 3～6 | ≥1.2 | 0.3～1.2 | <0.3 |
| 6～12 | ≥1.9 | 0.5～1.9 | <0.5 |
| 12～20 | ≥2.9 | 1.3～2.9 | <1.3 |
| 20～40 | ≥5.0 | 2.9～5.0 | <2.9 |

出典:[11]ISO 16075-1(2015), TableB.4

出典:[26]Water quality for agriculture(1994), Table 1

備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

下図は、灌漑水のSARと電気伝導度(EC_w)が、浸透に与える影響を示したものであり、SARとEC_wを知ることによって、浸透問題が発生する可能性を予測できる。

たとえば、土壌水のSARが一定の場合、浸透問題が生じる可能性は、浸透する水の電気伝導度(EC_w)が、低下するにつれて増加する(図1-5-3)。

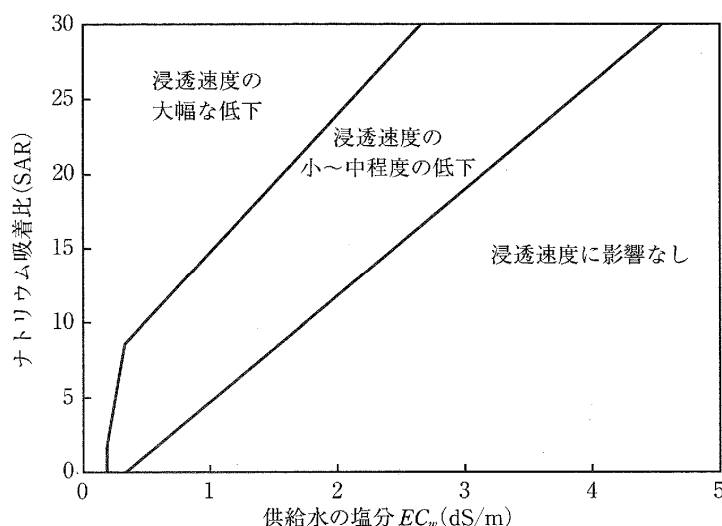


図1-5-3 灌漑水中のSARとECが浸透速度に与える複合的影響

出典:[20]水再生利用学(2010), 図-17.8

沖縄県の下水处理水(再生水)や湧水などのSARの計算結果を、表1-5-13に示す。

下水处理水(再生水)のSAR値は、湧水や地下ダム水に比べて高く、特に管渠から海水浸入がある「那覇浄化センター」のSARは、適正限界値を超えている(表1-5-13)。

表1-5-13 我が国におけるSARの適正限界値と沖縄県で考えられる下水处理水などの灌漑水のSARとEC_w

| 水質項目 | 適正 限界値※1 | 灌漑水 | EC _w | Na | | Ca | | Mg | | SAR |
|------|-------------|-------------|-----------------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|-----|
| | | | (mS/cm) | (mg/L) | (meq/L) | (mg/L) | (meq/L) | (mg/L) | (meq/L) | |
| SAR | 3～7 | 那覇浄化センター※2 | 2.47 | 357 | 15.52 | 48.2 | 2.40 | 36 | 2.96 | 9.5 |
| | | 糸満市浄化センター※3 | 0.81 | 110 | 4.78 | 16 | 0.80 | 9.3 | 0.77 | 5.4 |
| | | 宮古の地下ダム※4 | 0.60 | 30 | 1.30 | 85.2 | 4.25 | 5.8 | 0.48 | 0.8 |
| | | 糸満市内の湧水※3 | 0.82 | 32 | 1.39 | 100 | 4.99 | 12 | 0.99 | 0.8 |
| | | 一般的な水道水※3 | 0.17 | 19 | 0.83 | 8.2 | 0.41 | 2.9 | 0.24 | 1.5 |

※1出典:[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-2

※2出典:[3]島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務報告書(平成20年度), 平成15年度～平成19年年度水質モニタリング結果平均値

※3出典:[27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度), 再生水・与座ガー・水道水水質分析結果(2014/11/12～13)

※4出典:[29]液肥を地下ダム用水で希釈した場合に生じる沈殿生成防止技術(2011)

「那覇浄化センター」の下水处理水と「糸満市浄化センター」の再生水(CREST実証プラント)の浸透問題への影響は、SARと電気伝導度の値(表1-5-13)から、ISOガイドライン(表1-5-12)によると、那覇で「なし」、糸満で「小～中程度」となる。

下水处理水を畑地灌漑に再利用を計画する場合には、下水处理水のSARと電気伝導度を求めて、浸透速度に与える影響も確認しておく必要がある。

(6)特定イオンの毒性

下水処理水に存在する多くのイオンは、低濃度であれば、有益であるが害はない。しかし、高濃度になれば、蓄積して農作物に害を及ぼす。

下水処理水を、畑地灌漑用水に再利用する場合に、ナトリウム・塩化物(塩素)・ホウ素は、そのイオン毒性により、農作物に損害を与える可能性があるため確認が必要である。

【解説】

①ナトリウム

過剰なナトリウムは、葉やけ・クロロシス(黄色化や白化)・胴枯病を引き起こす。

ナトリウム毒性は、果樹(アボガド・柑橘類・アプリコット・サクランボ・モモ・プラム)にみられ、ナトリウム濃度が120mg/Lを超えると、その毒性が認められる[11]。

しかし、SARが極端に高くなければ、野菜・穀物・飼草・繊維作物は、下水処理水の通常濃度のナトリウムイオンから影響を受けない。

ちなみに、土壌中のカルシウム濃度が低い場合には、植物体内へのナトリウムの吸収と蓄積が生じることがある。

②塩化物(塩素)

塩化物は、植物にとって必須の元素であるが、過剰な塩化物イオンも、ナトリウムと同様な影響を与えるが、この影響は樹木類に対してだけである。

一般に、野菜・穀物・飼草・繊維作物は、SARが極端に高くなければ、下水処理水の通常濃度の塩化物イオンから影響を受けない。

③ホウ素

ホウ素も、植物が正常に生育する上で必須の元素であるが、ホウ素イオンは、植物生育に適する値より僅かに高いだけで、毒性をもつ。

その毒性による症状には、葉やけ・萎縮病・クロロシス(黄色化や白化)・アントシアニン(赤葉や青葉)・ロゼット病・早期落葉・枝枯病・成長阻害等がある。

なお、ホウ素イオンへの耐性は、気候・土壌条件・作物の種類によって、異なることに留意すべきである。

FAO(1994)では、ナトリウム・塩素・ホウ素の特定イオン毒性による影響としての適否を、下表のとおり評価している。

表1-5-14 特定イオン毒性の影響に関連する水質項目(FAO, 1994)

| 特定イオン毒性の影響 | 使用制限度 | | |
|---------------------------------|-------|---------|-------|
| | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| ナトリウム(Na) | | | |
| 地表灌漑 SAR ^{※1, ※2} | < 3 | 3～9 | > 9 |
| スプリンクラー灌漑 (meq/L) ^{※1} | < 3 | > 3 | |
| (mg/L) ^{※2} | < 70 | > 70 | |
| 塩素(Cl) | なし | 小～中程度 | 深刻 |
| 地表灌漑 (meq/L) ^{※1} | < 4 | 4～10 | > 10 |
| (mg/L) ^{※2} | < 140 | 140～350 | > 350 |
| スプリンクラー灌漑 (meq/L) ^{※1} | < 3 | > 3 | |
| (mg/L) ^{※2} | < 100 | > 100 | |
| ホウ素(B) (mg/L) ^{※1, ※2} | < 0.7 | 0.7～3.0 | > 3.0 |

※1出典: [26] Water quality for agriculture(1994), Table 1

※2出典: [20] 水再生利用学(2010), 表-17.5

※Na⁺: 1meq/L=23mg/L、Cl⁻: 1meq/L=35.5mg/L

沖縄県の下水处理場では、下水処理水の塩素イオンと「ホウ素及びその化合物」は測定されているが、ナトリウムは測定されていない(表1-5-15)。

「那覇浄化センター」は、管渠から海水浸入があるため、放流水の塩素イオンは、沖縄県の他の処理場に比べて高い(表1-5-15)。

「ホウ素及びその化合物」は、流域下水道が全てN.D.(不検出)であり、「糸満市浄化センター」で0.07～0.22mg/Lと低濃度である(表1-5-15)。

表1-5-15 沖縄県の代表的な下水処理場における放流水の塩素イオン・ホウ素及びその化合物・ナトリウムの測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道※1 | | | | 公共下水道※2 | 放流水の水質基準 |
|--------------------------|-----|----------|-----------|-----------|----------|-----------|-------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | 水質汚濁防止法(一律) |
| 塩素イオン (mg/L) | 最大値 | 910 | 200 | 95 | 87 | 245 | — |
| | 最小値 | 320 | 81 | 87 | 75 | 115 | |
| | 平均 | 550 | 120 | 90 | 81 | 175 | |
| ホウ素 及びその化合物 (mg/L) | 最大値 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 0.22 | 230 |
| | 最小値 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 0.07 | |
| | 平均 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 0.13 | |
| ナトリウム (mg/L) | | 357※3 | — | — | — | 110※4 | — |
| SAR | | 9.5 | — | — | — | 5.4 | — |

※1出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典:塩素イオンは、[19]糸満市浄化センター水質及び汚泥分析結果(平成24年度)

※2出典:ホウ素は、[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

※3出典:[3]島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務報告書(平成20年度),平成15年度水質分析結果再生水平均値

※4出典:[27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度),水質分析結果(再生水2014/11/13)

「那覇浄化センター」のSARは9以上あり(表1-5-15)、表1-5-14によると使用制限度は「深刻」となる。ナトリウムイオン濃度は、平均で350mg/L程度あり(表1-5-15)、海水浸入によるナトリウムの影響がみられる。

しかも、塩素イオン濃度も平均で350mg/L以上あり(表1-5-15)、使用制限度は「深刻」となり(表1-5-14)、下水処理水の畑地灌漑への利用には検討が必要である。

その他の流域下水道では、ナトリウムイオンは測定されていないが、塩素イオン濃度は350mg/L以下であり(表1-5-15)、使用制限度は「小～中程度」となる(表1-5-14)。

「ホウ素及びその化合物」の濃度は、全て不検出であることより(表1-5-15)、下水処理水の野菜などへの灌漑利用への影響は、小さいと判断される(表1-5-14)。

「糸満市浄化センター」のナトリウムイオン濃度は110mg/Lであるが、SARは約5であり(表1-5-15)、使用制限度は「小～中程度」となる(表1-5-14)。

塩素イオン濃度は350mg/L以下であり(表1-5-15)、使用制限度は「小～中程度」となる(表1-5-14)。

「ホウ素及びその化合物」の濃度は、0.7mg/L以下であることより(表1-5-15)、下水処理水の野菜などへの灌漑利用への影響は、小さいと考えられる(表1-5-14)。

下水処理水を畑地灌漑用水に再利用を計画する場合には、再利用する下水処理水のナトリウム・塩素・ホウ素のイオン濃度を求めて、イオン毒性による影響を確認しておく必要がある。

(7)pH

農作物の種類によって、灌漑水のpHの最適な範囲は異なるので、再利用を計画する下水処理水のpHを確認し、栽培予定の農作物への灌漑が可能かを、把握しておく必要がある。

【解説】

いくつかの農作物の生育に対する最適なpHの範囲は、下表のとおり整理されているが、pHは4.0～8.0と幅があり、農作物によってその範囲は異なる。

表1-5-16 農作物の最適pH範囲

| 作物 | pH | 作物 | pH | 備考 |
|--------|-----------|---------|-----------|----|
| イネ | 5.0 ～ 6.5 | シロクローバ | 5.6 ～ 7.0 | |
| コムギ | 5.5 ～ 7.5 | アカクローバ | 6.0 ～ 7.5 | |
| ダイズ | 6.0 ～ 7.0 | アルファルファ | 6.2 ～ 7.8 | |
| ラッカセイ | 5.3 ～ 6.6 | ブルーグラス | 5.5 ～ 7.5 | |
| エンドウ | 6.0 ～ 7.5 | エンバク | 5.0 ～ 7.5 | |
| サトウキビ | 6.0 ～ 8.0 | | | |
| タバコ | 5.5 ～ 7.5 | ツルコケモモ | 4.2 ～ 5.0 | |
| オオムギ | 6.5 ～ 7.8 | パイナップル | 5.0 ～ 6.0 | |
| | | モモ | 6.0 ～ 7.5 | |
| トマト | 5.5 ～ 7.5 | リンゴ | 5.0 ～ 6.5 | |
| キュウリ | 5.5 ～ 7.0 | アンズ | 6.0 ～ 7.0 | |
| ニンジン | 5.5 ～ 7.0 | フドウ | 6.0 ～ 7.5 | |
| ジャガイモ | 4.5 ～ 6.5 | | | |
| レタ | 6.0 ～ 7.0 | シャクナゲ類 | 4.5 ～ 6.0 | |
| キャベツ | 6.0 ～ 7.5 | ラン | 4.0 ～ 5.0 | |
| ホウレンソウ | 6.0 ～ 7.5 | カーネーション | 6.0 ～ 7.5 | |
| アスパラガス | 6.0 ～ 8.0 | ゼラニウム | 6.0 ～ 8.0 | |
| 最小値 | 4.0 | 最大値 | 8.0 | |

参考:[30]土壌・肥科学の基礎(1981), 表9.1

FAO(1994)では、pHは6.5～8.4が、適正な範囲とされている(表1-5-17)。

しかも、灌漑用水としてpH=4の水を散布すると、葉に障害がでるので、米国ではpH=5が下限値とされている[20]。

表1-5-17 灌漑用水のpHの正常な範囲(FAO, 1994)

| 使用制限度 | なし | 小～中程度 | 深刻 |
|-------|----|----------------------------------|------------------|
| pH | — | 6.5～8.4 ^{※1} (正常な範囲) | >5 ^{※2} |

※1出典:[26]Water quality for agriculture(1994), Table 1 ※2出典:[20]水再生利用学(2010), 表-17.5

我が国における事例調査で、畑地灌漑主要水質項目として、pHの適正限界値は6.0～8.5と設定されている(表1-5-18)。

表1-5-18 地区別の畑地灌漑主要水質項目(pH)の選定過程と適正限界値

| 水質項目 | 選定過程 | 適正限界値 | |
|------|------------------|-----------|-----------|
| | | (K地区) | (M地区) |
| pH | 農水的环境基準値(8.5)を考慮 | 6.0 ～ 8.5 | 6.0 ～ 8.5 |

出典:[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-2

FAO(1994)と米国および我が国の事例を参考に、沖縄県において下水処理水を畑地灌漑水に利用する場合には、pHの正常な範囲は6.0～8.5とする(表1-5-19)。

表1-5-19 沖縄県で下水処理水を畑地灌漑利用する場合のpH使用制限範囲(案)

| 使用制限 | なし | 正常な範囲 | 使用制限有り |
|------|----|---------|--------|
| pH | — | 6.0～8.5 | >5 |

沖縄県の各下水処理場における放流水のpHは、6.8～7.4とほぼ中性であり、畑地灌漑には問題がないと判断される(表1-5-20)。

表1-5-20 沖縄県の代表的な下水処理場における放流水のpH測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道※1 | | | | 公共下水道※2 | 放流水の水質基準※3 |
|------|-----|----------|-----------|-----------|----------|-----------|--------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | 下水道法(技術上の基準) |
| pH | 最大値 | 7.4 | 7.2 | 7.0 | 7.3 | 7.3 | 5.8 |
| | 最小値 | 7.3 | 7.0 | 6.8 | 7.2 | 6.4 | ～ |
| | 平均 | 7.3 | 7.1 | 6.9 | 7.3 | 6.9 | 8.6 |

※1出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典:[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

※3:「那覇浄化センター」における放流水のpH水質基準は、水質汚濁防止法(県条例上乘せ)より、6.5～8.5である。

(8)浮遊物質(SS)

下水処理水中の浮遊物質(SS)は、灌漑用の配水管やエミッタを詰まらせる可能性があるため、計画にあたっては、SS濃度の確認が必要である。

【解説】

下水処理水中の浮遊物質(SS)は、灌漑用の配水管やエミッタを詰まらせる可能性がある。

一般的に、二次処理水は、全浮遊物質(TSS)を5～25mg/L含み、三次処理水のTSSは10mg/L以下である。

米国において点滴灌漑では、50mg/L以下のSS濃度は、一般的には利用制限はないと考えられている(表1-5-21)。

表1-5-21 ドリップ(点滴)灌漑での水質の影響(Nakayama, 1982)

| 使用制限度 | なし | 小～中程度 | 深刻 |
|---------------|-----|--------|------|
| 浮遊物質(SS) mg/L | <50 | 50～100 | >100 |

出典：[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-27

我が国における事例調査で、畑地灌漑主要水質項目として、SSの適正限界値は40mg/L以下と設定されている(表1-5-22)。

表1-5-22 地区別の畑地灌漑主要水質項目(SS)の選定過程と適正限界値

| 水質項目 | 選定過程 | 適正限界値 | |
|-----------------|-------------|-------|-------|
| | | (K地区) | (M地区) |
| 浮遊物質(SS) (mg/L) | パイプ等などの目詰まり | 40以下 | 40以下 |

出典：[28]畑作物の水質環境(2003), 表7-2

米国と我が国の事例を参考に、沖縄県において下水処理水を畑地灌漑用水に再利用する場合に、SSの正常な範囲は40mg/L以下とする(表1-5-23)。

表1-5-23 沖縄県で下水処理水を畑地灌漑利用する場合の浮遊物質(SS)濃度による使用制限度(案)

| 使用制限度 | なし | 小～中程度 | 深刻 |
|-----------------|-----|--------|------|
| 浮遊物質(SS) (mg/L) | <40 | 40～100 | >100 |

沖縄県の各下水処理場における放流水の浮遊物質(SS)濃度は40mg/L以下であり(表1-5-24)、畑地灌漑には問題がないと判断される(表1-5-23)。

表1-5-24 沖縄県の代表的な下水処理場における放流水の浮遊物質(SS)測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道 ^{※1} | | | | 公共下水道 ^{※2} | 放流水の水質基準 |
|--------------------|-----|---------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|--------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | 下水道法(技術上の基準) |
| 浮遊物質(SS) (mg/L) | 最大値 | 2 | 4 | 3 | 2 | 6.5 | 40以下 |
| | 最小値 | 1 | 1 | 1 | 1 | <0.5 | |
| | 平均 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2.1 | |

※1出典：[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典：[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

(9)「農業」と「環境」に関連する水質項目のまとめ

前述した「農業」と「環境」に関連する水質項目について、ISOガイドラインとFAO(1994)および我が国事例などを参考とした、畑地灌漑のための水質評価指針をとりまとめて下表に示す。

表1-5-25 「農業」と「環境」に関連する畑地灌漑の水質評価指針^{a)}のまとめ

| 農業と環境への影響 | 使用制限度 | | | 流域下水道 ^{※3} | | | | 公共下水道 ^{※4} |
|--|-----------------|--------------------|--------|---------------------|-----------|-----------|-----------|---------------------|
| 塩分の影響 | なし | 小～中程度 | 深刻 | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター |
| 電気伝導度EC _w ^{b)} (mS/cm) | <0.7 | 0.7～3.0 | >3.0 | 2.47 | — | — | — | 0.81 |
| 全溶解性蒸発残留物TDS (mg/L) | <450 | 450～2,000 | >2,000 | 764～2,052 | 376～640 | 260～306 | 322～377 | 331～491 |
| ナトリウム(Na) | EC _w | | | 2.47 | — | — | — | 0.81 |
| SAR ^{c)} 0～3 | ≧0.7 | 0.7～0.2 | <0.2 | 9.5 | — | — | — | 5.4 |
| 3～6 | ≧1.2 | 1.2～0.3 | <0.3 | | | | | |
| 6～12 | ≧1.9 | 1.9～0.5 | <0.5 | | | | | |
| 12～20 | ≧2.9 | 2.9～1.3 | <1.3 | | | | | |
| 20～40 | ≧5.0 | 5.0～2.9 | <2.9 | | | | | |
| 特定イオン毒性の影響 | なし | 小～中程度 | 深刻 | | | | | |
| ナトリウム(Na) ^{d),e)} (果樹等) | | | | | | | | |
| 地表灌漑 SAR | <3 | 3～9 | >9 | 9.5 | — | — | — | 5.4 |
| スプリンクラ灌漑 ^{※2} (meq/L) | <3 | >3 | | 15.5 | — | — | — | 4.8 |
| (mg/L) | <70 | >70 | | 357 | — | — | — | 110 |
| 塩素(Cl) ^{d),e)} (果樹等) | | | | | | | | |
| 地表灌漑 ^{※2} (meq/L) | <4 | 4～10 | >10 | 9.0～25.6 | 2.3～5.6 | 2.5～2.7 | 2.1～2.5 | 3.2～6.9 |
| (mg/L) | <140 | 140～350 | >350 | 320～910 | 81～200 | 87～95 | 75～87 | 115～245 |
| スプリンクラ灌漑 ^{※2} (meq/L) | <3 | >3 | | | | | | |
| (mg/L) | <100 | >100 | | | | | | |
| 塩素(Cl) ^{※1} (野菜等) (mg/L) | <200 | 200～550 | >550 | 320～910 | 81～200 | 87～95 | 75～87 | 115～245 |
| ホウ素(B) (mg/L) | <0.7 | 0.7～3.0 | >3.0 | N.D.～0.2 | N.D.～0.2 | N.D. | N.D.～0.2 | 0.10～0.21 |
| その他の影響 | なし | 小～中程度 | 深刻 | | | | | |
| 全窒素(T-N) ^{f)} (mg/L) | <5 | 5～30 | >30 | 18.2～20.6 | 7.3～23.4 | 16.5～23.5 | 25.4～29.7 | 5.93～18.0 |
| 全リン(T-P) (mg/L) | <5 | 5～7 | >7 | 0.3～0.9 | 0.8～2.0 | 0.4～1.2 | 0.2～0.7 | 0.19～0.73 |
| 重炭酸(HCO ₃) | | | | | | | | |
| スプリンクラ灌漑のみ (mg/L) | <90 | 90～500 | >500 | — | — | — | — | — |
| 残留塩素 | | | | | | | | |
| スプリンクラ灌漑のみ (mg/L) | <1.0 | 1.0～5.0 | | 0.25～0.45 | 0.55～0.83 | 0.30～0.45 | 0.35～0.45 | 0.5～>2.0 |
| pH ^{※1} — | | 6.0～8.5 (正常な範囲) | >5 | 7.3～7.4 | 7.0～7.2 | 6.8～7.0 | 7.2～7.3 | 6.4～7.3 |
| 浮遊物質(SS) ^{※1} (mg/L) | <40 | 40～100 | >100 | 1～2 | 1～4 | 1～3 | 1～2 | <0.5～6.5 |

a): [26]Water quality for agriculture(1994), Table 1

[20]水再生利用学(2010), 表-17.5

b): 灌漑水の電気伝導度

c): ナトリウム吸着比(式1.11)

d): 多くの樹木作物や園芸樹は、ナトリウムと塩素に敏感であり、多くの一年生作物は、敏感ではない[20]。

e): 低湿度(<30%)でのスプリンクラ灌漑においては、ナトリウムまたは塩素がそれぞれ70または100mg/L以上の濃度では、過度の葉への付着と敏感な作物に対する作物被害を引き起こす[20]。

f): 全窒素(T-N)には、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、有機性窒素が含まれる。排水中の窒素形態は、様々であるものの、植物は、全窒素量に感応する[20]。

※1: [28]畑作物の水質環境(2003)、我が国の事例等を参考として設定(表1-5-9, 19, 23)。

※2: Na⁺: 1meq/L=23mg/L、Cl⁻: 1meq/L=35.5mg/L

※3: [18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※3: [3]島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務(平成20年度), 那覇浄化センターの電気伝導度・ナトリウム・SARは平成15年度～平成19年水質モニタリング結果再生水平均

※4: [19]糸満市浄化センター水質及び汚泥分析結果(平成24年度, 平成27年度)

※4: [27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度), 再生水の電気伝導度・ナトリウム・SARは(再生水水質結果(2014/11/13, 2015/1/19～2/17))

(10)「農業」に関連する微量元素

幾つかの微量元素は、低濃度であれば、植物成長にとって必要不可欠であるものの、高濃度では害を及ぼす。
植物への毒性は、元素の濃度と植物の種類によって異なるので、再利用を計画する下水処理水中の微量元素を、確認しておく必要がある。

【解説】

葉障害や減収量といった被害は、植物根の吸収した微量元素が、葉や他の植物組織に蓄積されて生じる。

汚濁源が主に家庭下水である地域では、下水処理水中の微量元素濃度は、通常 $\mu\text{g/L}$ から mg/L のオーダーの範囲で変化する。

工業排水が公共下水道システムに排出される地域では、より高濃度の微量元素が見られる。

一般に、再生水中の微量元素濃度は、短期間では害のない程度である。

だが、微量元素を含む水を長期間用いた場合、土壤に微量元素が蓄積し、植物に対する被害や、地下水汚染を引き起こすことがある。

そればかりか、作物の食用部に高濃度の微量元素が蓄積し、濃度が十分に高くなった場合には、人間や動物に害を及ぼす可能性がある。

二次処理水での微量元素の一般的な濃度、三次処理および逆浸透プロセスにおける処理水質の例、ならびにU.S. EPA(2004)による灌漑のための推奨値を、表1-5-26に示す。

表1-5-26 下水処理水中の微量元素の一般的濃度^{※1}

| 元素 | 二次処理水 (mg/L) | | 三次 処理後 ^{※2} (mg/L) | 逆浸 透処理後 (mg/L) | 灌漑に対する EPA推奨濃度 ^{※3} | |
|----|----------------------------|--------|--|---------------------------------|---------------------------------|------|
| | 範囲 | 中央値 | | | 長期 | 短期 |
| As | <0.005～0.023 | <0.005 | <0.001 | 0.00045 | 0.1 | 10 |
| B | <0.1～2.5 | 0.7 | 0.3 | 0.17 | 0.75 | 2 |
| Cd | <0.005～0.05 | <0.005 | <0.0004 | 0.0001 | 0.01 | 0.05 |
| Cr | <0.005～1.2 | 0.02 | <0.01 | 0.003 | 0.1 | 20 |
| Cu | <0.005～1.3 | 0.04 | <0.01 | 0.015 | 0.2 | 5.0 |
| Hg | <0.0002～0.001 | 0.0005 | 0.0001 | — | — | — |
| Mo | 0.001～0.018 | 0.007 | — | — | 0.001 | 0.05 |
| Ni | 0.003～0.6 | 0.004 | <0.02 | 0.002 | 0.2 | 2 |
| Pb | 0.003～0.35 | 0.008 | <0.002 | 0.002 | 5 | 20 |
| Se | <0.005～0.02 | <0.005 | <0.001 | 0.0007 | 0.02 | 0.05 |
| Zn | 0.004～1.2 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 2 | 10 |

※1出典：[20]水再生利用学(2010), 表-17.9

※2: 二次処理(活性汚泥処理)+ろ過+消毒

※3出典：[31]U.S.EPA(2012)

下表に、土壌と植物組織で検出される代表的な微量元素について、その通常の濃度と植物成長への影響を示す。

表1-5-27 主な微量元素が土壌および植物細胞中に通常検出される濃度と作物成長に与える影響※¹

| 元素 | 土壌中濃度(μg/g) | | 植物細胞中における 一般的な濃度(μg/g) | 作物成長に与える影響※ ² |
|----|-------------|------|---------------------------|-------------------------------|
| | 範囲 | 一般値 | | |
| As | 0.1～40 | 6 | 0.1～5 | 必須ではない。 |
| B | 2～200 | 10 | 5～30 | 必須、植物種によって大きく異なる、高濃度で毒性。 |
| Be | 1～40 | 6 | — | 必須ではない、毒性。 |
| Cd | 0.01～7 | 0.06 | 0.2～0.8 | 必須ではない、毒性。 |
| Cr | 5～3000 | 100 | 0.2～1.0 | 必須ではない、低毒性。 |
| Co | 1～40 | 8 | 0.05～0.15 | 豆科植物にとって必須(0.2 μg/g以下で)。 |
| Cu | 2～100 | 20 | 2～15 | 必須(2～4 μg/g以下で)、20 μg/g以上で毒性。 |
| Pb | 2～200 | 10 | 0.1～10 | 必須ではない、低毒性。 |
| Mn | 250～1700 | 600 | 15～100 | 必須、毒性はFe/Mn比に依存。 |
| Mo | 0.2～5 | 2 | 1～100 | 必須(0.1 μg/g以下で)、低毒性。 |
| Ni | 10～1000 | 40 | 1～10 | 必須、50 μg/g以上で毒性。 |
| Se | 0.1～0.2 | 0.5 | 0.02～20 | 必須、50 μg/g以上で毒性。 |
| V | 20～500 | 100 | 0.1～10 | 幾種かの藻類で必須、10 μg/g以上で毒性。 |
| Zn | 10～300 | 50 | 15～200 | 必須、200 μg/g以上で毒性。 |

※1出典: [20]水再生利用学(2010), 表-17.11

※2: 乾燥質量(70℃)基準での植物組織中の濃度

平均灌漑速度を1.1m/年(日消費水量3mm/日×365日/年=1,095mm/年≒1.1m/年)と仮定すると、年間の微量元素流入量は、次式で計算される[10]。

$$\begin{aligned}
 \text{微量元素流入量(kg/ha・年)} &= 1.1(\text{m/年}) \times 10^4(\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{m}) \times C \times 10^3(\text{L/m}^3) \times 10^{-6}(\text{kg/mg}) \\
 &= 11C(\text{kg/ha} \cdot \text{年}) \\
 &\quad C: \text{灌漑水中の微量元素濃度(mg/L)}
 \end{aligned}
 \tag{1.12}$$

それから、幾種類かの微量元素は、土壌中に蓄積し植物組織に吸収されることがあるので、微量元素の濃度を植物組織とともに、土壌でも測定することも必要である。

次表に、「那覇浄化センター」と「糸満市浄化センター」の再生水(二次処理(活性汚泥処理)＋ろ過＋消毒)を、灌漑に用いた場合の重金属負荷量の許容値に達するまでの推定年数を示す。

推定年数は、約460年～18万年と非常に長い期間となった(表1-5-28)。

この計算では、植物による吸収や根圏からの溶脱は考慮されていないので、この推定年数は余裕を持った値となっている。

表1-5-28 沖縄県における再生水灌漑が重金属負荷限界に達するまでの時間^{※1}

| 元素 | 再生水中濃度※ ² (mg/L) | 年間の投入量 (kg/ha・年) | 土壌CEC別の推奨負荷量※ ³ (kg/ha) | | | 土壌CEC別の負荷限界に達するまでの時間(年) | | |
|-------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------------------------|------|-------|-------------------------|--------|---------|
| | | | <5 | 5～15 | >15 | <5 | 5～15 | >15 |
| 那覇浄化センター※ ⁴ | | | | | | | | |
| Cd | 0.001 | 0.011 | 5 | 10 | 20 | 455 | 909 | 1,818 |
| Cu | 0.005 | 0.06 | 125 | 250 | 500 | 2,083 | 4,167 | 8,333 |
| Zn | 0.019 | 0.21 | 250 | 500 | 1,000 | 1,190 | 2,381 | 4,762 |
| Pb | 0.002 | 0.022 | 500 | 1000 | 2,000 | 22,727 | 45,455 | 90,909 |
| 糸満市浄化センター※ ⁵ | | | | | | | | |
| Cd | 0.0003 | 0.0033 | 5 | 10 | 20 | 1,515 | 3,030 | 6,061 |
| Cu | 0.002 | 0.02 | 125 | 250 | 500 | 6,250 | 12,500 | 25,000 |
| Zn | 0.019 | 0.21 | 250 | 500 | 1,000 | 1,190 | 2,381 | 4,762 |
| Pb | 0.001 | 0.011 | 500 | 1000 | 2,000 | 45,455 | 90,909 | 181,818 |

※1参考: [20]水再生利用学(2010), 表-17.10

※2: 検出限界値未満の場合は、その検出限界値を測定値とした。

※3: CEC:陽イオン交換容量(meq/100g土壌)

※4出典: [3]島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務報告書(平成20年度), 平成15年度～平成19年度水質モニタリング結果再生水平均

※5出典: [27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度), 水質分析結果(再生水2016/12/16)

下水処理水と関連する微量元素と、灌漑水に対してFAO(1994)およびISOガイドラインで推奨している最大濃度と平均濃度を、沖縄県における下水処理場の放流水の測定結果とともに表1-5-29に示す。

下水処理場で測定されていない微量元素は、アルミニウム・ベリリウム・コバルト・リチウム・モリブデン・ニッケル・バナジウムなどがあるので、下水処理水を畑地灌漑用に計画する場合には、これら元素が最大値を超えるかを確認しておく必要がある(表1-5-29)。

表1-5-29 微量元素の灌漑水の推奨最大濃度と沖縄県における放流水の測定濃度(単位:mg/L)

| 元素 | FAO (1994) ^{※1} 推奨 最大濃度 | ISO (2015) ^{※2} | | 放流水の 水質基準 ※3 | 流域下水道 ^{※3} | | | | 公共 下水道 | 注釈 |
|----|---|-----------------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------|---------------|--------------|-----------|---|
| | | 月 平均値 | 最大値 (1回の測定) | | 那覇浄化 センター | 宜野湾浄化 センター | 具志川浄化 センター | 西原浄化 センター | | |
| Al | アルミニウム | 5.0 | 5 | 12.5 | | | | | | 酸性土壌(pH<5.5)では、生産障害を引き起こすが、アルカリ土壌(pH>5.5)では、イオンの析出により毒性が排除される。 |
| Be | ベリリウム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | | | | | | 毒性を引き起こす濃度は植物種によって大きく異なる。(ケール5mg/L, ツルナシニンゲン0.5mg/L) |
| Cd | カドミウム | 0.01 | 0.01 | 0.025 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.01 | 豆類・ピーナツ類、カブ類に対しては、0.1mg/Lほどの低濃度(栄養溶液中)で毒性を示す。植物中や土壌中カドミウムが人体に影響を及ぼす程度まで蓄積する可能性があるため、低い許容限度が推奨される。 |
| Cr | クロム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 一般に作物成長にとって不可欠な元素とは考えられていない。植物に対する毒性は、十分理解されていないため、低い許容限度が推奨される。 |
| Co | コバルト | 0.05 | 0.05 | 0.125 | | | | | | トマトの木には0.1mg/L(栄養溶液中)で毒性を示す。中性・アルカリ土壌で不活性化する傾向がある。 |
| Cu | 銅 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | N.D. | N.D. | N.D. | 0.01 | <0.1 | 0.1~1.0mg/L(栄養溶液中)の濃度で多くの植物に毒性がある。 |
| CN | シアン化合物 | — | — | 0.2 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.1 | |
| F | フッ素 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | 0.1 | 中性・アルカリ土壌では毒性が見られない。 |
| Fe | 鉄 | 5.0 | 2 | 5 | 0.06 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | <0.1 | 好気土壌では植物に対する毒性はないが、土壌酸性化および植物成長にとって不可欠なリンやモリブデンの有効性を低下させる。スプリングクラーク灌漑は、植物・設備・建物に見苦しい鉄の付着を引き起こす可能性がある。 |
| Pb | 鉛 | 5.0 | 0.1 | 0.25 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.01 | 高濃度で植物細胞の成長を阻害する。 |
| Li | リチウム | 2.5 | 2.5 | 6.25 | | | | | | 5mg/Lまでは多くの作物には耐性がある。柑橘類へは低濃度(>0.075mg/L)で毒性を示し、ホウ素に似た作用をする。 |
| Mn | マンガン | 0.20 | 0.2 | 0.5 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | <0.1 | 一般的に酸性土壌で、0.2~0.3mg/Lから数mg/Lの濃度で多くの作物に毒性を示す。 |
| Hg | 水銀 | — | 0.002 | 0.005 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.0005 | |
| Mo | モリブデン | 0.01 | 0.01 | 0.025 | | | | | | 土壌および水中の通常の濃度では植物に害はない。高濃度のモリブデンを含む土壌で飼料が栽培された場合、家畜に害を及ぼす可能性がある。 |
| Ni | ニッケル | 0.20 | 0.2 | 0.5 | | | | | | 0.5~1.0mg/L(栄養溶液中)の濃度で多くの植物に毒性を示す。中性またはアルカリpH条件下で毒性は低下する。 |
| Se | セレン | 0.02 | 0.02 | 0.05 | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.01 | 0.025mg/L程度の低濃度で植物に毒性を示し、セレンが比較的高い濃度に添加された土壌で飼料が栽培された場合、家畜にも毒性がある。動物には必須元素であるが、非常に低濃度である。 |
| V | バナジウム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | | | | | | 比較的低濃度で多くの植物に毒性を示す。 |
| Zn | 亜鉛 | 2.0 | 2 | 5 | N.D. | N.D. | N.D. | 0.05 | <0.1 | 幅広い濃度で多くの植物に毒性を示す。pH6以上および細粒土壌または有機土壌では毒性は低下する。 |
| As | ヒ素 | 0.10 | — | — | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. | <0.01 | 植物への毒性は、スーダングラス12mg/Lから米0.05mg/Lの範囲で大きく異なる。 |
| Sn | スズ | — | — | — | | | | | | 植物によって効率的に除去される。特有の耐性は知られていない。 |
| Ti | チタン | — | — | — | | | | | | スズを参照。 |
| W | タンガステン | — | — | — | | | | | | スズを参照。 |

N.D.: 不検出または検出限界未満

※1出典:[26]Water quality for agriculture(1994), Table 21

※2出典:[11]ISO 16075-1(2015), TableB.6 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。 注意:ISOガイドラインの値はFAO(1994)を参照し、イスラエルの灌漑から導き出されイスラエルの規則に適合したもの。

※3出典:[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※4出典:[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

1-6. 農作物と灌漑手法に応じた下水処理水の水質の考え方

(1)ISOガイドラインでのバリア点数

ISOガイドラインでは、下水処理水の区分や農作物の種類に応じて、下水処理水を灌漑利用する場合に、対策なしで行える範囲と、対策が必要な場合のバリア点数を提案している。

下水処理水を畑地灌漑に再利用する計画では、下水処理水の区分と農作物の種類より、対策(バリア)なしで行える範囲と、対策(バリア)が必要な場合のバリア点数を明確にする必要がある。

【解説】

ISOガイドラインでは、下水処理水の種類(カテゴリA～E、表1-6-3)や、農作物の種類(表1-4-3)に応じて、下水処理水を灌漑利用する場合に対策なし(バリア点数=0)で行える範囲と、対策が必要な場合のバリア点数を下表のとおり提案している。

カテゴリAの下水処理水は生食用作物(分類Ⅰ)以下に、カテゴリBは加工用作物(分類ⅡとⅢ)以下に、カテゴリCは非食用作物(分類ⅣとⅤ)に、対策なし(バリア点数=0)で、農業灌漑用水として使用が可能としている(表1-6-1)。

ただし、下表中での「使用禁止」とは、どのような対策を施しても、灌漑利用はできないことを意味している。

それにくわえて、生食用作物に農業灌漑利用する場合には、カテゴリAでも下水処理水は、「消毒」したものを使用することが必要である。

表1-6-1 ISOガイドラインでの下水処理水の区分と灌漑対象に応じて必要となるバリア点数

| 下水処理水の種類 | カテゴリ | 灌漑の対象 | | | | | | |
|----------------------|------|--------------------------|------------------------|----------------------------|--|---|--------------------------------|---------------------------------------|
| | | 個人庭園 や立入制限のない 景観植物 | 公園や立 入制限のある景観 植物 | 生食用野 菜(Ⅰ) ^{※1} | 調理して 食べる野菜と牧草 地(Ⅱ) ^{※1} | 野菜以外 の食用作物(果樹 やブドウ)と園芸(工 芸)作物(Ⅲ) ^{※1} | 飼料作物 や種用作物(Ⅳ) ^{※1} | 工業作物 やエネルギー作物 (Ⅴ) ^{※1} |
| とても高い水質の 下水処理水 | A | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 高い水質の 下水処理水 | B | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 良質な水質の 下水処理水 | C | 使用禁止 | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| 中程度の水質の 下水処理水 | D | 使用禁止 | 2 | 使用禁止 | 使用禁止 | 3 | 1 | 0 |
| どこにでもある一般的な 下水処理水 | E | 使用禁止 | 2 | 使用禁止 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| 生下水 | — | 使用禁止 | 使用禁止 | 使用禁止 | 使用禁止 | 使用禁止 | 使用禁止 | 使用禁止 |

出典:[12]ISO 16075-2(2015)、Table3 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

注意:ISOガイドラインは、[32]WHO(2006)と[31]U.S.EPA(2012)を踏まえて設定。

※1:農作物分類(表1-4-3)

たとえば、カテゴリCの下水処理水を農業灌漑利用するためには、表1-6-1から、生食用野菜(分類Ⅰ)にはバリア数3が、調理して食べる野菜(分類Ⅱ)にはバリア数2が、必要とされている。

食用作物に対するバリアには、バリア点数1～2の病原体の死滅(収穫前に灌漑を中断する)や、バリア点数1の販売前の洗浄(飲料水で洗浄する)等があり、これらを組み合わせると必要なバリア数をクリアすることができる(表1-6-4)。

(2)ISOガイドラインでの下水処理水の水質区分

ISO ガイドラインでは、灌漑利用する下水処理水の水質と処理方法によって、カテゴリA～Eの5種類に区分している。カテゴリに区分された下水処理水は、農作物によって必要となるバリア点数が付けられており、バリア点数に見合うバリア(対策)の種類を組み合わせることで、リスクに対する対応の検討ができる。

沖縄県における下水処理水は、標準的な水質であれば、ISO ガイドラインにおけるカテゴリCの「良好な水質の下水処理水」以上に区分される。

【解説】

下水処理水は、処理方式によって水質は異なるが、維持管理の状態によっても大きく左右される。そのため、良好な水質を確保するには、適切な維持管理の実践が必要である。下水処理水を畑地灌漑利用する下水処理施設においては、適切な維持管理を実施し、より良好な処理水質を、目指すことが重要である。

ISO ガイドラインでは、灌漑利用する下水処理水を、カテゴリA～Eの5種類に区分している。指標として用いられる水質項目は、BOD・TSS・濁度・糞便性大腸菌群・腸内線虫の5項目であり、各カテゴリの水質は、表1-6-3に示すとおりである。

なお、ISO ガイドラインの指標として用いられる水質項目は、下水処理場の処理水質であり、「再生水」の処理基準ではないことに注意すべきである。

ISOガイドラインの下水処理水の指標に用いている5つの水質項目のうち、沖縄県における下水処理場で通常分析している水質項目は、BOD とSS の2項目である。

BOD とSS および糞便性大腸菌群(=大腸菌群数/10(1桁分)で求めた換算値、図1-6-1)について、沖縄県の代表的な下水処理場の放流水の水質(表1-6-2)を、表1-6-3のカテゴリにあてはめると、流域下水道の4処理場は、カテゴリAの「とても高い水質の下水処理水」に位置付けられる。

公共下水道の「糸満市浄化センター」は、糞便性大腸菌群が高いため(表1-6-2)、カテゴリDの「中程度の水質の下水処理水」に位置付けられる(表1-6-3)。

「対応する下水処理方法」で判定すると(表1-6-3)、流域下水道と公共下水道の5処理場は、2次処理と消毒を行っていることより、カテゴリCの「良好な水質の下水処理水」に位置付けられる。

表1-6-2 放流水水質基準と沖縄県の代表的な下水処理場の放流水水質測定結果

| 水質項目 | | 流域下水道 ^{※1} | | | | 公共下水道 ^{※2} | 放流水の水質基準 ^{※1} |
|------------------------------------|----|---------------------|-----------|-----------|----------|---------------------|------------------------|
| | | 那覇浄化センター | 宜野湾浄化センター | 具志川浄化センター | 西原浄化センター | 糸満市浄化センター | |
| BOD (mg/L) | 平均 | 2.7 | 5.35 | 2.1 | 2.1 | 2.5 | — |
| | 最大 | 4.1 | 9.9 | 2.9 | 2.8 | 13.7 | 15 |
| SS (mg/L) | 平均 | 1.0 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 2.1 | — |
| | 最大 | 2.0 | 4.0 | 3.0 | 2.0 | 6.5 | 40 |
| 濁度 ^{※3} (NTU) | 平均 | — | — | — | — | 5.2 | — |
| | 最大 | — | — | — | — | 11.2 | — |
| 大腸菌群数 (個/100mL) | 平均 | 100 | 0 | 0 | 0 | 24,500 | — |
| | 最大 | 300 | 100 | 100 | 100 | 288,000 | 300,000 |
| 糞便性大腸菌群 ^{※4} (個/100mL) | 平均 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2,450 | — |
| | 最大 | 30 | 10 | 10 | 10 | 28,800 | 30,000 |
| 下水処理方法 | | 放流水＝二次処理水＋塩素消毒 | | | | | — |

※1出典：[18]沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度)

※2出典：[19]糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成27年度)

※3出典：[9]B-DASHプロジェクト下水処理水の再生処理システムに関する実証研究(2017), CRESTプラント二次処理水測定結果(2014/11/13, 2015/1/19～2015/2/17)

※4換算値参考：[33]水系微生物汚染の健康へのリスク評価と制御手法(1993), 図1-6-1参照

表1-6-3 ISOガイドラインにおける指標に対する下水処理水の品質と対応する下水処理方法

| カテゴリー | 下水処理水の品質 | BOD ^{b), j)} (mg/L) | | 浮遊物質 (TSS) (mg/L) | | 濁度 ^{c)} (NTU) | | 糞便性大腸菌群 ^{d)} (個/100mL) | | | 腸内線虫 ^{e), i)} (卵数/L) | | バリアなしに 使用できる範囲 | 対応する 下水処理方法 |
|-------|---------------------------------|---------------------------------|-----|----------------------|-----|---------------------------|----|------------------------------------|-----------------------------|-------|----------------------------------|--|---|--|
| | | 平均 | 最大 | 平均 | 最大 | 平均 | 最大 | 95%ile | 最大 | 平均 | 最大 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| A | とても高い水質の 下水処理水 ^{d)} | ≤5 | 10 | ≤5 | 10 | ≤2 | 5 | ≤10 | 100 (または 検出限界 値以下) | - | - | 使用制限のない都市灌漑 ^{j)} と生食用作物の農業灌漑 | 2次処理 ^{f)} 、接触ろ過 ^{g)} と消毒 ^{h)} あるいは膜ろ過 ^{e)} と消毒 ^{h)} | |
| B | 高い水質の 下水処理水 ^{d)} | ≤10 | 20 | ≤10 | 25 | - | - | ≤200 | | 1,000 | - | - | 使用制限のある都市灌漑と 加工用作物への農業灌漑 | 2次処理 ^{f)} 、ろ過 ^{e)} と消毒 ^{h)} |
| C | 良質な水質の 下水処理水 | ≤20 | 35 | ≤30 | 50 | - | - | ≤1, 000 | 10,000 | ≤1 | - | 非食用作物の農業灌漑 | 2次処理 ^{f)} と消毒 ^{h)} | |
| D | 中程度の水質の 下水処理水 | ≤60 | 100 | ≤90 | 140 | - | - | - | - | ≤1 | 5 | 使用制限のある工業作物と 種用作物への農業灌漑 | 2次処理 ^{f)} あるいは 高速砂ろ過 ⁱ⁾ | |
| E | どこにでもある一般的な 下水処理水 | ≤20 | 35 | - | - | - | - | - | - | ≤1 | 5 | 非食用作物の農業灌漑 | 安定池とウェットランド ^{j)} | |

注: それぞれの下水処理水において、より高度な水質の下水処理水の利用は可能である。

a): 推奨された制限は、国際規制、例えばWHO(2006)[32]およびU.S.EPA(2012)[31]に基づいて詳述されている。また、処理施設の出口で採取した水に適用される。開放型貯水池で貯蔵し、散水あるいは局所的な灌漑に利用するには、ろ過の追加が必要になることがある。サンプリング頻度と平均値の計算は、ISOガイドライン第4部[14]に示されている。

b): BODは5日間の試験で判断される。

c): 濁度の連続測定は、実施可能である。平均値は、24時間に基づくべきである。浮遊物質を濁度の代わりに使用する場合は、平均TSSは5mg/Lを超えてはいけない。膜ろ過(孔径0.45 μm以下の膜によるろ過)を利用した処理では、濁度が0.2NTUを超えるべきではない。

d): 「高い水質」と「とても高い水質」の下水処理水では、残留塩素濃度0.2～1mg/Lで接触時間30分後に測定する必要がある。他の方法で殺菌する場合は、その殺菌状態を監視する必要がある。

e): 未処置の下水中の寄生虫卵の数が、常に10卵/L未満であることが示されれば、腸内線虫類(寄生虫卵)を定期的に監視しなくてもいい場合がある。

f): 2次処理は、活性汚泥法、散水ろ過法、回転生物接触法(回転円板法)、生物膜法、生物反応槽、回分式活性汚泥法などを含む。

g): ろ過は、マイクロスクリーニング、カートリッジろ過、高速砂ろ過、2層ろ過、ろ布、化学薬品の添加有無に関係ないディスタキフィルター(接触ろ過)、ならびに膜プロセスおよび膜分離活性汚泥法(MBR)を含む。

h): 消毒は、UV照射、オゾン処理、塩素、または他の化学物質、物理化学、または膜プロセスを含む。

i): 高速沈殿法は、凝結、凝集と傾斜板式(ラメラセッティング)を含む。

j): うまく設計された安定化池システムは、追加の消毒を要せずに大腸菌群の規制値を満たすことができる。溶解性BOD値が考慮されている。

k): 物理化学的指標(BOD, TSS)は、CODを追加ができる地域では、下水処理の規制に応じた指標の調整ができる。

l): エアロゾル化(微粒子)の危険性があるときは、レジオネラ属菌はハウスにおいて、1,000CFU/L未満でなければならない。

備考: ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している

出典: [12]ISO 16075-2(2015), Table I を編集

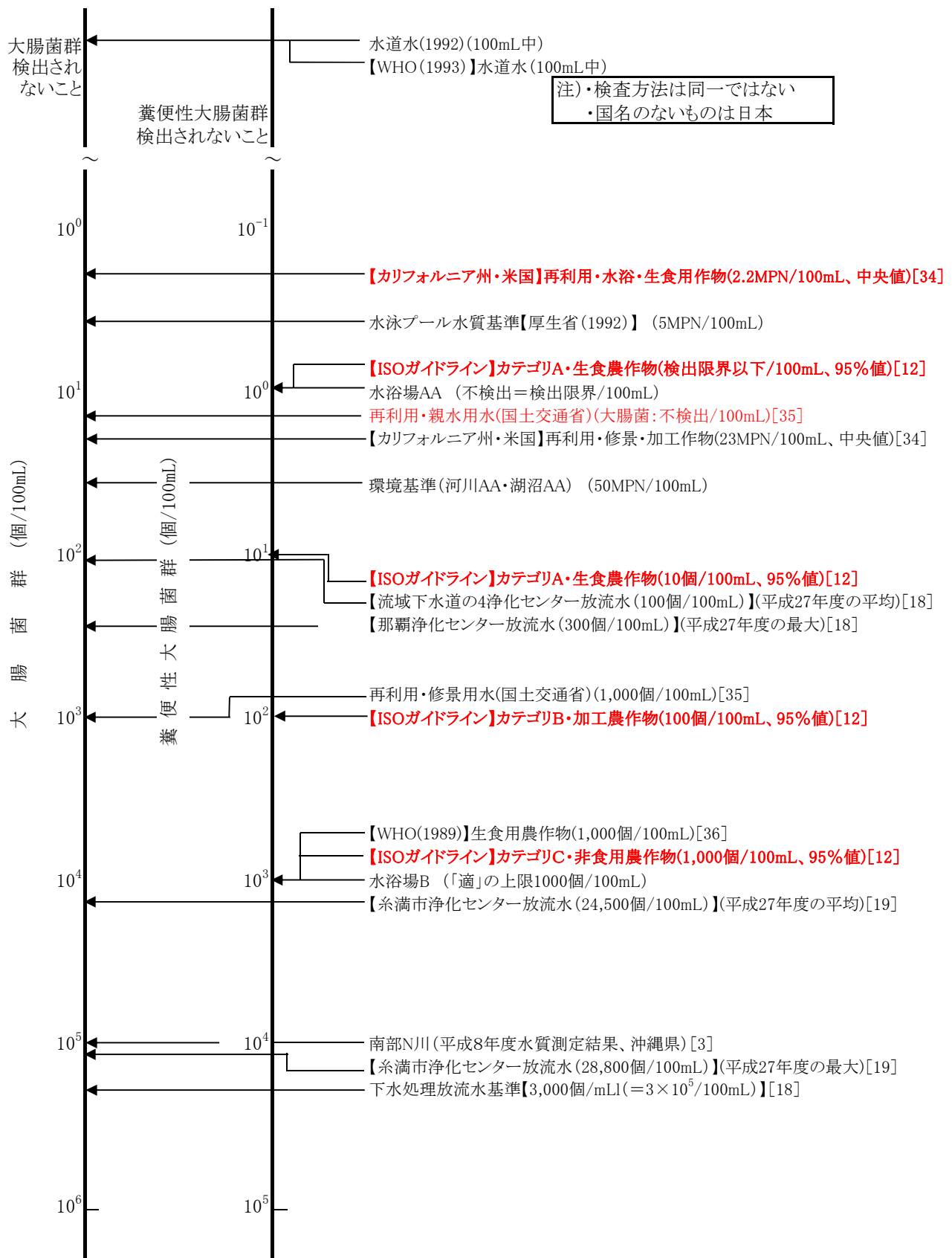


図1-6-1 ISOガイドライン[12]と各基準との大腸菌群基準との関係

注: 図中の大腸菌群軸と糞便性大腸菌群軸は1桁分(1log分)ずらして、両指標を比較できるようにしてある。対象水によっては、この相互関係は異なることに注意する。

参考: [33] 水系微生物汚染の健康へのリスク評価と制御手法(1993)

(3)ISOガイドラインのバリアの種類

ISO ガイドラインでは、灌漑する農作物によって、バリア(対策)の種類が設けられており、バリア(対策)の種類ごとにバリア点数が設定されている。

下水処理水の畑地灌漑への再利用計画で、対策(バリア)が必要な場合には、地域全体で具体的に継続して行える対策(バリア)であるのかを判断して、下水処理水の水質を再検討する必要がある。

【解説】

ISO ガイドラインでは、灌漑利用する下水処理水の水質(カテゴリ)や灌漑手法および農作物に応じたリスクを評価し、リスクの程度を必要なバリア点数で表現している。

バリアとは、リスクを削減する対策であり、ISOガイドラインでは、バリア(対策)の種類によってバリア点数が付けられている。

下表は、ISO ガイドラインに記載されている、人の健康の保護の対策として、使用できるバリアの種類とバリア点数の案である。

表1-6-4 ISOガイドラインのバリア種類とバリア点数 (WHO(2006)とU.S.EPA(2012)を踏まえて)

| バリアの種類 | 適用方法 | 病原性物質 除去効果 (log単位) | バリア点数 |
|--------------|--|--------------------------|-------------------|
| 食用作物の灌漑 | | | |
| 点滴灌漑 | 丈の低い作物(地上丈>25cm)へのドリップ灌漑 | 2 | 1 |
| | 丈の低い作物(地上丈>50cm)へのドリップ灌漑 | 4 | 2 |
| | 毛管現象で地表に水が到達しない深さでの地下ドリップ | 6 | 3 |
| 散水灌漑 | 噴出水流口から25cm以上成長する低成長作物のスプリンクラーおよびマイクロスプリンクラー灌漑 | 2 | 1 |
| | 噴出水流口から50cm以上成長する果樹のスプリンクラーおよびマイクロスプリンクラー灌漑 | 4 | 2 |
| ほ場で追加する消毒 | 低水準の消毒 | 2 | 1 |
| | 高水準の消毒 | 4 | 2 |
| 遮光カバーシート | 点滴灌漑において、遮光カバーシートで灌漑水が可食部に触れないようにする | 2~4 | 1 |
| 病原体の死滅 | 収穫前に灌漑を休止あるいは中断し、病原体を死滅させる | 0.5~2/day ^{a)} | 1~2 ^{a)} |
| 販売前の洗浄 | 飲料水でサラダ用の作物、野菜、および果物を洗浄 | 1 | 1 |
| 販売前の消毒 | 弱い消毒液でサラダ用の作物、野菜、および果物を洗浄し飲料水ですすぐ | 1 | 1 |
| 皮むき | 果物や根菜類の皮をむく | 2 | 1 |
| 調理 | 沸騰水あるいは高温水で農作物を加熱(茹でる)調理する | 6~7 | 3 |
| 飼料作物と種用作物の灌漑 | | | |
| 立入制限 | 灌漑後から24時間以上は、家畜や農業者のほ場への出入りを避ける | 0.5~2 | 1 |
| | 灌漑5日以上は、ほ場への出入りを避ける | 2~4 | 2 |
| 飼料作物の天日乾燥 | 消費前に収穫した飼料を天日乾燥させる | 2~4 | 2 |
| 公園の灌漑 | | | |
| 立入制限 | 人が出入りしない夜間に灌漑する | 0.5~1 | 1 |
| 散水灌漑の管理 | 居住地区や人が立ち入る場所から70m以上離れて散水灌漑する | 1 | 1 |

出典:[12]ISO 16075-2(2015), Table2 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している

注: 下水処理水の消毒としては、精密ろ過膜(MF)、限外ろ過膜(UF)またはナノ膜(NF)のような膜フィルターで下水処理水をろ過することでの病原体の駆除や除去を含む。

a): 作物と気象条件による。

1-7. 下水処理水を利用する畑地灌漑施設の留意事項

(1) 畑地灌漑施設の構成と留意点

下水処理水を畑地灌漑利用する場合の施設構成は、一般的な畑地灌漑施設と同じであり、水源である下水処理場を含めた送水施設と、配水施設および末端灌漑施設などからなる。

下水処理水を畑地灌漑利用する場合の「畑地灌漑システムの選定」にあたっては、特に「公衆衛生(人の健康)」が、保護されるような特別な注意が必要である。その他の留意点としては、「目詰まり防止」がある。

【解説】

畑地灌漑計画では、受益地区の気象・土壌・作物の特性等を十分把握した上で、営農および用水利用の展開方向などの変動要因を総合的に検討して、施設計画を作成する必要がある。

畑作物の根は一般に浅く、干天が続けば、比較的早い時期に干ばつ被害を受ける。そのため、降雨の有効利用を図りながら、不足する土壌水分量を補給する補給的な灌漑が、一般的な沖縄県の畑地灌漑である。

下水処理水を畑地灌漑に利用する場合、水源である下水処理場とは場との位置関係や、地形条件および農作物と灌漑手法などによって、施設の構成が変わる。ただし、基本的な施設構成は、一般的な畑地灌漑施設と同じである。

下水処理水を畑地灌漑利用する施設構成は、基本的に、送水施設(水源:下水処理施設・貯水池・調整池・ポンプ施設・送水路)と、配水施設(ファームポンド・配水路)および末端灌漑施設(弁類・給水栓・灌漑器材)などからなる(図1-7-1)。

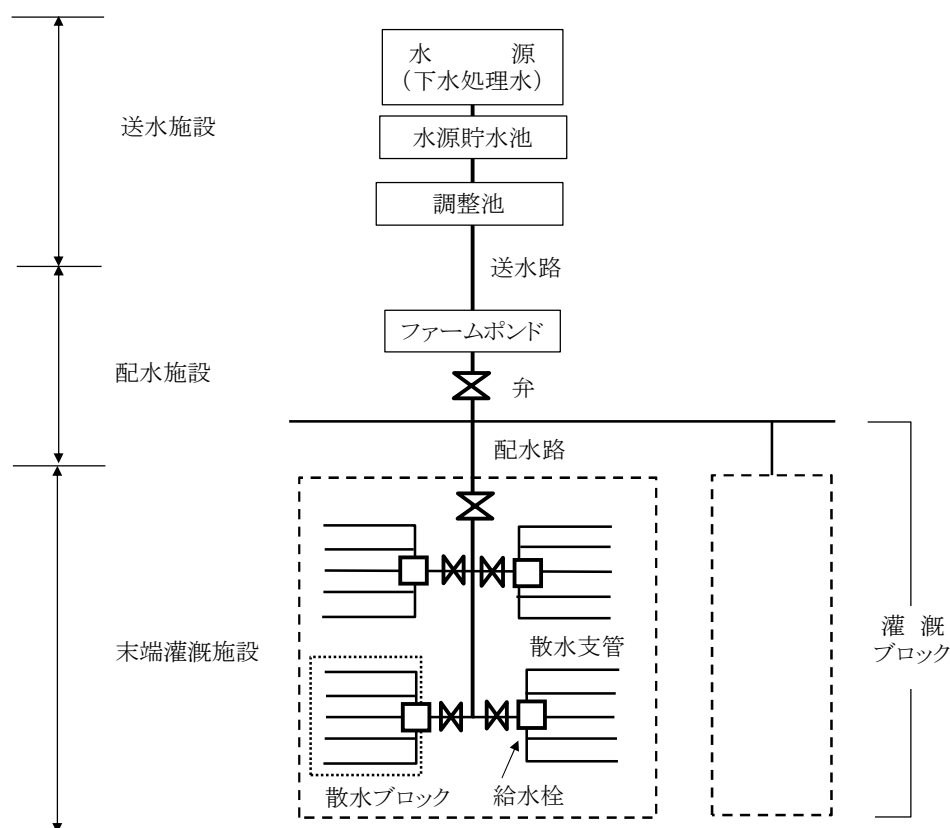


図1-7-1 畑地灌漑の施設構成の例

参考:[37]土地改良事業計画設計基準及び運用・解説計画「農業用水(畑)」(2015)

下水処理水の畑地灌漑利用計画では、次の内容について検討する必要があるが、検討の優先順位は、事業や現場の状況によって変化することに留意する。

- ・下水処理プロセスの選定と下水処理水の量および質の評価
- ・畑地灌漑システムの選定
- ・リーチング必要量の推定
- ・水供給量の推定
- ・必要農地面積
- ・排水システム
- ・貯留システム
- ・灌漑計画
- ・運転と管理

なかでも、下水処理水による畑地灌漑の実現可能性に影響を与えるのは、「畑地灌漑システムの選定」における下水処理施設とほ場との位置関係、およびポンプ場・配水管・貯水槽などの必要性についての検討である。

それにくわえて、畑地灌漑用に下水処理水を、再処理した「再生水」を供給する施設を計画する場合には、「再生水」の送水に必要な施設を小さくする施設配置の検討が大切であり、水単価の低減にもなる。

下水処理水を畑地灌漑利用する場合の「畑地灌漑システムの選定」にあたっては、特に、「公衆衛生(人の健康)」が保護されるような特別の注意が必要である。その他の留意点としては、「目詰まり防止」がある。

①公衆衛生(人の健康)の保護

「畑地灌漑システムの選定」は、下水処理水の人への曝露可能性に大いに影響する。ISOガイドラインでは、下水処理水の水質や農作物の種類に応じて、灌漑方法を提案している。

ガイドラインでは、さらに灌漑のタイミングや公共の場からの後退距離の要件も、農業者や周辺住民の下水処理水曝露を、最小限にするように定められている。

散水灌漑システムによるエアロゾルや、作物上の残留灌漑水は、農業者や周辺住民への潜在的なリスクを高めるので、公衆衛生の立場からは、人への曝露がほとんど無視できる点滴灌漑が適している。

②目詰まり防止

下水処理水中の浮遊物質(SS)は、大部分が生物フロックであり、その固形物濃度は、ほとんどの灌漑システムにとって十分に低い。

しかし、点滴灌漑システムのように流速が小さいシステムでは、生物膜の生成や化学沈殿で、目詰まりしやすい傾向にある。

灌漑システムの目詰まり防止方法には、水質モニタリング・適切なエミッタ選定・流速管理・ろ過・定期的な塩素処理と洗浄による灌漑システムの管理などがあり、計画地区に適した方法を検討しておく必要がある。

ISOガイドライン第3部[13]には、点滴灌漑などの目詰まり防止として、薬品(塩素・酸・過酸化水素)による方法等を紹介しているので、必要に応じて参考とする。

下水処理場は、汚水を処理するため、一般的には地域の下流域に設置される場合が多い。そのため、下水処理場から発生した処理水を、計画地区の農地に送水するには、ポンプによる圧送が必要となる場合が多い。

- ・自然落差を利用できる場合：
 - 自然流下式
 - 自然圧式
- ・ポンプ揚水を必要とする場合：
 - 配水槽式
 - 圧力槽式
 - ポンプ直送式

下水処理水を畑地灌漑利用する場合の施設構成としては、次図に示す6パターンに大きく分類されると考えられる。なお、施設の構成や配置は、機能性・経済性・安全性を考慮して、灌漑規模や地形条件などに応じて計画する。

- ・タイプⅠ：水源(下水処理場)→(自然圧)→散水ブロック
- ・タイプⅡ：水源(下水処理場)→(自然流下)→ファームポンド→(自然圧)→散水ブロック
- ・タイプⅢ：水源(下水処理場)→揚水ポンプ→ファームポンド→(自然圧)→散水ブロック
- ・タイプⅣ：水源(下水処理場)→揚水ポンプ→ファームポンド→加圧ポンプ→圧力タンク→散水ブロック
- ・タイプⅤ：水源(下水処理場)→(自然流下)→ファームポンド→加圧ポンプ→圧力タンク→散水ブロック
- ・タイプⅥ：水源(下水処理場)→加圧ポンプ→圧力タンク→散水ブロック

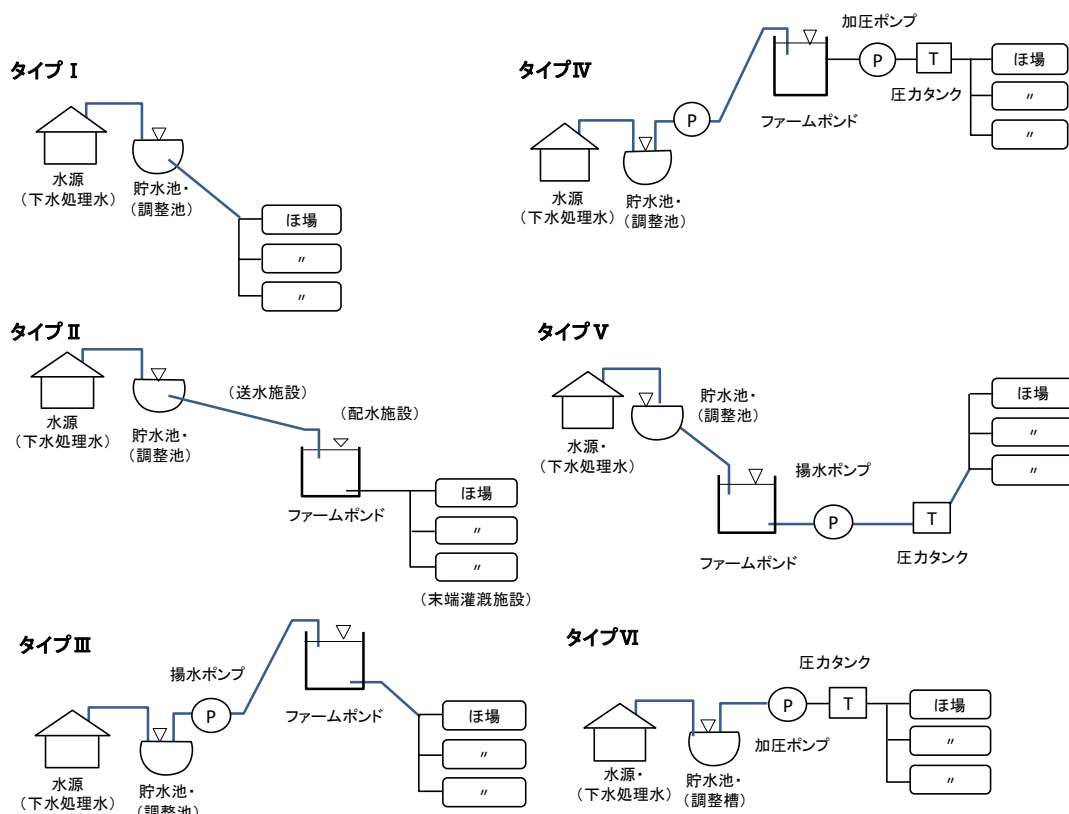


図1-7-2 畑地灌漑の施設と配置の例

(2)貯留施設

下水処理水の貯留施設の形式や構造は、施設の機能、農作物や受益面積による規模や、施設の位置などの地形条件によって選定される。

ただし、下水処理水は貯留期間に、生物学的や物理的および化学的な変化を受けることから、貯留施設の形式や構造を検討するにあたっては、貯留による影響についても、検討する必要がある。

【解説】

下水処理水の貯留施設は、その機能によって、水源貯水池・調整池・ファームポンド・配水槽に区分される。

貯留施設は、構造的にオープン形式(開放型)とクローズ形式(閉鎖型)に、また時間的に短期貯留(数日以内)と長期貯留に分類される。

沖縄県では、畑地帯集水利用の灌漑施設では、雨水を集水することからオープン形式が採用され、地下ダムは地下に灌漑水を貯留するクローズ形式である。

水源貯水池：必要な水量を充足し得る有効貯水量を、確保するための貯留施設。

調整池：用水の供給変動等に対応し、数日程度の流量調整ができるように設けられる貯留施設。

ファームポンド：一日以内の用水の需給関係を調整するように、設けられる貯留施設。

配水槽：ポンプの運転時間および停止時間の送配水調整を、行うための貯留施設。

①オープン形式(開放型)

クローズ形式に比べて安価であり、大規模な施設の建設に適している。

一方で、落ち葉や種子、土砂等の混入による水質の悪化、藻類の発生、水質変化など、外的な影響を受けやすいため、細かな維持管理が必要である。だが、目視による監視が可能であるので、維持管理作業は容易に実施できる。

下水処理水の水質によるが、長期間貯留した場合、生物膜の形成と生物付着により、定期的な清掃が必要となる。

オープン形式の場合、維持管理作業の頻度が高くなることから、処理場と一体的に管理する方が有利である。

また、雨水の活用が可能であることから、水不足の地域に有利であるが、一方で、雨水による希釈で、栄養塩類(窒素・リン)や残留塩素が減少しやすい形式といえる。

②クローズ形式(閉鎖型)

外的影響を受けづらいため、安定的な貯水が可能であり、維持管理頻度が少なくすむメリットが考えられる。ただし、オープン形式に比べ、建設コストが高い。

クローズ形式の利点としては、蒸発しない・藻類発生が低い・臭気が少ない・人や動物の接触がない・降雨の影響を受けないなどである。

欠点としては、目視による監視が困難であるので、底部に堆積した土砂や汚泥の撤去・排出作業を、考慮した構造とすることが必要である。

貯留施設を処理場から離れた位置に設置する計画で、頻度の高いモニタリングが困難な場合には、クローズ形式が有利である。

下水処理水は、排水基準や条例等の各種基準に基づいた水ではあるが、下水処理水を貯留した場合、微生物(藻類等)の増殖や生物膜の形成、浮遊物質(SS)や底泥の増加、pHの変動、栄養塩類(特に窒素)や溶存酸素(DO)および残留塩素の減少など、生物学的および物理・化学的な水質変化の影響を受けることが考えられる。

特に、温暖で降雨量が多い沖縄県では、オープン形式の施設に貯留された下水処理水の水質は、いろいろな影響を受ける。このため、貯留施設の形式や構造の決定にあたっては、施設の機能・規模・位置条件、貯留時間による下水処理水の水質変化、および維持管理体制などを、考慮し検討する必要がある。

ゆえに、下水処理水と地表水などの他水源と併せて貯留する場合には、オープン形式が考えられ、下水処理水のみを水源とする場合には、小規模で済むクローズ形式が考えられ

下水処理水の畑地灌漑利用では、ISOガイドラインのオープン形式とクローズ形式の貯留施設における問題点と管理方法内容(表1-7-1, 2)を、参考にして施設を計画する。

表1-7-1 オープン形式施設に下水処理水を貯留した場合の問題点と管理方法

| 問題点 | 管理方法 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 水温成層 低溶存酸素(貧酸素水塊) 臭気(悪臭)の発生 底泥 | <ul style="list-style-type: none"> 曝気設備の設置。(水中あるいは表面の攪拌機または再循環ポンプ) 高い酸素濃度の維持により、リンが水に溶解込むことを防止し、リンを底泥に保持。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 藻類と動物プランクトンの過剰な成長(リン利用の低減) | <ul style="list-style-type: none"> 堆積した底泥の定期的な浚渫^{a)}。 太陽光によって引き起こされる有機物の光酸化を改善するための下水の適切な混合。 殺藻剤の添加。(硫酸銅は、銅の毒性のため使用禁止、過剰投与は生態系に悪影響) 藻類と動物性プランクトンを食べる魚の保守管理と藻類の成長だけでなく、太陽光を低減する化学染料の添加。 動物性プランクトンの生態系操作。(浅い場所で) 超音波放射器の設置。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 浮遊物質(SS)の高含有 微生物の再増殖 | <ul style="list-style-type: none"> 浮遊物質の除去に影響する粒径および滞在時間を、設計時に考慮。 残留塩素(消毒剤)を増加。 滞留時間の減少。 貯留品質と設備の改善。 パイプライン問題部分の分離と消毒。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 昆虫(蚊など)の増加 | <ul style="list-style-type: none"> 適切な殺虫剤の散布。 機械的方法、水による流れの維持。 生物学的駆除。(魚の利用など) 施設の手入れ。 |

a): 貯水施設の表面積と深さを考慮

出典:[13]ISO 16075-3(2015), Table1を編集 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

表1-7-2 クローズ形式施設に下水処理水を貯留した場合の問題点と管理方法

| 問題点 | 管理方法 |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> 下水処理水の停滞 | <ul style="list-style-type: none"> 下水処理水の再循環。(下水処理水の汲み上げと水再循環を促進する入口と出口の配管構成) 高い酸素濃度の維持により、リンが水に溶解込むことを防止し、リンを底泥に保持。 |
| <ul style="list-style-type: none"> 低溶存酸素(貧酸素水塊) 臭気(悪臭)の発生 | <ul style="list-style-type: none"> ばっ気。(ばっ気装置) |
| <ul style="list-style-type: none"> 残留塩素(消毒剤)の損失 微生物の再増殖 | <ul style="list-style-type: none"> 施設の適切な管理。 |

出典:[13]ISO 16075-3(2015), Table2を編集 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。



写真1-7-1 モントレー郡の貯水池(野生生物の侵入対策を実施)
(オープン形式)



写真1-7-2 シンガポールの再生水貯留タンク
(クローズ形式)

(3)ポンプ施設および用水路

下水処理水を畑地灌漑利用する場合、ポンプによる圧送を伴うため、用水路はパイプラインとなるのが一般的である。

ただし、ポンプ設備の設置については、ポンプの稼働に支障になるものを引き込まないよう、設置高さなどに留意する必要がある。

【解説】

下水処理場は、処理区域の汚水进行处理するため一般的には地域の下流域に設置されることが多い。このため、下水処理水を畑地灌漑利用する場合、ポンプによる圧送を伴うため、用水路はパイプラインとなるのが一般的である。

下水処理水は、汚水と異なり特別な負荷がかかるものではないため、貯留施設による性状変化がなければ、ポンプおよびパイプラインの施設や材質自体は、一般的な畑地灌漑施設で利用するものと同様のものが、活用できると考えられる。

ただし、貯留施設からの圧送においては、沈殿した汚泥など、一般的なポンプの稼働に支障となるものを引き込まないよう、設置高さなどに留意する必要がある。

(4)末端灌漑施設

末端灌漑施設は、多様な灌漑手法により区分されるが、下水処理水を畑地灌漑利用するにあたっては、その利用は可能である。
 畑地灌漑利用にあたっては、目詰まり対策など、下水処理水の水質に応じた管理を行うことが必要である。

【解説】

末端灌漑施設は、多様な灌漑手法により区分されている(表1-7-3)。これらの末端灌漑手法は、下水処理水を畑地灌漑利用するにあたっては利用が可能である。

点滴灌漑は、ISOガイドラインにおいてバリア(対策)の種類の一つになっており、適用方法によりパイア点数は1～3となっている(表1-6-4)。

点滴灌漑や地下灌漑は、下水処理水をより安全に畑地灌漑に利用する手法として、推奨できる方法といえる。

表1-7-3 灌漑の区分と方法

| 区分 | 灌漑方法 |
|---|--|
| 散水灌漑 スプリンクラーにより圧力水を噴射させ、降雨状または噴霧状にして灌漑する方法。様々な地形条件や土壌に適用できるが、散水量の分布は風の影響を強く受ける。 | スプリンクラー法 比較的広い範囲に降雨状の散水をする。 ミスト法 施設内で特殊なノズルを用い噴霧水として散布する。 |
| 定置パイプ灌漑 ほ場に設置したパイプ類に設けた小孔より散水または滴下にけた小孔より散水または滴下によって灌漑する方法。 | 点滴法 ほ場に設置されたパイプ内の水圧を、ドリップ・エミッター(末端の減圧装置)という特殊なノズルや配水管やチューブ、弁等からなる流路で低下させ、作物水管やチューブ、弁等からなる流路で低下させ、作物の根元周辺に連続的に灌漑水を滴下させる方式。正確に流量が設定できるので、乾燥地での節水や土壌への塩類集積を防ぐ方法として注目されている。定置パイプ灌漑の点滴型である。 多孔管法 パイプにあけた多数の孔から比較的低圧水で散水する。孔はパイプと一体となって構成されている。 |
| 地下灌漑 用水路と暗渠上流部を接続し灌漑用水を通水することで、地下水位を上昇させ、根群を灌漑する方法。 | 地下法 暗渠または明渠を用いて、側方または下方から毛管作用により根群域を灌漑する方法。 地中法 地表下5～20cmに敷設した小口径の多孔管から浸潤させ、毛管作用により根群域を直接灌漑する方法。 |
| 地表灌漑 地表面を流水または湛水によって灌漑する方法。均等な水分布を与えるために、ほ場を一定勾配あるいは平坦に整地する。 | 畝間法 作物を植えている畦と畦の間に通水する方法として灌漑する畦間法。 ボーダー法 土を盛って区画の境界を設けた低い畦畔で区切った帯状の区画に薄層流で全面越流させる方法。 コンターディッチ法 等高線に沿って設けた溝から取水し、下方斜面に越流して灌漑する方法。 水盤包囲 畦畔で囲まれた平坦な小区画の中に湛水する方法。 |

参考:[37]土地改良事業計画設計基準及び運用・解説計画「農業用水(畑)」(2015)

ISO ガイドラインでは、下水処理水を畑地灌漑利用するにあたり、末端灌漑施設の目詰まりや、施設の腐食について指摘しており、下水処理水の水質に応じた管理を行うことが必要である。

具体的にISO ガイドラインでは、下水処理水を畑地灌漑利用するにあたり、点滴灌漑システムの見詰まりについて、下水処理水の水質に応じた管理手法を提案している(表1-7-4)。

下水処理水の水質を3グレード(良・中・低)にわけ、それぞれが表中の3項目(見詰まりしやすさ指標(CP)・pH・酸化還元電位(ORP))のどの範囲の値となるかを示している。

なお、この水質グレードは、前述した水質のカテゴリ(表1-6-3)とは、異なることに注意する。

表1-7-4 CP、pH、ORPにおける水質グレードの定義(ISOガイドライン)

| 水質グレード ^{a)} | 指標 | | |
|----------------------|-----------------------------------|---------|---------------------------|
| | 見詰まりしやすさ指標CP ^{b)} (分) | pH | ORP ^{c)} (mV) |
| 良質 | >7 | <7.2 | 300～500 |
| 中程度 | 3～6 | 7.2～8.0 | 250～300 500～600 |
| 低い | <3 | >8.0 | <250 >600 |

a): これらの水準は、灌漑システムを維持するための水に適用している。ガイドラインで規定されているカテゴリの水質(表1-6-3)とは、目的が異なる。

b): 見詰まりの可能性の計測器(CPM)の試験には、150 μ mメッシュを使用する。

c): 酸化還元電位(ORP)は、水中の有機物を調べる指標として選択される。塩素要求量の測定機器は、非常に高価であり、大規模な灌漑システムにしか設置できないため、塩素要求量の試験を継続的に測定することは困難である。酸化還元電位は、有機物の正確な指標ではないが、酸化還元は、標準機器として監視システムの一部として選択されている。ガイドラインで、塩素処理の効率を試験する必要がある場合には、連続的な塩素計が使用されることとされている。

出典: [13]ISO 16075-3(2015), Table10

備考: ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。



典型的な給水栓

Typical Turnout



Sprinkler irrigation
スプリンクラー灌漑



表面点滴灌漑

Surface drip irrigation



地中点滴灌漑

Buried drip irrigation

写真1-7-3 米国カリフォルニア州モントレー郡の給水栓と末端灌漑施設



I 型方式

☛畑に管を埋設し、固定式のスプリンクラーにより散水する。給水栓のバルブで簡単に操作できる。



II 型方式

☛作物の種類により散水方式を選べる。ハウスなどの施設園芸にも広く用いられている。



III 型方式

☛20～50haに1ヶ所程度の割合で配置される。ほ場整備が未整備の地区で、暫定的に採用されている方式。

写真1-7-4 沖縄県における代表的な末端灌漑施設

(5)下水処理水を利用する畑地灌漑灌漑の色と目印

下水処理水を使用するための配管と関連機器は、飲料水用などの配管と交差接続することを防止するため、色や目印を付ける必要がある。
 沖縄県でも、ISOガイドラインを参考として、色や目印を付ける必要がある。

【解説】

ISOガイドラインでは、様々な媒体(道路の信号・ガス・電気・上下水道等)を輸送する配管を識別する色に関しては、地域ごとに使用する色が、一般的に規則などによって存在している。ゆえに、配管に色や目印を付ける国際的な仕様を定めることは、実質的でないとしている。特定の規則と指針が既に定められている国では、既にある地方の色彩と標識に関する仕様が、優先されなくてはならない。

しかし、色や目印に関する取り決めが確定されていなくて、国際的な仕様を導入しても、地域に混乱が起らない国や地域、あるいは提案された仕様が既に採用される国や地域では、以下の仕様が推奨される(表1-7-5)。

沖縄県では、下水処理水の畑地灌漑システムに関連する色や目印についての取り決めがないので、下水処理水の配管と関連機器の色や目印は、ISOガイドラインの推奨仕様(表1-7-5)を参考に行うべきであろう。ただし、地下埋設管の色に「紫」を用いると、高価となる場合には、従来使用されている色とする。

表1-7-5 下水処理水の灌漑配水管とシステムの色の塗り分けと目印の例(ISOガイドライン)

| 液体の種類 | 地下埋設管の色 | 露出配管と関連機器の色 | リボンで印付け | 水設備周りのフェンスの看板 |
|------------------------------|---------|-------------------------|---------------------------------------|---------------|
| 下水 | | 茶 | 紫+説明文 警告— 下に下水あるいは飲料禁止の水の配管がある。 | 警告—下水—飲料禁止 |
| 高い水質の下水処理水、 とても高い水質の下水処理水 | 紫 | 紫 | | 警告—下水処理水—飲料禁止 |
| 良質な水質の下水処理水、 中程度の水質の下水処理水 | 紫 | 表面の30%に不連続なオレンジの縞模様がある紫 | | 警告—下水処理水—飲料禁止 |

出典:[13]ISO 16075-3(2015), Table7

備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

たとえば、地上に敷設されている付属品や関連機器には、白い背景に紫の高さ7cm以上の文字で書かれた、気象条件に耐性がある素材でできた、少なくとも(50cm×40cm)掲示板の目印を付ける。

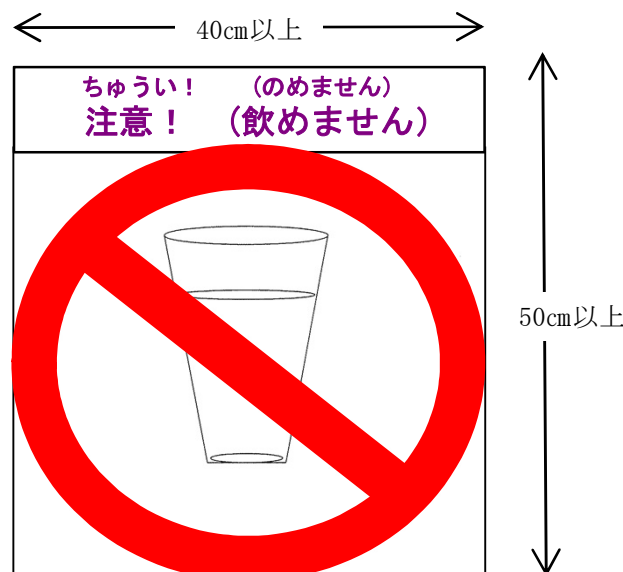


図1-7-3 掲示板の例

1-8. モニタリング

ISOガイドラインなどを参考に、下水処理水の水質に応じて、下水処理場出口での「人の健康への影響」に関する水質項目を、定期的に「モニタリング」を行う必要がある。

【解説】

下水処理水を灌漑利用する際の、下水処理水の水質・農作物・土壌・近隣水源・貯水池の水質などに対する「モニタリング」の考え方が、ISOガイドライン第4部[14]で示されている。

ISOガイドラインでは、下水処理場出口での「人の健康への影響」に関する項目と頻度が、カテゴリに応じた例を示している(表1-8-1)。

表1-8-1 下水処理水の水質に応じた処理場出口におけるモニタリング項目と頻度のISOガイドライン例

| カテゴリ | BOD | 浮遊物質 | 濁度 | 糞便性大腸菌群 | 残留塩素 | 備考 |
|------|-----------------|-----------------|------|------------------|------|----|
| A | 1回/週～ 2回/月 | 1回/週 | 連続観測 | 1回/週 | 1回/日 | |
| B | 1回/週～ 2回/月 | 1回/週 | 連続観測 | 1～2 回/週 | 1回/日 | |
| C | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 関連なし | 1回/月～ 1 回/2ヶ月 | 関連なし | |
| D | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 関連なし | 関連なし | 関連なし | |
| E | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 1回/月～ 1回/2ヶ月 | 関連なし | 関連なし | 関連なし | |

出典:[14]ISO 16075-4(2016), Table2を一部抜粋し編集

備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

参考:[16]再生水の灌漑利用に関するISOガイドライン(2)(2015)

また、ISOガイドラインでは、貯水池での貯留に伴うリスク増大を監視する目的で、糞便性大腸菌群と残留塩素の2項目が、カテゴリに応じて提案されている。

そればかりか、「農作物への影響」に関連する項目として、電気伝導度・ホウ素・栄養塩類・主要イオン・微量元素が挙げられている。

これらは、カテゴリによらず、どのような水質であっても、一定のモニタリング頻度を確保することが提案されている。

沖縄県において、下水処理水を畑地灌漑利用する場合の「モニタリング」は、基本的にはISOガイドラインを参考に行うものとする。

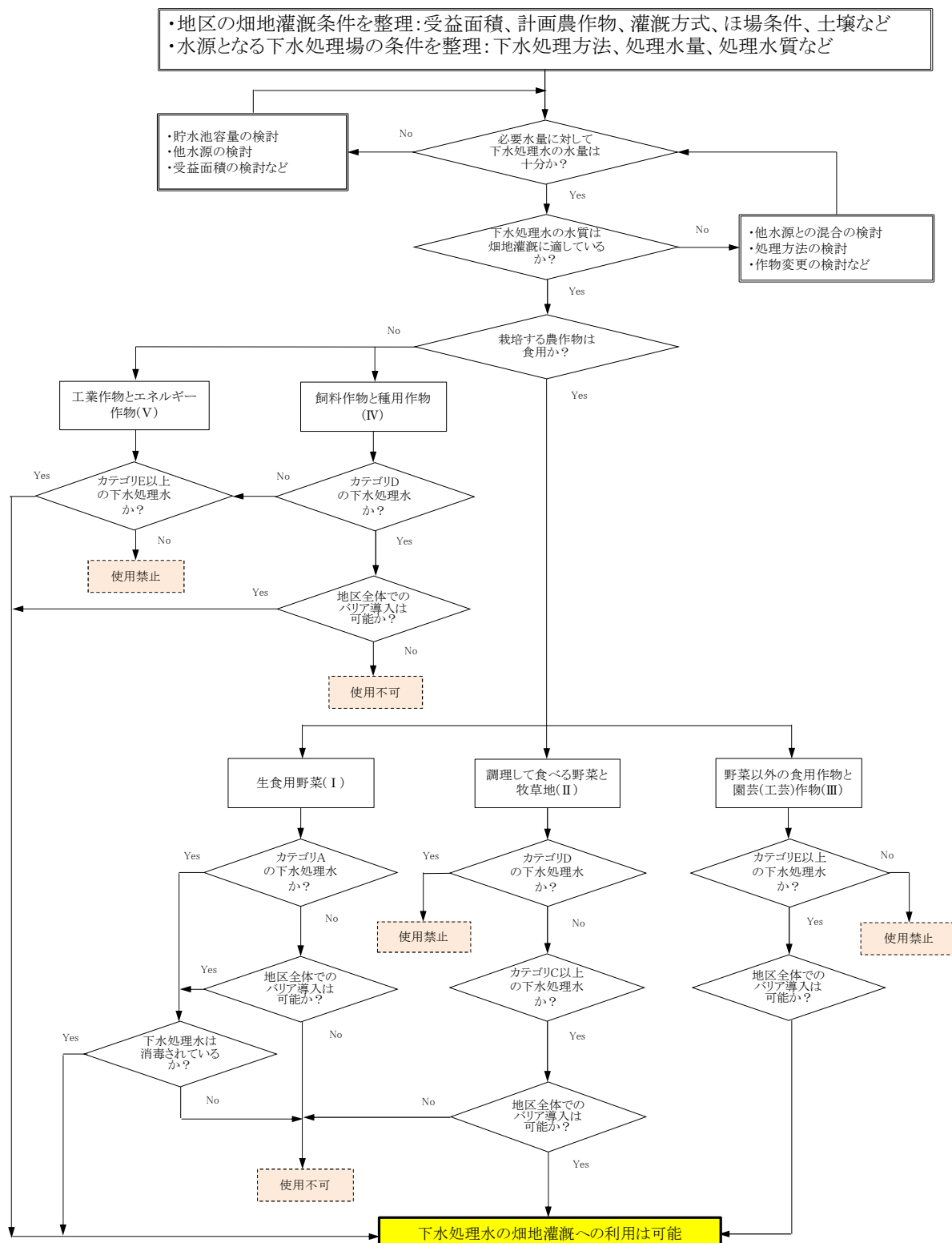
ただし、安全性の担保が確認できるのであれば、下水処理場で定期的に行われている水質調査結果などを活用し、分析経費を低減させることも検討する。

1-9. 下水処理水の畑地灌漑利用計画の流れ

(1)計画フロー

下水処理水を畑地灌漑に再利用する計画では、灌漑を予定している農作物に応じて、ISOガイドラインを参考としたフローに基づいて検討を行う。

【フロー】



(2)下水処理水をサトウキビの灌漑に利用する場合

沖縄県で栽培面積が最も多い、サトウキビの灌漑に、下水処理水を利用する場合において、ISOガイドラインを参考とした計画の検討事例を示す。

【解説】

- ・地区名： 沖縄県N町A地区
- ・受益面積： 100 ha
- ・計画農作物： サトウキビ(分類Ⅲ:野菜以外の食用作物と園芸(工芸)作物、表1-4-3)
- ・灌漑方式： スプリンクラー灌漑のみ
- ・ほ場条件： 全て露地で、隣接する住宅地はない
- ・土壌： 島尻マージ
- ・水源： 流域下水道のN浄化センター

- ・利用可能な下水処理水の水量

日平均下水処理水量＝ 1,000 m³/日

表1-9-1 サトウキビの灌漑に下水処理水を利用する場合の水量負荷計算(例)

| 項目 \ 月 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 計 |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 日消費水量ETa (mm/日) | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | |
| 日数 (日) | 31 | 28 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 31 | 30 | 31 | 365 |
| 消費水量ETa (mm) | 62 | 56 | 62 | 60 | 62 | 90 | 93 | 124 | 120 | 93 | 90 | 62 | |
| 有効降雨量P (mm) 計画基準年(1994) | 80.4 | 75.6 | 118.8 | 28.0 | 169.2 | 104.8 | 28.0 | 84.0 | 39.2 | 114.8 | 44.8 | 42.0 | 929.6 |
| (ETa-P) (mm) | -18.4 | -19.6 | -56.8 | 32.0 | -107.2 | -14.8 | 65.0 | 40.0 | 80.8 | -21.8 | 45.2 | 20.0 | |
| 1+LR/100 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | |
| 100/Ei | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.18 | 0.00 | 0.00 | 1.18 | 1.18 | 1.18 | 0.00 | 1.18 | 1.18 | |
| 計画水量負荷Lw (mm) | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 37.8 | 0.0 | 0.0 | 76.7 | 47.2 | 95.3 | 0.0 | 53.3 | 23.6 | 333.9 |
| (P-ETa) (mm) | 18.4 | 19.6 | 56.8 | -32.0 | 107.2 | 14.8 | -65.0 | -40.0 | -80.8 | 21.8 | -45.2 | -20.0 | -44.4 |

| | | | |
|-----|-------------------------|-------|-------------------|
| LR: | リーチング必要量＝ | 0 | % |
| Ei: | 灌漑効率＝ | 85 | % |
| Qi: | 日平均下水処理水量＝ | 1,000 | m ³ /日 |
| Vs: | 貯留される下水処理水量＝ | 0 | m ³ /年 |
| Cp: | 浸透水の許容硝酸窒素濃度＝ | 10 | mg/L |
| U: | 作物の窒素吸収＝ | 150 | kg/ha・年 |
| Cn: | 供給される下水処理水の窒素濃度＝ | 30 | mg/L |
| f: | 供給窒素のうちで脱窒及び揮発で除去される割合＝ | 0.2 | |

P-ETa: 有効降雨量から消費水量を引いた値(mm/年)

10²: kg/ha・年からmg・mm/L・年への変換係数

Lw: 計画灌漑水量負荷(mm/年)、(式1.4)

Lwn: 窒素限界による年間許容水量負荷(mm/年)、(式1.8)

$$Lwn = \frac{Cp(P-ETa) + 10^2 U}{(1-f)Cn - Cp} = 1,040 \text{ mm/年}$$

$$Lw = 333.9 \text{ mm/年} < Lwn = 1,040 \text{ mm/年}$$

$$\text{計画に用いる年間計画水量負荷 } Lw = 333.9 \text{ mm/年}$$

・畑地灌漑可能面積の概算

$$Aw = \frac{Qi(365 \text{ 日/年}) + Vs}{LW \times 10^{-3}} = 1,093,142 \text{ m}^2 = 109 \text{ ha}$$

Aw: 下水処理水での畑地灌漑可能面積(ha)、(式1.5)
 10^{-3} 変換係数(m/mm)

$$Ap = 100 \text{ ha} < Aw = 109 \text{ ha} \quad \text{下水処理水で計画地区の灌漑が可能}$$

Ap: 計画地区の受益面積(ha)

・計画フローに基づいた検討

- ☒ 下水処理水量は十分か？ ☒ 下水処理水を貯留する施設を設ける。 Yes
- ☒ 処理水の水質は灌漑に適するか？ ☒ サトウキビへの影響はない(表1-5-25, 29)。 Yes
- ☒ 農作物は食用か？ ☒ サトウキビは食用である。 Yes
- ☒ カテゴリE以上の下水処理水か？ ☒ カテゴリCの下水処理水である(表1-6-3)。 Yes
- 必要となるバリア点数 = 1 (ISOガイドラインの表1-6-1より)
- ☒ 地区全体でのバリア導入は可能か？ ☒ 地区全体はサトウキビのみである。 Yes
- ☒ 導入するバリアの種類は？ ☒ 立入制限とする。
- ☒ 導入するバリアの適用方法は？ ☒ 灌漑後から24時間以上は、農業者のほ場への出入りを避ける。
- 導入するバリア点数 = 1 (ISOガイドラインの表1-6-4より)
- ☒ 下水処理水の畑地灌漑への利用は可能か？ Yes
- 導入するバリア点数 = 1 \geq 必要となるバリア点数 = 1

上記の検討結果より、予定している流域下水道のN浄化センターの下水処理水によるサトウキビへの灌漑は、水量としては足りると判断される。

そのうえ、下水処理水の水質は再処理を追加しなくても、サトウキビへの灌漑後から1日以上ほ場へ立ち入らない対策を地区全体で継続して行うことで、農業者の健康リスクを低減させるので、利用可能と判断される。

第2編

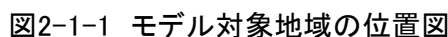
モデル対象地域における下水処理水の生食用作物への畑地灌漑利用計画

(1)モデル対象地域の選定理由

【解説】

一方、モデル対象地域である「糸満市北部地区」(受益面積約340ha)においては、安定した農業用水の水源が確保できず、計画的な農業生産活動が困難であり、農業経営に地域格差が生じており、具体的で早急な再生水利用等による対応が求められている。

そこで、「糸満市浄化センター」の下水処理水を再処理して、本地域における生食用野菜への畑地灌漑用水を確保し、送水施設などの畑地灌漑施設の整備により、農業生産の向上と農業経営の安定を目的とした計画を行うものである。



(2)モデル対象地域の畑地灌漑条件

| | |
|----------|-------------------------------------|
| ➤ 地区名 | 糸満市北部地区 |
| ➤ 計画受益面積 | 332.5ha(10ブロック) |
| ➤ 計画農作物 | 生食用野菜など |
| ➤ 灌漑方式 | スプリンクラー灌漑、多孔管灌漑、点滴灌漑など |
| ➤ ほ場条件 | 露地と施設(ハウス)、隣接して住宅地あり(立入制限なし) |
| ➤ 土壌条件 | ジャーガル土壌(アルカリ性・CaとMg含有量高い・微粒質・保水力強い) |
| ➤ 計画水源 | 「糸満浄化センター」の下水処理水 |

【解説】

①受益面積

モデル対象地域の計画受益面積は、下表に示すとおり10ブロックの332.5haである。

表2-1-1 「糸満市北部地区」受益面積

減歩率= 9 %

| 市町名 | 番号 | 地区名 | 現況面積(m ²) | 現況面積(ha) | 計画面積(ha) | 備考 |
|-----|----|-------|-----------------------|----------|----------|----|
| 糸満市 | 1 | 北波平 | 641,144 | 64.1 | 64.1 | |
| | 2 | 保栄茂 | 184,071 | 18.4 | 18.4 | |
| | 3 | 阿波根 | 290,649 | 29.1 | 29.1 | |
| | 4 | 阿波根西 | 137,307 | 13.7 | 12.5 | |
| | 5 | 座波 | 732,824 | 73.3 | 73.3 | |
| | 6 | 座波西 | 160,703 | 16.1 | 14.7 | |
| | 7 | 豊原 | 467,181 | 46.7 | 42.5 | |
| | 8 | 与座 | 588,833 | 58.9 | 58.9 | |
| | 9 | 与座北 | 112,724 | 11.3 | 11.3 | |
| | 10 | 与座上座原 | 77,348 | 7.7 | 7.7 | |
| | 計 | | 3,392,784 | 339.3 | 332.5 | |

着色の地区は、未整備地区で減歩率を考慮

②計画農作物

モデル対象地域では、現況においても、生食用野菜など多様な農作物が栽培されており、畑地灌漑施設が整備されると、さらに生食用野菜と施設栽培の割合が増えると予想される。

これより、モデル対象地域の計画では、下水処理水を水源とした、露地および施設の生食用作物への畑地灌漑とする。

表2-1-2 モデル対象地域の現況で作付されている農作物の種類と面積

| 農作物区分 | 農作物の種類 | 現況(ha) | 割合(%) | 分類No. | ISOガイドラインの農作物分類 |
|-------|-------------|--------|-------|-------|--------------------------------|
| 露地作物 | 果菜類 | 7.5 | 2.2 | I | 生食用野菜 |
| | 根菜類 | 8.3 | 2.4 | | |
| | 葉菜類 | 12.9 | 3.8 | | |
| | 豆類 | 1.6 | 0.5 | II | 調理して食べる野菜と牧草地 |
| | 果樹 | 4.3 | 1.3 | III | 野菜以外の食用作物(果樹やワイン用ブドウ)と園芸(工芸)作物 |
| | 花卉 | 10.8 | 3.2 | | |
| | 工芸作物(サトウキビ) | 251.3 | 74.1 | IV | 飼料作物と種用作物 |
| | 飼料作物 | 5.6 | 1.7 | | |
| | 小計 | 302.3 | 89.1 | | |
| 施設野菜 | 果菜類 | 5.3 | 1.6 | I | 生食用野菜 |
| | 根菜類 | 0.2 | 0.1 | | |
| | 葉菜類 | 3.9 | 1.1 | | |
| | 豆類 | 12 | 3.5 | II | 調理して食べる野菜と牧草地 |
| | 小計 | 21.4 | 6.3 | | |
| 施設果樹 | 果樹 | 15.5 | 4.6 | III | 野菜以外の食用作物(果樹やワイン用ブドウ)と園芸作物 |
| | 小計 | 15.5 | 4.6 | | |
| 合計 | | 339.2 | 100.0 | | |

表2-1-3 農作物別の計画作付割合(面積)

| 農作物区分 | 露地作物 | 施設野菜 | 施設果樹 | 計 |
|-------------|-----------------|----------------|---------------|------------------|
| 現況の作付割合(面積) | 89.1% (296.3ha) | 6.3% (20.9ha) | 4.6% (15.3ha) | 100.0% (332.5ha) |
| 計画の作付割合(面積) | 80.9% (269.4ha) | 14.5% (48.2ha) | 4.6% (15.3ha) | 100.0% (332.5ha) |

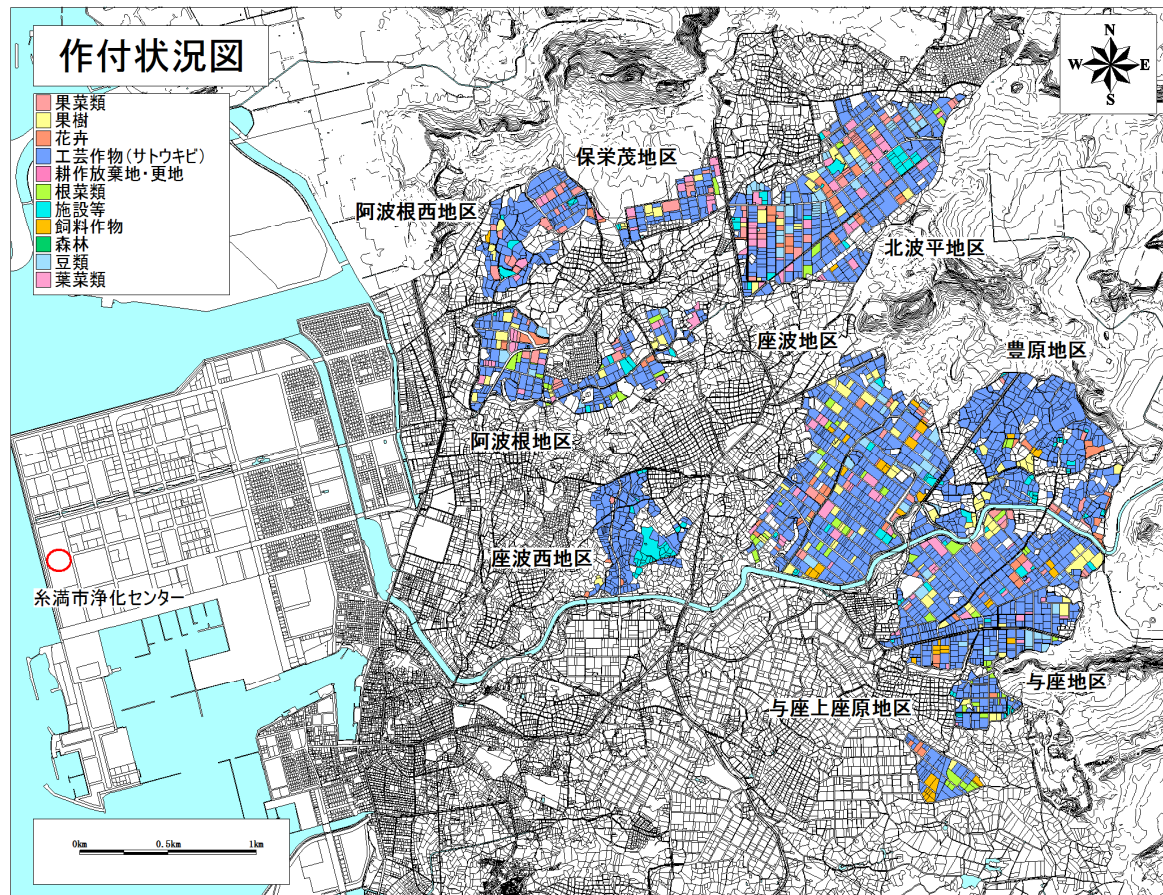


図2-1-2 モデル対象地域の作付状況

③灌漑期間と灌漑方式

灌漑の期間と方式は、本地域の営農実態から、以下のとおりとする。

表2-1-4 本地域の灌漑時期と灌漑方式

| 農作物区分 | 灌漑期間 | 灌漑方式 |
|-----------|---------------|------------------------|
| 露地作物 | 通年(1/1～12/31) | スプリンクラー灌漑、多孔管灌漑 |
| 施設野菜・施設果樹 | 通年(1/1～12/31) | 点滴灌漑、多孔管灌漑、マイクロエミッター灌漑 |

④ほ場条件

本地域では、露地と施設(ハウス)での栽培が行われており、畑地灌漑施設の導入により施設(ハウス)が、増えることが予測できる。

本地域のほ場に隣接して住宅地があり、立入制限を行うことは、困難である。

⑤土壌

本地域の土壌は、ジャーガルがほとんどを占める。ジャーガル土壌の性質は、以下のよう要約できる。

- ・地質的には島尻層泥岩(クチャ)に由来するものである。
- ・地形的には丘陵地から平坦地に分布する。
- ・土壌の色は灰色である。
- ・土壌はアルカリ性である。
- ・表土の有機物含有量は3%以下で、心土はそれより低い値を示す。
- ・カルシウムやマグネシウムなどの含有量が高い。
- ・心土は緻密であるが軟らかく、空気含量は低い。
- ・土壌粒子は微粒質で、構造の発達が悪く、取り扱いにくい。
- ・保水力が強く、干ばつの被害が少ない。

表2-1-5 本地域に分布するジャーガル土壌の化学的性質

| 土壌 | 分布割合(県) (%) | 主要作物 | 層位 | pH (H ₂ O) | 有機物 (%) | 塩基置換容量 (me/100g) | 置換性塩基 (mg/100g) | | |
|-------|----------------|----------|----|--------------------------|------------|---------------------|--------------------|--------|------|
| | | | | | | | カルシウム | マグネシウム | カリウム |
| ジャーガル | 8.0 | 野菜・さとうきび | 表土 | 7.2 | 2.1 | 22.0 | 535.2 | 99.4 | 18.2 |
| | | | 深土 | 7.8 | 1.3 | 22.4 | 521.3 | 124.2 | 9.8 |

出典:[22]沖縄の農業と土壌(2007)

表2-1-6 本地域に分布するジャーガル土壌の物理的性質

| 土壌 | 層位 | 固相 (%) | 液相 (%) | 気相 (%) | 孔隙 (液+気) (%) | 礫 (%) | 粗砂 (%) | 細砂 (%) | 微砂 (%) | 粘土 (%) |
|-------|----|-----------|-----------|-----------|--------------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| ジャーガル | 表土 | 50.6 | 41.7 | 7.7 | 49.4 | 0.17 | 0.6 | 6.5 | 44.3 | 48.6 |
| | 深土 | 49.7 | 46.3 | 4.0 | 50.3 | 0.12 | 0.7 | 5.0 | 47.5 | 46.7 |

出典:[22]沖縄の農業と土壌(2007)

※礫:土壌粒子直径2mm以上、粗砂:2mm～0.2mm、細砂:0.2mm～0.02mm、微砂:0.02mm～0.002mm、粘土:0.002mm以下

(3)モデル対象地域での検討課題

- ・検討課題：
 - 消費者など：消費者や流通業者などが抱く「嫌悪感」と「風評被害」の払拭
 - 地元農家：地元農家は「再処理コスト」の低減を要望
- ・消費者意向：
 - 安心を感じること：「化学物質」、「定期的な検査」、「厳しい管理基準」の説明
 - さらに詳しい情報：「蓄積性物質」、「管理体制」、「想定外の事故」、「食中毒」
 - 再生水のイメージ：「安全と安心」、「衛生的」
- ・地元農家意向：
 - 農業用水の確保：6割以上の農家が安定した農業用水の確保を要望
 - 「再生水」の利用：農業用水が必要と回答した農家の約9割が「再生水」利用を容認
 - 「再生水」水単価：「再生水」の水単価は地下ダムと同程度を要望
- ・「糸満市浄化センター」の条件：
 - 処理区域：工場、病院、ホテルなど多様な施設が含まれる
 - 有害物質：放流水の水質は全て水質基準値以下
 - 病原微生物：処理水より食中毒を起こす多様なウイルスが高濃度で検出

【解説】

①下水処理水を生食用作物に用いる場合に検討すべき課題

モデル対象地域で、生食用の野菜などの畑地灌漑用水として、「糸満市浄化センター」の下水処理水を用いる場合に検討すべき重要な課題は、次の二つと考えられる。

- ❏ 下水処理水を灌漑水とした生食用作物に対し、消費者や流通業者などが抱く、「嫌悪感」と「風評被害」の払拭
- ❏ 下水処理水を生食用作物に用いても、人の健康に影響を与えない安全な「再生水」に再処理する必要性の判断と「再処理コスト」の低減

②消費者意向

消費者や流通業者等が、「再生水」を用いた野菜を購入するのか、あるいは、「嫌悪感」や「風評被害」を招く要因は何かを、把握する目的で行った消費者意向調査より、次の結果(図2-1-3～4、表2-1-7～8)が得られている。

- ❏ 「リスクコミュニケーション(以降「リスコミ」という)で買う」消費者(安全性の説明後「買いたい」または「再生水かどうか気にしない」に転じた回答者)と、「やや気になる」消費者は、安全性の説明後に、最も安心を感じた項目を聞いたところ、「化学物質」に関する説明が最も安心を与えることが分かった。
- ❏ 「リスコミで買う」消費者は、「定期的な検査」、「厳しい管理基準」や「長年使われてきた技術」に、より安心を強く感じる事が分かった。
- ❏ 「やや気になる」消費者は、「食中毒」への関心が比較的高い。
- ❏ 気にしない人も、気にする人も、「蓄積性物質」や「管理体制」に対する関心が高い。

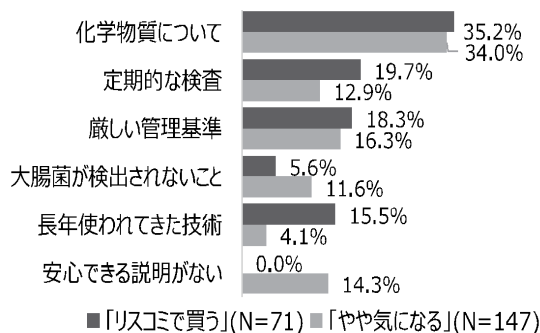


図2-1-3 最も安心を感じたこと(単一回答)

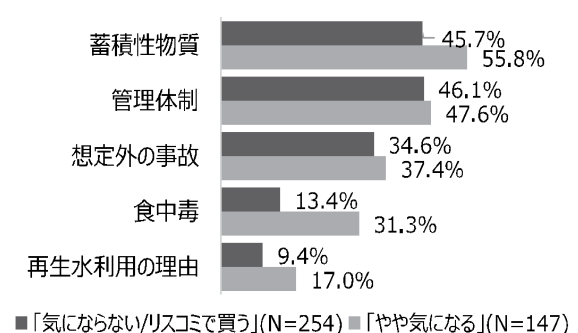


図2-1-4 安全性について詳しく知りたいこと(複数回答)

表2-1-7 再生水を利用した野菜の購入意向による回答者の分類

| 消費者類型の 呼称 | 再生水を利用した野菜の購入意向 | | | 回答者数（構成比） N=471（100.0%） | |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|---------|
| | （1）事業説明後 | （2）安全性説明後 | （3）必要性説明後 | | |
| （ア）気にならない | 買いたい／気にしない | 買いたい／気にしない | 買いたい／気にしない | 183 | （38.9%） |
| （イ）リスコムで買う | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 買いたい／気にしない | 買いたい／気にしない | 71 | （15.1%） |
| （ウ）サンゴで買う | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 買いたい／気にしない | 35 | （7.4%） |
| （エ）やや気になる | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 何とも言えない／ やや抵抗がある | 147 | （31.2%） |
| （オ）買わない | 買いたくない | 買いたくない | 買いたくない | 22 | （4.7%） |
| その他 | — | — | — | 13 | （2.8%） |

注）「何とも言えない／やや抵抗がある」には各類型のうち5%未満の「買いたくない」を含む場合がある。「買いたくない」には15%未満の「何とも言えない／やや抵抗がある」を含む場合がある。

表2-1-8 アンケート調査票で与えた再生水に関する情報

| |
|---|
| （1）再生水事業の説明 |
| 再生水とは、従来のように下水処理水をそのまま海へ放流するのではなく、再び私たちの生活に使えるように処理した水です。この水は最新の膜処理と紫外線消毒が施され、農家さんのところへ運ばれます。 |
| （2）再生水の安全性の説明 |
| <ul style="list-style-type: none"> ・ 地区内を流れる川からは大腸菌が検出される場合がありますが、再生水からは水道水の基準と同じく大腸菌が検出されることはありません。 ・ 再生水に含まれる化学物質も水道水と同等のレベルまで浄化されます。 ・ これらは定期的に検査され、再生水による農作物やヒトへの影響はないとされています。 ・ 管理は、世界で最も厳しいアメリカの再生水の基準で行われます。 ・ 再生水はカリフォルニア州では1970年代から利用され多くの作物に使われてきました。現在では、日本でも香川県や熊本県などで農業用水として利用されていますが、アメリカでも日本でも食中毒や健康被害はこれまで出ていません。 |
| （3）再生水の意義・必要性の説明 |
| <p>【水不足】沖縄県は水供給が限られている地域ですが、沖縄県民一人当たりの水消費量は全国トップです。年々観光客も増加しており、県は2030年には深刻な水不足が生じるという予測をしています。再生水を農業で利用することで、利用可能な生活水を確保し、将来のわたしたちの暮らしを守ることが期待されています。</p> <p>【生き物】私たちは沖縄北部の水を引き、生活用水として利用しています。そのため、川や森にすむ生き物たちに少なからず影響を与えています。また海には豊かなサンゴ礁が多くみられますが、下水処理水をそのまま海に流すと、海が富栄養化しサンゴにも被害をもたらします。下水処理水を再生水として利用すれば沖縄の様々な生き物たちを守ることができます。</p> <p>【農業】沖縄本島南部の農業は慢性的な水不足状態です。再生水が使えるようになると、本島南部の農家が安定的に野菜をつくることができるようになり、沖縄における野菜の地産地消がすすみます。また、再生水には、農業に必要なチッソやリンカリなどの栄養素が含まれているため、農家は畑にまく化学肥料を減らすことができます。</p> |

実証販売調査で行ったアンケート(下図)でも、「再生水」を使って栽培された野菜に対して、消費者は「安全で安心」や「衛生的」などのイメージを持つことが確認できた。これより、生食用作物への灌漑水は、再処理された「再生水」を消費者は求めていると理解できる。

質問: 再生水を使って栽培された野菜について、どんなことをイメージされますか？

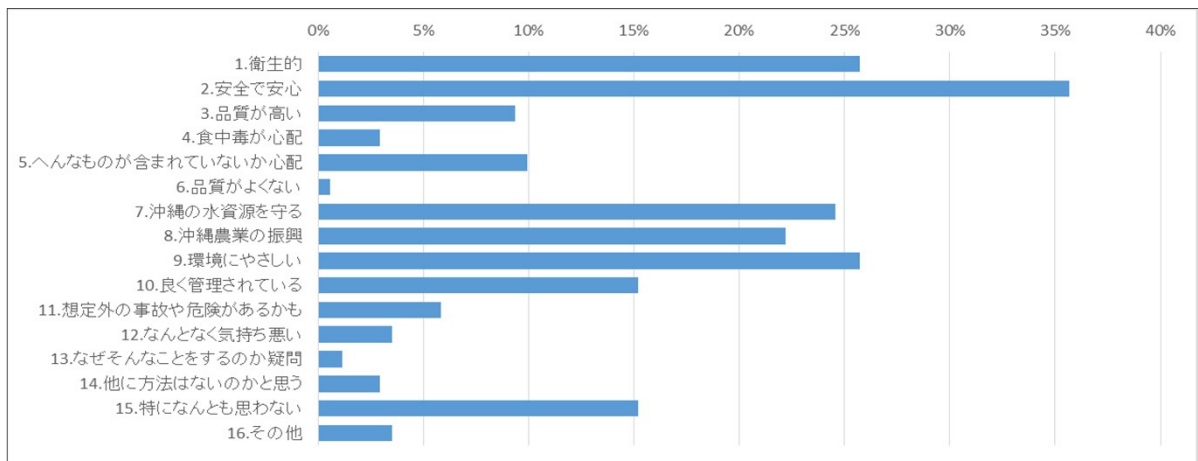


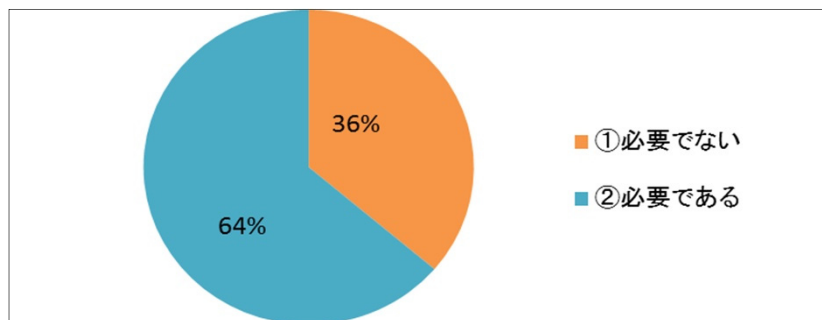
図2-1-5 実証販売調査でのアンケート(回答数:171)

③地元農家意向

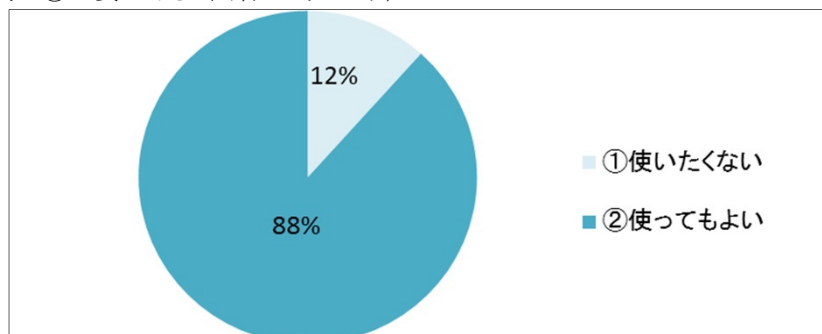
モデル対象地域の農家が、農業用水を必要としているか、農業用水へ「再生水」を用いても問題がないのか、水単価はどの程度であれば使用するのか等を、地域全体で把握するための調査を行い、次の結果(図2-1-6)が得られている。

- 6割以上の農家が、安定した農業用水の確保が必要と回答している。
- 安定した農業用水の確保が必要と回答した農家の約9割が、「再生水」を使ってよいと回答している。
- 「再生水」を使ってよいと回答した農家の約6割が、「再生水」の水単価は、地下ダム料金(表2-1-9)と同程度(約40円/㎡)と回答している。

質問 現在の農業用水以外に、安定した農業用水の確保は必要ですか？



質問 安定した農業用水として、下水の放流水を作物や人に安全な処理を行った再生水を使ってもよいですか？(前質問に②必要であると回答した人のみ)



質問 安全で安定的な再生水を農業に利用するには、経費がかかります。その場合、最大どの程度の料金までなら支払が可能でしょうか？(前質問に②使ってもよいと回答した人のみ)

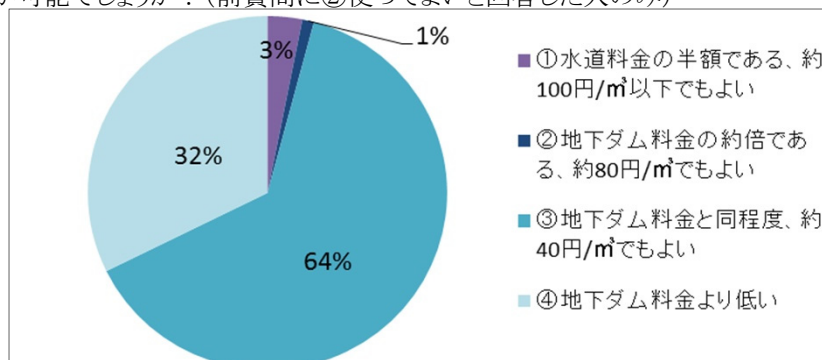


図2-1-6 地元農家意向のアンケート調査結果(糸満市土地改良区合同事務所の組合員、有効総数197)

表2-1-9 参考となる水単価の資料

| 区分 | 水単価(円/㎡) | 備考 |
|--------------------|----------|---|
| 沖縄本島南部地区農業用水(地下ダム) | 36 | (使用水代+基本料金)/年使用水量 5年間平均(平成21年度～平成26年度) |
| 工業用水 | 35 | 100㎡/日以上(沖縄県企業局の平成27年度資料) |
| 水道料金(営業で下水道有) | 216 | 使用水量10㎡で算定 |
| 水道料金(営業で下水道無) | 143 | (糸満市の平成27年度資料) |
| 那覇市の再生水 | 200 | 公共施設等(那覇市の平成27年度資料) |
| ペットボトルの飲料水 | 200,000 | 100円/500mLとして計算 |

④「糸満市浄化センター」の条件

公共下水道に分類される「糸満市浄化センター」は、農業集落排水施設に比べ、処理区域が広く、その区域内には生活系以外に、工場・病院・ホテルなど多様な施設が含まれている。

そのため、有害物質や多様な病原微生物(細菌やウイルスなど)が含まれた排水が、流入する可能性は高い。

「糸満市浄化センター」における放流水の水質試験結果(表2-3-3)では、水質基準に定められた有害物質は全て基準値以下である。

しかし、「糸満市浄化センター」の下水処理水からは、食中毒を起こすウイルスや農作物に被害を与えるウイルスなど多様なウイルスが、高い濃度で検出されている(表2-1-10)。

この調査結果(表2-1-10)より、「糸満市浄化センター」の処理水を生食用野菜などへの畑地灌漑に安全に利用するには、「人の健康への影響」を極力少なくするために、食中毒を起こすウイルスなどを除去する再処理が必要と判断される。

表2-1-10 糸満市浄化センターの処理水より検出されたウイルス(B-DASHプロジェクト調査結果)

| ウイルス (log(copies/L)) | 二次処理水 | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 2016/8/19 | 2016/8/20 | 2016/9/30 | 2016/10/1 |
| ノロウイルスGⅠ(GⅠ-NoV) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| ノロウイルスGⅡ(GⅡ-NoV) | 3.45 | 3.50 | 2.70 | 2.94 |
| ロタウイルス(RoV) | N.D. | N.D. | N.D. | N.D. |
| アイチウイルス(AiV) | 2.78 | 2.96 | N.D. | N.D. |
| トウガラシマイルドモットルウイルス(PMMoV) ^{※1} | 6.14 | 6.39 | 5.71 | 5.87 |

※1:ピーマンモザイク病の病原ウイルス

出典:[9]B-DASHプロジェクト下水処理水の再生処理システムに関する実証研究(2017)

三次処理および高度処理プロセスによって得られた下水処理水(「再生水」)は、高い微生物除去率(表2-1-11)を有している。

このことを理解した上で、再利用する下水処理水の処理方法を検討し、選定することが重要である。

表2-1-11 下水処理プロセスによる代表的な微生物対数除去率

| 病原微生物 | 一次処理 | 二次処理 | 三次処理 | | 高度処理 |
|------------|----------|-------|------|------|------|
| | 沈殿 | 活性汚泥法 | 深層ろ過 | 精密ろ過 | 逆浸透 |
| 糞便性大腸菌群数 | <0.1~0.3 | 0~2 | 0~1 | 1~4 | 4~7 |
| サルモネラ菌 | <0.1~2 | 0.5~2 | 0~1 | 1~4 | 4~7 |
| カンピロバクター | 1 | 1~2 | 0~1 | 1~4 | 4~7 |
| クリプトスポリジウム | 0.1~1 | 1 | 0~3 | 1~4 | 4~7 |
| ジアルジア | <1 | 2 | 0~3 | 2~6 | >7 |
| 腸管系ウイルス | <0.1 | 0.6~2 | 0~1 | 0~2 | 4~7 |

※対数除去率= -log(流出濃度/流入濃度) 例えば、-log(1/100)=2であり、2は99%の除去を意味する。

出典:[20]水再生利用学(2010)、表-3.9

2-2. 下水処理方法の検討と選定

- ISO ガイドラインのバリア：地域全体に統一して導入することは困難
- ISO ガイドラインのカテゴリ：カテゴリA(とても高い水質の下水処理水)
- ISOガイドラインの下水処理方法：「二次処理＋接触ろ過あるいは膜ろ過＋消毒」
- CREST 研究のリスク評価：ウイルス除去率5log以上の処理が必要
- 再生水処理方法の選定：いろいろな再生水処理方法は考えられるが、実績や調査結果がある方法の比較検討が必要
「二次処理水＋UF膜ろ過＋UV消毒」を選定

【解説】

(1)ISOガイドラインのバリア

ISOガイドラインに基づいて、BOD とSS および糞便性大腸菌群(＝大腸菌群数／10(1桁分)で求めた換算値)について、「糸満市浄化センター」の放流水の水質(表1-6-2)を、ISOガイドラインのカテゴリ(表1-6-3)にあてはめると、カテゴリD の「中程度の水質の下水処理水」に位置付けられる。

したがって、ISOガイドライン(表1-6-1)より、「糸満市浄化センター」の放流水は、そのままではバリアを導入しても、生食用作物の畑地灌漑への使用は禁止となる。

本モデル対象地域では、施設(ハウス)による栽培が多く、灌漑方式が多様であり、ほ場に隣接して住宅地があることより、ISOガイドラインで提案されているバリア(表1-6-4)は、地域全体に統一して導入することは困難と判断される。

(2)ISOガイドラインのカテゴリ

上記の条件より、本モデル対象地域の生食用作物への畑地灌漑には、ISOガイドライン(表1-6-1)で提案されているカテゴリA(とても高い水質)の下水処理水を用いる必要がある。

カテゴリAに対応する下水処理方法(表1-6-3)は、「二次処理＋接触ろ過あるいは膜ろ過＋消毒」である。

(3)CREST研究のリスク評価

モデル対象地域で計画する下水処理方法は、「那覇浄化センター」の処理水による本地域を含めた範囲をケーススタディとして、ウイルスと化学物質による「人の健康への影響」に対するリスク評価手法が構築されたCREST研究の成果[8]を参考とする。

「糸満市浄化センター」の下水処理水からは、食中毒を起こすウイルスや農作物に被害を与えるウイルスなど多様なウイルスが、高い濃度で検出されている(表2-1-10)。

これより、「糸満市浄化センター」の下水処理水を生食用作物への畑地灌漑に安全に利用するには、「人の健康への影響」を極力少なくするために、食中毒を起こすウイルスなどを除去する処理が必要と判断される。

CREST研究では、WHO(2006)[32]が農業用水に「再生水」を利用するときの提唱値とした、 10^{-6} DALY/人・年(DALY障害調整生存年数:Disability Adjusted Life Years)を、再生水利用の判定基準としてケーススタディが行われた。

10^{-6} DALY/人・年とは、「健康な1年間の生活を送れる者が、100万人に1人くらい失うことは仕方ない」レベルである。

CREST研究の成果における、病原微生物(ノロウイルス)による農業者と消費者のリスク評価結果(表2-2-1)より、農業利用にはウイルス除去率が5log以上の処理が必要と理解できる。

表2-2-1 沖縄本島南部地域でのケーススタディによる病原微生物(ノロウイルス)によるヒトの健康リスク評価結果のまとめ

| 処理プロセス (平均Log除去率±分散) | | 利用用途 | Case1(農業用水) | | Case2(都市用水) | | | |
|-------------------------|-----------|------------------|--------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| | | リスク対象者等 | 農業従事者 | 消費者(生野菜) | 水洗トイレ | 芝生散水 | 親水(手足) | 親水(水浴) |
| | | 暴露量・暴露回数 | 0.3mL/回 27.2回/年 | 0.1~1 mL/100g 242g/日 | 0.02mL/回 3回/年 | 0.1mL/回 20回/年 | 0.3mL/回 20回/年 | 30mL/回 8回/年 |
| | | 暴露形態 | 作業時における経口間接摂取による感染 | 作物摂取による感染 | | | | |
| 那覇浄化センター | 二次処理水 | — | | | | | | |
| 那覇再生水実験プラント | 凝集+UF | (3.9Log±0.9Log) | | 適 | 適 | | | |
| | UF+UV | (5.0Log±0.3Log) | 適 | 適 | 適 | 適 | 適 | |
| | UF+NF | (6.7Log±0.5Log) | 適 | 適 | 適 | 適 | 適 | |
| | UF+RO | (7.7Log±0.5Log) | 適 | 適 | 適 | 適 | 適 | |
| 従来フロー(タイトル22) | 凝集+砂ろ過+UV | (5.0Log±0.05Log) | 適 | 適 | 適 | 適 | 適 | |

出典:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

次に、平成23年度のPRTR(Pollutant Release and Transfer Register:化学物質排出移動量届出制度)データから、「那覇浄化センター」の放流水に含まれる化学物質の濃度を推定し、82物質について利用用途ごとに、人の健康へのリスク評価したところ、全ての用途についてリスクが懸念される物質は検出されなかった[8]。

「糸満市浄化センター」のPRTR情報[38](平成23年度～平成25年度の物質排出なし)から判断すると、CREST研究成果の化学物質による農業者と消費者の健康へのリスク評価より、二次処理以上の処理で安全性が示され利用可能と考えられる(表2-2-2)。

表2-2-2 沖縄本島南部地域でのケーススタディによるPRTR情報を用いた化学物質によるヒトの健康リスク評価結果のまとめ

| 処理プロセス | 利用用途 | 農業用水 | | 都市用水 | | | | |
|-------------|----------|--------------------|---------------------|------------------|----------------|----------------|------------------|----------------|
| | リスク対象者等 | 農業従事者 | 消費者(根菜類) | 水洗トイレ | 洗車 | 修景(滝・噴水) | 親水(手足) | 親水(水浴) |
| | 暴露量・暴露回数 | 0.3mL/回 27.2回/年 | 0.137kg/日 350日/年 | 0.02mL/回 3回/年 | 1mL/回 12回/年 | 1mL/回 12回/年 | 0.3mL/回 20回/年 | 30mL/回 8回/年 |
| | 暴露形態 | 作業時における経口間接摂取 | 作物摂食 | | | | | 誤飲 |
| 那覇浄化センター | 二次処理水 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 |
| 那覇再生水実験プラント | 凝集＋UF | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 |
| | UF＋UV | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 |
| | UF＋NF | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 |
| | UF＋RO | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 | 利用可能 |

出典:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

本モデル対象地域で計画する下水処理方法は、ウイルスと化学物質による「人の健康への影響」に対するリスク評価のCREST研究成果(表2-2-1～2)より、ウイルス除去率が5log以上の処理が必要と判断される。

過去の調査実績より、ウイルス除去率が最低でも5logを満足し、比較的安価な処理方法は、次の二法が選定される(表2-2-3)。

表2-2-3 ウイルス除去率より判断した糸満市浄化センターの下水処理方法(生食用野菜への畑地灌漑用)

| 区分 | 下水処理方法 | 備考 |
|-----------|------------------------|--|
| 従来プラント | 「二次処理水+凝集・沈殿+砂ろ過+UV消毒」 | 米国カリフォルニア州再生水条例「タイトル22」[34]で生食用作物に提案され、「島尻地区」[3]で採用された方法 |
| CERSTプラント | 「二次処理水+UF膜+UV消毒」 | CREST研究[8]で開発された方法 |

MF膜の孔径は、ウイルスの大きさに比べて大きく(図2-2-1)、UF膜に比べてウイルス除去率は低い(図2-2-2)ので、CREST研究ではUF膜を採用している。

なお、ISOガイドライン(表1-6-3)での膜ろ過は、孔径 $0.45\mu\text{m}$ 以下の膜によるろ過を、要求している。

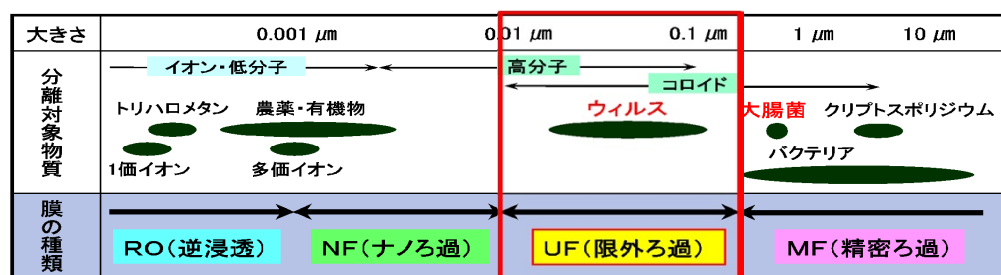


図2-2-1 下水処理水中の物質と各種膜との比較図

出典:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

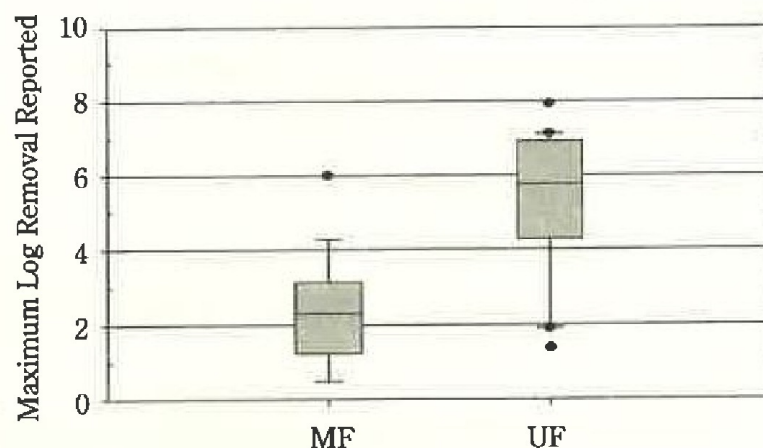


図2-2-2 米国環境保護庁(U.S.EPA)が調査したMF膜とUF膜のウイルスの除去性能

出典:[39]浄水膜(第2版)(2008), 図2-2

UV消毒前段に膜ろ過処理を行う場合に、MF膜はUF膜に比べて、微細粒子やウイルスなどの除去性能が劣る。これより、MF膜を用いた場合に、5log以上のウイルス除去率を達成するには、UF膜を用いた場合より、UV照射量を大きくする等の対策が必要があり、運転経費が上がる考えられる。

MF膜を用いた場合のインシヤルコストは、UF膜より若干安いほぼ同額である。

ただし、MF膜の孔径はUF膜に比べて大きい分、膜の閉塞(ファウリング)が起き易い場合もあり、膜洗浄の頻度が増加して、ランニングコストが高くなることも想定される。

(4)再生水処理施設の選定

下記の理由により、本モデル対象地域では、「糸満市浄化センター」の二次処理水を「CRESTプラント」(UF膜ろ過+UV消毒)で再処理した「再生水」を、生食用作物への畑地灌漑用水として選定する。

①大腸菌除去能力

「従来プラント」(凝集・沈殿+砂ろ過+UV消毒)と「CRESTプラント」(UF膜ろ過+UV消毒)の各処理工程(図2-2-3)における大腸菌群数の分析結果(図2-2-4)より、「CRESTプラント」では、UF膜ろ過でほとんどの大腸菌群数が除去されている。

この結果(図2-2-4)より、「CRESTプラント」が「従来法プラント」より、大腸菌群数の除去能力は、高く安定していると判断できる。

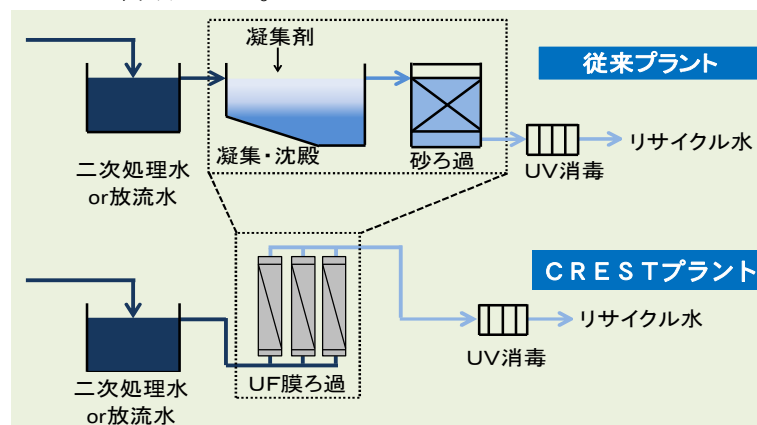


図2-2-3「従来プラント」と「CRESTプラント」の処理工程図

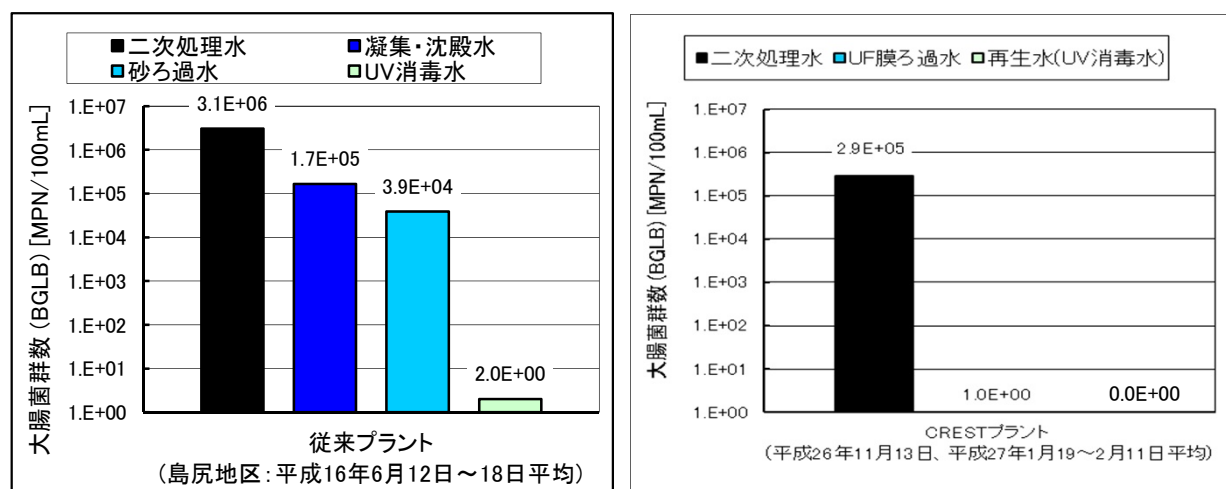


図2-2-4 「従来プラント」と「CRESTプラント」の各処理工程の大腸菌群数分析結果

出典：[3] 島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務報告書(平成20年度)

出典：[27] 再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度)

②運転性

UF膜ろ過の運転性は安定しているので、自動化が可能であり、人件費の節減が可能となる。それにくわえて、最近の膜の操作圧は低下しており、膜の運転経費は、従来のろ過に対抗できる。

③処理コスト

「CRESTプラント」による「再生水」の処理コスト(円/㎡)は、「従来プラント」に比べて、凝集剤などの薬品使用量が大きく低減できるので、1㎡あたり約6円の処理コストが低減されると試算されている(図2-2-5)。

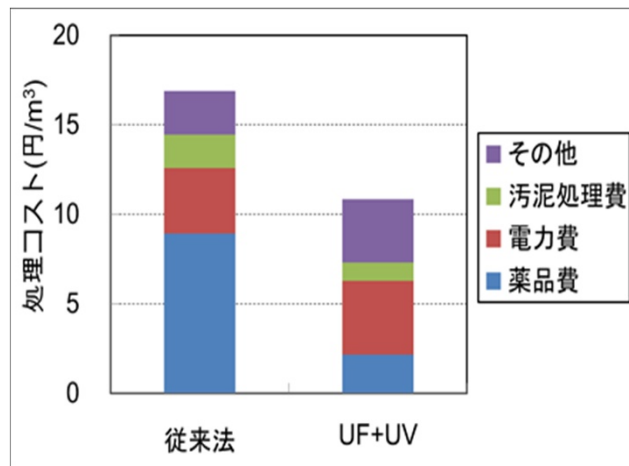


図2-2-5 「従来プラント」と「CRESTプラント」のコスト比較(CREST研究成果)

出典: [8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

④敷地面積

「従来プラント」は、凝集・沈殿と砂ろ過の占める設置面積割合が広い。

それに対して、「CRESTプラント」では、この工程をUF膜ろ過のみで代替できるので、設置面積が約6割減と劇的に低減できる(図2-2-6)。

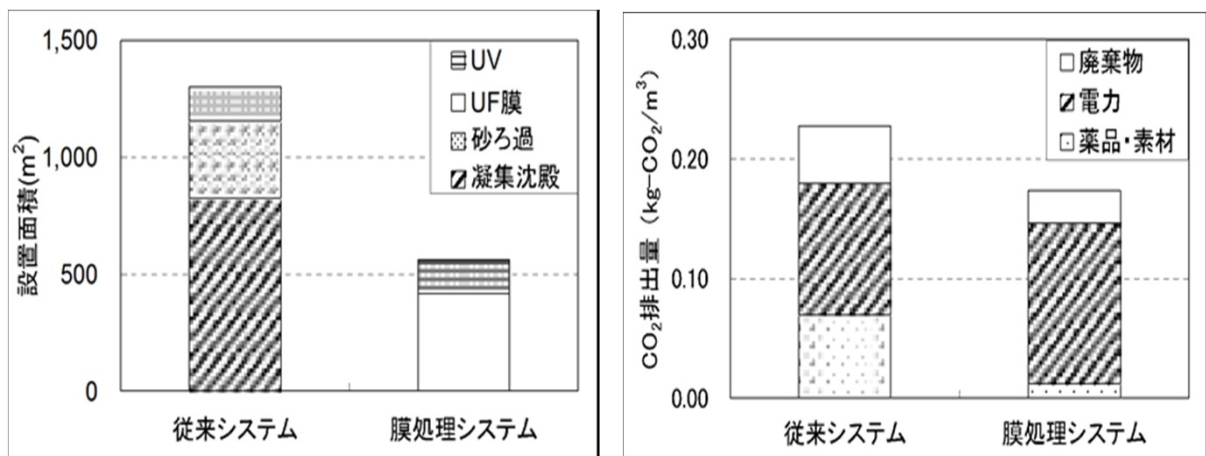


図2-2-6 「従来法(凝集沈殿+砂ろ過+UV消毒)」と「膜処理(UF膜+UV消毒)」の敷地面積等比較(CREST研究成果)

出典: [8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

⑤ウイルス除去

UV(紫外線)消毒は、ウイルスなどの病原微生物に効果的な方法であり、かつ有害な消毒副生成物(トリハロメタンなど)の生成がない。

そのうえ、UV消毒の操作は塩素消毒に比べて容易であり、薬品費がない等の利点も有する。

「糸満市浄化センター」の処理水中には、アンモニアが高濃度で含まれているので、注入した塩素剤は遊離残留塩素ではなく、クロラミンなどの結合塩素となる。

そのため、塩素消毒の効果を上げるには、塩素剤を多く注入する必要がある、UV消毒がコスト面からも有利である。

CREST研究で、UF膜ろ過処理(Flux=1m/日)において、平均で2.4logのウイルス除去率が得られている(図2-2-7)。

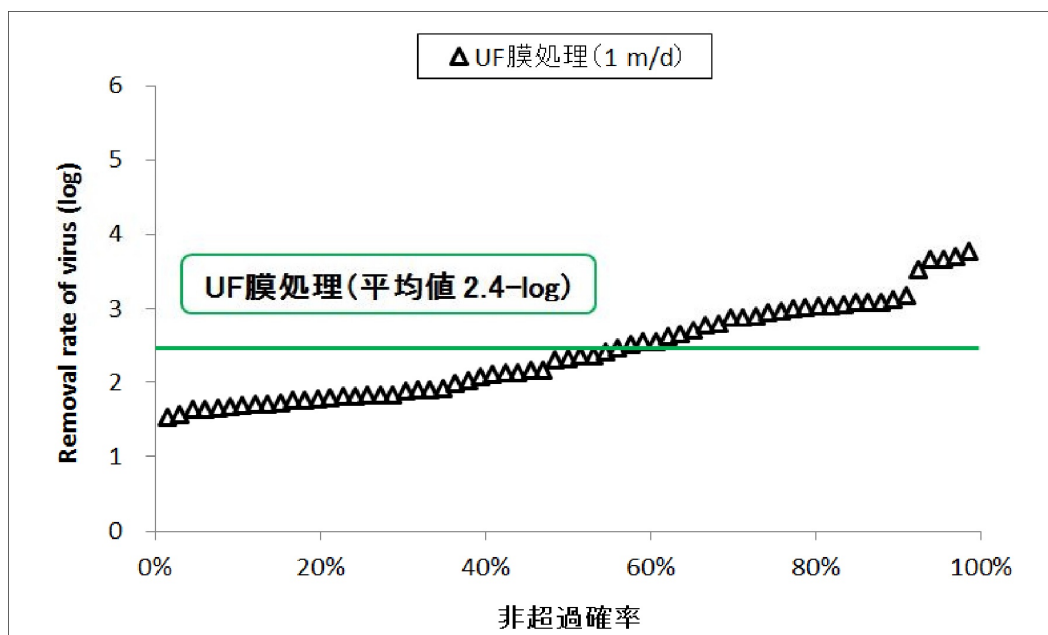


図2-2-7 二次処理水のUF膜ろ過処理のみでのウイルス除去率結果(CREST研究成果)
出典: [8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

次に、UF膜ろ過後の処理水において、UV照射量(UV dose)を変化させた場合のウイルス除去率を次図に示す。

この結果より、UF膜ろ過処理(1m/日)を行った場合、UV照射量は80mJ/cm²以上で、5log以上のウイルス除去率を満たすことが確認されている(図2-2-8)。

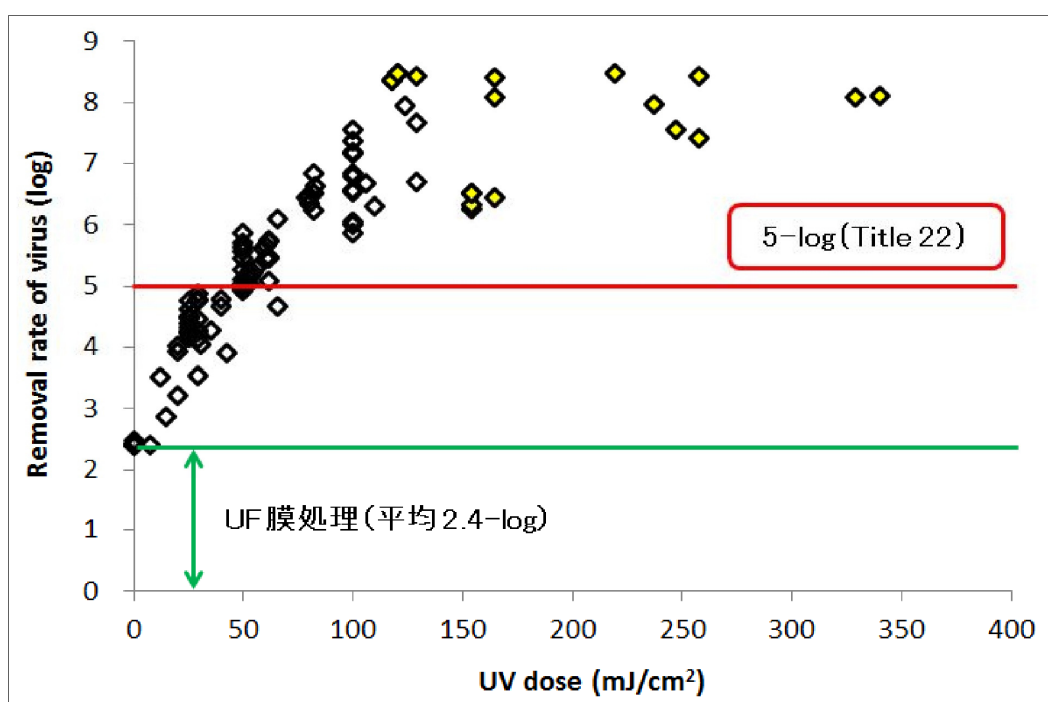


図2-2-8 UF膜ろ過処理後のUV照射量におけるウイルス除去率結果(CREST研究成果)
出典: [8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

「従来プラント」(凝集・沈殿＋砂ろ過＋UV消毒)の「島尻地区」での試験結果[3]では、照射量30、70、100、140mJ/cm²で、それぞれ0.71、1.9、3.1、4.4logのウイルス除去率が報告されている。

この「従来プラント」のウイルス除去率に比べ、「CRESTプラント」のウイルス除去率は高い(図2-2-8)。

理由として、「従来プラント」の砂ろ過に比べ、「CRESTプラント」のUF膜ろ過では、膜孔径である0.01 μ m以上の粒子は、ほとんど除去されるため、高いウイルス除去率が得られたと考えられる。

つまり、「CRESTプラント」(UF膜ろ過＋UV消毒)は、UV消毒前段で、高い粒子除去性能を有するUF膜によるろ過処理を行っている。

UF膜ろ過水の水質変動は少なく、ウイルス除去率の変動からみると、他方法(凝集沈殿＋UF膜ろ過)に比べても、非常に安定しており、ウイルス除去の信頼性が高い(図2-2-9)。

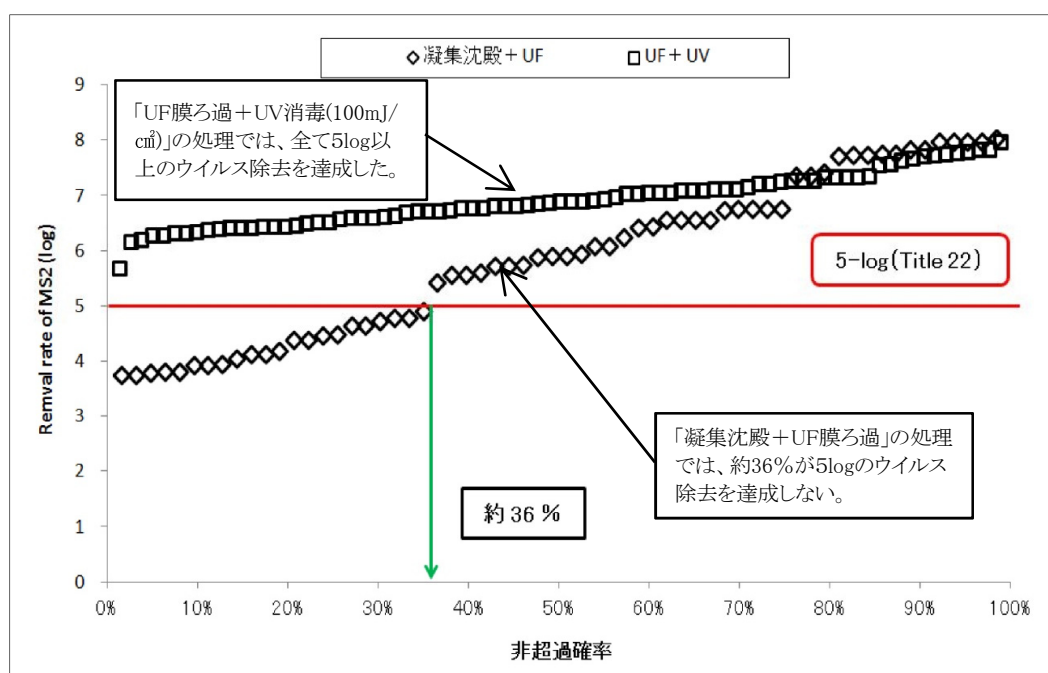


図2-2-9 「UF膜ろ過＋UV消毒」処理のウイルス除去率の試験結果(CREST研究成果)

出典: [8] JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

⑥実証プラントの成果

平成27年度から、国土交通省の下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)[9]により、「糸満市浄化センター」内に1,000m³/日規模の実証プラントが建設され、糸満市や京都大学等の共同研究体による本格的な実証試験が開始されている。

この実証試験より、「再生水」の畑地灌漑利用に、必要な運転管理や再処理コストなどのデータ入手が可能となる。

2-3. 選定した再生水処理施設(再生水)の水質

選定した再生水処理施設の「再生水」は、ISOガイドラインのカテゴリAの水質、およびCREST研究でのウイルス除去率を満足している。また、この「再生水」は、畑地灌漑のための水質評価指針の使用制限度としては、「小～中程度」の水質である。

【解説】

(1)「人の健康」に関連する水質項目

モデル対象地域では、「糸満市浄化センター」の二次処理水を「CRESTプラント」(UF膜ろ過+UV消毒)で再処理した「再生水」を、生食用野菜などへの畑地灌漑用水として採用す「CRESTプラント」の「再生水」は、ISOガイドラインのカテゴリAの水質、およびCREST研究[8]でのウイルス除去率を満足している(表2-3-1)。

表2-3-1 ISOガイドライン指標とウイルス除去率(CREST研究)に対する「CRESTプラント」の再生水水質

| ISOガイドライン※1 | | | | | | | | | | | | | CREST 研究 | |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----|---------------|----|-------------------|-------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|---------------------|
| カ テ ゴ リ | 下水処理水 の水質 | BOD ^{b), j)} | | 浮遊物質 (TSS) | | 濁度 ^{c)} | | 糞便性 大腸菌群 ^{d)} | | レジオネラ 属菌 ^{e), i)} | | バリア なしに 使用できる 範囲 | 対応する 下水 処理方法 | ウイルス 除去率 |
| | | (mg/L) | | (mg/L) | | (NTU) | | (個/100mL) | | (CFU/L) | | | | |
| | | 平均 | 最大 | 平均 | 最大 | 平均 | 最大 | 95%ile | 最大 | 平均 | 最大 | | | |
| A | とても高い 水質の 下水処理水 ^{d)} | ≤5 | 10 | ≤5 | 10 | ≤2 | 5 | ≤10 | | | | 使用制限 のない 都市灌漑 ^{j)} 、生食用 作物の 農業灌漑 | 二次処理 ^{h)} 、接触ろ過 あるいは 膜ろ過 ^{g)} と 消毒 ^{h)} | >5log |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| A | CREST プラント※2 (本地域 採用) | 0.0 | 0.0 | <1 | <1 | 0.2 ^{m)} | 0.2 ^{m)} | <2 (検出 限界) | <2 (検出 限界) | <10 ^{m)} (検出 限界) | <10 ^{m)} (検出 限界) | 生食用 野菜等の 畑地灌漑 | 二次処理 + UF膜ろ過 +UV消毒 | 5.2log 以上を 達成 |

注: それぞれの下水処理水において、より高度な水質の下水処理水の利用が可能である。

a): 推奨された制限は、国際規制、例えばWHO(2006)[32]およびU.S.EPA(2012)[31]に基づいて詳述されている。また処理施設の出口で採取した水に適用される。開放型貯水池で貯蔵し、散水あるいは局所的な灌漑に利用するには、ろ過の追加が必要ながある。サンプリング頻度と平均値の計算はISOガイドライン第4部[14]に示されている。

b): BODは5日間の試験で判断される。

c): 濁度の連続測定は、実施可能である。平均値は、24時間に基づくべきである。浮遊物質を濁度の代わりに使用する場合、平均TSSは5mg/Lを超えてはいけな。膜ろ過(孔径0.45 μm以下の膜によるろ過)を利用した処理では、濁度が0.2NTUを超えるべきではない。

d): 「高い水質」と「とても高い水質」の下水処理水では、残留塩素濃度0.2～1mg/Lで接触時間30分後に測定する必要がある。他の方法で殺菌する場合は、その殺菌状態を監視する必要がある。

e): 未処置の下水中の寄生虫卵の数が常に10卵/L未満であることが示されれば、腸内線虫類(寄生虫卵)を定期的に監視しなくてもいい場合がある。

f): 2次処理は、活性汚泥法、散水ろ過法、回転生物接触法(回転円板法)、生物膜法、生物反応槽、回分式活性汚泥法などを含む。

g): ろ過は、マイクロスクリーニング、カートリッジろ過、高速砂ろ過、2層ろ過、ろ布、化学薬品の添加有無に関係なくディスクフィルター(接触ろ過)、ならびに膜プロセスおよび膜分離活性汚泥法(MBR)を含む。

h): 消毒は、UV照射、オゾン処理、塩素、または他の化学物質、物理化学、または膜プロセスを含む。

i): 高速沈殿法は、凝結、凝集と傾斜板式(ラメラセッティング)を含む。

j): うまく設計された安定化池システムは、追加の消毒をせずに大腸菌群の規制値を満たすことができる。溶解性BOD値が考慮されている。

k): 物理化学的指標(BOD,TSS)は、CODを追加ができる地域では、下水処理の規制に応じた指標の調整ができる。エアロゾル化(微粒子)の危険性があるときは、レジオネラ属菌はハウスにおいて、1,000CFU/L未満でなければならない。

m): 濁度の水質分析は、カオリン濁度による。レジオネラ属菌の分析単位は、CFU/100mLである。

※1出典:[12]ISO 16075-2(2015), Table1を編集 備考:ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。

※2:[9]B-DASHプロジェクト実証研究(2017), BOD:平成27年度水質試験データ, SS・濁度・糞便性大腸菌群・レジオネラ属菌:平成28年度水質試験データ

(2)「農業」と「環境」に関連する水質項目

「CRESTプラント」の「再生水」は、畑地灌漑のための水質評価指針の使用制限度としては、「小～中程度」の水質である(表2-3-2)。

表2-3-2 畑地灌漑の水質評価指針^{a)}に対する「CRESTプラント」の再生水水質

| 農業と環境への影響 | | 使用制限度 | | | CRESTプラント |
|------------------------------------|--------------|-----------------|--------------------|--------|----------------------|
| 塩分の影響 | | なし | 小～中程度 | 深刻 | 再生水の水質 ^{※4} |
| 電気伝導度EC _w ^{b)} | (dS/m=mS/cm) | <0.7 | 0.7～3.0 | >3.0 | 0.776 |
| 全溶解性蒸発残留物TDS | (mg/L) | <450 | 450～2,000 | >2,000 | 422 ^{※3} |
| ナトリウム(Na) | | EC _w | | | 0.776 |
| SAR ^{c)} | 0～3 | ≥0.7 | 0.7～0.2 | <0.2 | 6.26 |
| | 3～6 | ≥1.2 | 1.2～0.3 | <0.3 | |
| | 6～12 | ≥1.9 | 1.9～0.5 | <0.5 | |
| | 12～20 | ≥2.9 | 2.9～1.3 | <1.3 | |
| | 20～40 | ≥5.0 | 5.0～2.9 | <2.9 | |
| 特定イオン毒性の影響 | | なし | 小～中程度 | 深刻 | 再生水の水質 ^{※4} |
| ナトリウム(Na) ^{d),e)} | (果樹等) | | | | |
| 地表灌漑 | SAR | <3 | 3～9 | >9 | 6.26 |
| スプリンクラ灌漑 ^{※2} | (meq/L) | <3 | >3 | | 4.34 |
| | (mg/L) | <70 | >70 | | 99.8 |
| 塩素(Cl) ^{d),e)} | (果樹等) | | | | |
| 地表灌漑 ^{※2} | (meq/L) | <4 | 4～10 | >10 | 4.25 |
| | (mg/L) | <140 | 140～350 | >350 | 151 |
| スプリンクラ灌漑 ^{※2} | (meq/L) | <3 | >3 | | |
| | (mg/L) | <100 | >100 | | |
| 塩素(Cl) ^{※1} | (野菜等) | (mg/L) | 200～550 | >550 | 151 |
| ホウ素(B) | (mg/L) | <0.7 | 0.7～3.0 | >3.0 | 0.12 |
| その他の影響 | | なし | 小～中程度 | 深刻 | 再生水の水質 ^{※4} |
| 全窒素(T-N) ^{f)} | (mg/L) | <5 | 5～30 | >30 | 11.5 |
| 全リン(T-P) | (mg/L) | <5 | 5～7 | >7 | 0.077 |
| 重炭酸(HCO ₃) | | | | | |
| スプリンクラ灌漑のみ | (mg/L) | <90 | 90～500 | >500 | 73 |
| 残留塩素 | | | | | |
| スプリンクラ灌漑のみ | (mg/L) | <1.0 | 1.0～5.0 | | 塩素剤注入なし |
| pH ^{※1} | — | | 6.0～8.5 (正常な範囲) | >5 | 6.95 |
| 浮遊物質(SS) ^{※1} | (mg/L) | <40 | 40～100 | >100 | <1 |

a): [30]Water quality for agriculture(1994), Table 1

[20]水再生利用学(2010), 表-17.5

b): 灌漑水の電気伝導度

c): ナトリウム吸着比(式1.11)

d): 多くの樹木作物や園芸樹は、ナトリウムと塩素に敏感であり、多くの一年生作物は、敏感ではない[20]。

e): 低湿度(<30%)でのスプリンクラ灌漑においては、ナトリウムまたは塩素がそれぞれ70または100mg/ℓ以上の濃度では、過度の葉への付着と敏感な作物に対する作物被害を引き起こす[20]。

f): 全窒素(T-N)には、硝酸性窒素、アンモニア性窒素、有機性窒素が含まれる。排水中の窒素形態は、様々であるものの、植物は、全窒素量に感応する[20]。

※1参考: [28]畑作物の水質環境(2003), 我が国の事例等を参考として設定(表1-5-9, 19, 23)。

※2: Na⁺: 1meq/L=23mg/L, Cl⁻: 1meq/L=35.5mg/L

※3出典: [27]再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度), 再生水水質結果(2014/11/13, 2015/1/19～2/17)

※4出典: [9]B-DASHプロジェクト実証研究(2017), 平成27年度および28年度の精密水質試験結果平均値

次表に示すとおり、「糸満市浄化センター」の放流水と再生水の微量元素は、FAO(1994)およびISOガイドラインの灌漑水の推奨最大濃度以下である。

表2-3-3 FAOとISOの微量元素の灌漑水の推奨最大濃度に対する「糸満市浄化センター」放流水と再生水水質(mg/L)

| 元素 | | FAO (1994) ^{※1} | ISO (2015) ^{※2} | | 糸満市浄化 センター | | 注釈 |
|----|--------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------|-------------------|--|
| | | 推奨 最大濃度 | 月 平均値 | 最大値 (1回の測定) | 放流水 ^{※3} | 再生水 ^{※4} | |
| Al | アルミニウム | 5.0 | 5 | 12.5 | — | <0.05 | 酸性土壌(pH<5.5)では、生産障害を引き起こすが、アルカリ土壌(pH>5.5)では、イオンの析出により毒性が排除される。 |
| Be | ベリリウム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | — | <0.05 | 毒性を引き起こす濃度は、植物種によって大きく異なる。(ケール5mg/L, ツルナシインゲン0.5mg/L)。 |
| Cd | カドミウム | 0.01 | 0.01 | 0.025 | <0.01 | — | 豆類・ビート類、カブ類に対しては、0.1mg/Lほどの低濃度(栄養溶液中)で毒性を示す。植物中や土壌中カドミウムが人体に影響を及ぼす程度まで蓄積する可能性があるため、低い許容限度が推奨される。 |
| Cr | クロム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | N.D. | — | 一般に作物成長にとって不可欠な元素とは考えられていない。植物に対する毒性は、十分理解されていないため、低い許容限度が推奨される。 |
| Co | コバルト | 0.05 | 0.05 | 0.125 | — | <0.05 | トマトの木には0.1mg/L(栄養溶液中)で毒性を示す。中性・アルカリ土壌で不活性化する傾向がある。 |
| Cu | 銅 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | <0.1 | — | 0.1~1.0mg/L(栄養溶液中)の濃度で多くの植物に毒性がある。 |
| CN | シアン化合物 | — | 0.1 | 0.2 | <0.1 | — | |
| F | フッ素 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 0.1 | — | 中性・アルカリ土壌では毒性が見られない。 |
| Fe | 鉄 | 5.0 | 2 | 5 | <0.1 | — | 好気土壌では植物に対する毒性はないが、土壌酸性化および植物成長にとって不可欠なリンやモリブデンの有効性を低下させる。スプリンクラー灌漑は、植物・設備・建物に苦しい鉄の付着を引き起こす可能性がある。 |
| Pb | 鉛 | 5.0 | 0.1 | 0.25 | <0.01 | — | 高濃度で植物細胞の成長を阻害する。 |
| Li | リチウム | 2.5 | 2.5 | 6.25 | — | <0.05 | 5mg/Lまでは多くの作物には耐性がある。柑橘類へは低濃度(>0.075mg/L)で毒性を示し、ホウ素に似た作用をする。 |
| Mn | マンガン | 0.20 | 0.2 | 0.5 | <0.1 | — | 一般的に酸性土壌で、0.2~0.3mg/Lから数mg/Lの濃度で多くの作物に毒性を示す。 |
| Hg | 水銀 | — | 0.002 | 0.005 | <0.0005 | — | |
| Mo | モリブデン | 0.01 | 0.01 | 0.025 | — | <0.05 | 土壌および水中の通常の濃度では植物に害はない。高濃度のモリブデンを含む土壌で飼料が栽培された場合、家畜に害を及ぼす可能性がある。 |
| Ni | ニッケル | 0.20 | 0.2 | 0.5 | — | <0.05 | 0.5~1.0mg/L(栄養溶液中)の濃度で多くの植物に毒性を示す。中性またはアルカリpH条件で毒性は低下する。 |
| Se | セレン | 0.02 | 0.02 | 0.05 | <0.01 | — | 0.025mg/L程度の低濃度で植物に毒性を示し、セレンが比較的高い濃度に添加された土壌で飼料が栽培された場合、家畜にも毒性がある。動物には必須元素であるが、非常に低濃度である。 |
| V | バナジウム | 0.10 | 0.1 | 0.25 | — | <0.05 | 比較的低濃度で多くの植物に毒性を示す。 |
| Zn | 亜鉛 | 2.0 | 2 | 5 | <0.1 | — | 幅広い濃度で多くの植物に毒性を示す。pH6以上および細粒土壌または有機土壌では毒性は低下する。 |
| As | ヒ素 | 0.10 | — | — | <0.01 | — | 植物への毒性は、スーダングラス12mg/Lから米0.05mg/Lの範囲で大きく異なる。 |
| Sn | スズ | — | — | — | — | <0.1 | 植物によって効率的に除去される。特有の耐性は知られていない。 |
| Ti | チタン | — | — | — | — | <0.1 | スズを参照。 |
| W | タングステン | — | — | — | — | <0.1 | スズを参照。 |

※1出典: [26] Water quality for agriculture(1994), Table 21

※2出典: [11] ISO 16075-1(2015), Table B.6 備考: ISOガイドラインの英文を、独自に日本語に訳して掲載している。注意: ISOガイドラインの値はFAO(1994)を参照し、イスラエルの灌漑から導き出されイスラエルの規則に適合したもの。

※3出典: [19] 糸満市浄化センター水質及び汚泥分析業務報告書(平成27年度)

※4出典: [9] B-DASHプロジェクト実証研究(2017), 平成28年度水質試験結果

2-4. 再生水の生食用作物への畑地灌漑利用管理マニュアル

再生水供給側と再生水利用側の関連者への影響を最小限にし、日々における再生水の供給停止を防止するために、役立つ手順や情報を提供する本マニュアルを管理者は参考とする。

【解説】

(1)再生水の畑地灌漑利用で懸念される問題

再生水を生食用作物へ畑地灌漑利用する場合の問題としては、再生水の適切な処理や適切な利用がされないことで、農業者や地域住民および消費者が、健康リスクを引き起こす可能性があることである。

このような問題が起きると、再生水による農業利用が継続できなくなる。

人の健康リスクの問題は、再生水供給側(市等)や再生水利用側(農業者)以外の、流通業者や再生水を利用していない生産者、および消費者などの人々も含めて、「風評」が広がる可能性がある。

再生水が適切に管理されていない場合、次のような結果をもたらす可能性がある。

- ❖ 問題(健康リスク)を、過大にエスカレートさせる。
- ❖ 再生水農業利用に対して、批判的なメディアや消費者などによる「風評被害」が生じる。
- ❖ 再生水を利用した農作物のイメージを、悪化させる。
- ❖ 再生水を利用していない農業へも、悪影響を与える。

(2)再生水畑地灌漑利用における管理マニュアル作成の目的

本マニュアルの目的は、再生水供給側と再生水利用側の関連者への影響を最小限にし、日々における再生水の供給停止を防止しながら、管理者が問題を解決するのに役立つ手順や情報を提供することである。

再生水は、灌漑用の清潔で安全な水であり、その信頼性は、最も貴重な資産である。しかし、再生水の管理に問題が生じた場合には、農業者や地域住民および消費者の健康リスクを引き起こし、再生水を利用する農家の評判を損傷する可能性がある。

再生水灌畑地漑利用における管理組織の各メンバー(糸満市役所農村整備課計画管理係、糸満市土地改良区、管理を委託された水処理専門業者、評価・監視組織)は、再生水の信頼性強化の一翼を担っている。

再生水畑地灌漑利用管理マニュアルは、再生水の信頼性を維持するために、それぞれの組織が行うべき管理が、適切に実行されるために計画したものである。

本マニュアルでは、問題への対応のためのフローチャートや、標準的な作業手順なども含んでいる。

本マニュアルは定期的に更新し、再生水プロジェクトホームページで管理者や農業者および消費者などが、入手し利用できるものとしている。

(3)再生水畑地灌漑利用のリスク管理対象

モデル対象地域では、再生水の生食用作物への畑地灌漑利用を想定した、リスク評価基準点とリスク管理内容及び管理組織(案)を参考に(図2-4-1)、ノロウイルス等によるリスク管理を行う。

再生水の病原微生物に対する包括的な安全管理の仕組みを構築するには、食品や飲料水などのリスク管理手法として推奨されているHACCP (Hazard Analysis Critical Control Point)を、適用したリスク管理手法が有効であるとされている。

再生水は、原水として下水処理水を用いることから、既に危害(ハザード)としての病原微生物を含んでおり、対策を講じることで、病原微生物リスク(=ハザード)を除去あるいは低減することになる。

病原微生物は、季節変動や再生処理変動等により、常に流入水(下水処理水:再生水原水)および製造される再生水中の濃度変動が生じる。そのため、濃度変動や処理変動を考慮した適切な健康リスク評価を行い、重要管理点を特定し管理していくことが必要不可欠である。

再生水処理技術においては、原水濃度変動や再生水処理の除去変動を調査するとともに、これら変動に加えて、再生水の利用用途に応じ、送水や供給方法等を考慮した定量的微生物リスク評価(QMRA)を行い、病原微生物に対する包括的な安全管理の仕組みを構築することが必要である。

下図は、CREST研究成果を参考に、モデル対象地域である「糸満市北部地区」での再生水の農業利用を想定した、水利用に関するプロセスフローである。

沖縄県での再生水生食用作物畑地灌漑利用時の病原微生物のリスク管理の対象は、年間を通して下水や下水処理水から検出され、特に冬場の感染胃腸炎患者数の増加に伴い、濃度が増加する傾向のあるノロウイルスである。

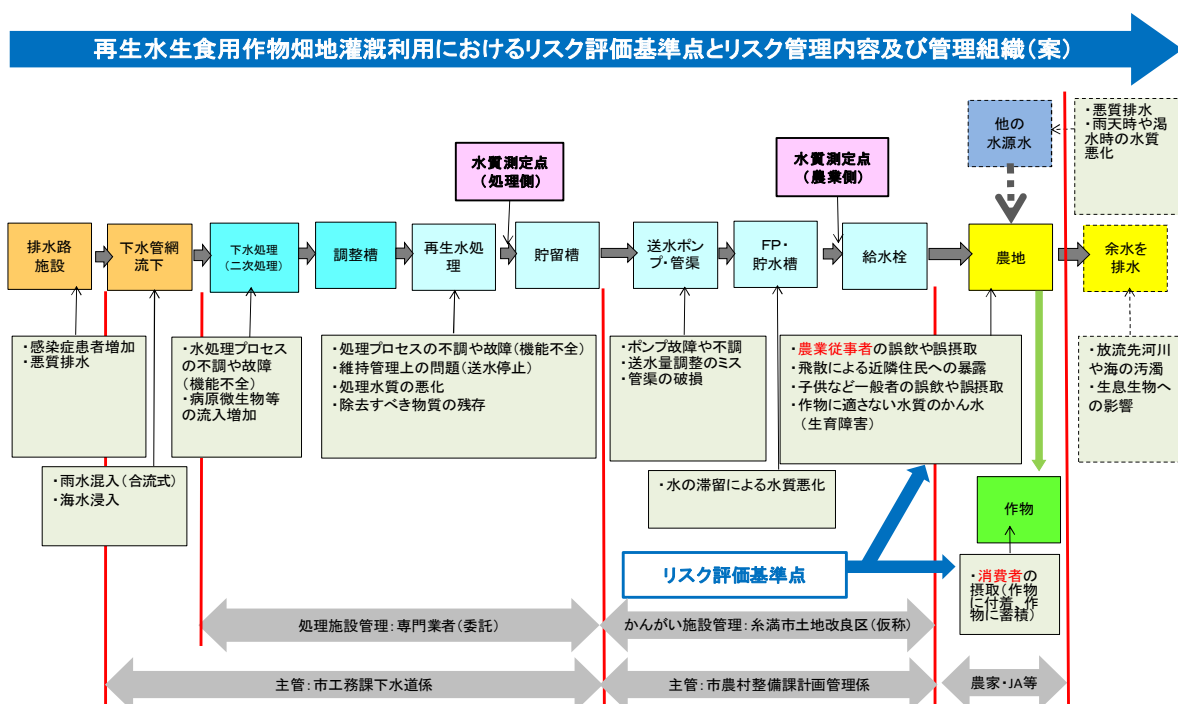


図2-4-1 糸満市北部地区における再生水の生食用作物への畑地灌漑利用に関するプロセスフロー
参考: [8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

再生水農業利用における病原微生物による健康リスクの管理手順(図2-4-2)に従い、①糸満市北部地区における再生水処理と農業利用のフローより、各プロセスでの危害(ハザード)が想定される。

CREST研究成果を参考に、本モデル対象地域で想定される危害(ハザード)から、②「重要な危害(ハザード)」の抽出と予防装置を特定し、③危害(ハザード)のうちで管理すべき「重要管理点(CCP)」が、定量的微生物リスク評価(QMRA)より特定される(表2-4-1)。

その結果、本モデル対象地域においては、下水処理と再生水処理工程における処理プロセスの不調、または流入水の病原微生物(ノロウイルス)の濃度増加が、重要管理点(CCP)であることが明らかである(表2-4-1)。

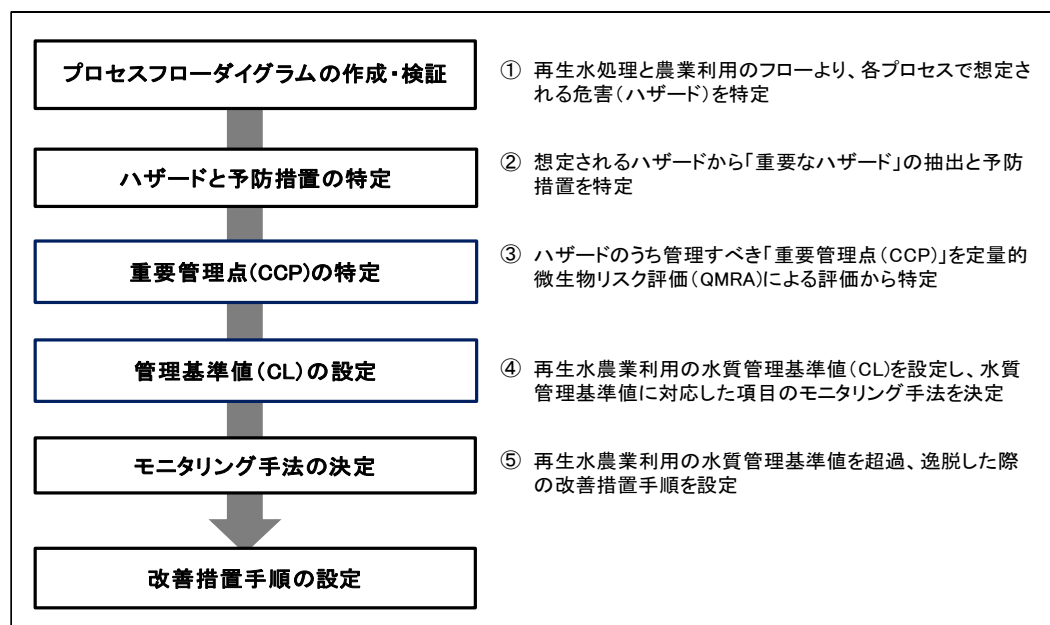


図2-4-2 病原微生物リスク管理手順

参考:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

表2-4-1 糸満市北部地区の「重要な危害要因」と予防装置および想定される管理の頻度と組織

| 工程 | 発生が予想される 危害要因 | 重要な 危害要因になるか? | 病原微生物 リスク評価 | 重要 管理点 か? | 予防措置 | 管理頻度 | 管理組織 |
|-------|--|--|--|-----------------|---|----------------------|----------------------------|
| 除害施設 | ◆病原微生物(ノロウイルス)等の感染症患者の増加 | ➢感染者増加に伴い下水中の病原微生物(ノロウイルス)等の濃度増加 | ・流入源水のノロウイルス濃度は、流行期や非流行期により変動があり、流行期においても濃度変動幅は一定である。 (不確実要素:小) | No | ■南部福祉保健所健康推進班のHPより病原微生物(ノロウイルス)等の感染情報を入手 http://www.pref.okinawa.lg.jp/site/kodomo/hoken-nan/kenko/kansenshou.html | ・毎日確認記録 | ・水処理専門業者が確認 |
| 下水処理 | ◆下水処理プロセスの不調(機能不全) ◆病原微生物(ノロウイルス)等の流入増加 | ➢処理効率低下による感染リスク増大 ➢除去率一定だと、放流濃度増加のため感染リスク増大 | ・下水処理では、流入水質の水質状況に応じて、処理変動が生じる。 (不確実要素:大) | Yes | ■下水処理施設の定期的な点検の実施 ■消毒等の追加処理による緊急対策 | ・毎日 ・流入増加が確認された時点 | ・水処理専門業者が管理 (市下水道係が委託) |
| 再生水処理 | ◆再生水処理プロセスの不調(機能不全) | ➢処理効率低下による感染リスク増大 | ・再生水処理では、下水処理水の水質状況に応じて、処理変動が生じる。 (不確実要素:大) | Yes | ■再生水処理施設の定期的な点検の実施 ■再生水処理施設の安定性をモニタリング | ・毎日 | ・水処理専門業者が管理 (市下水道係が委託) |
| 農業利用 | ◆農家や地域住民が再生水を誤飲・誤摂取 | ➢再生水農業利用の周知が不十分だと感染リスク増大 | ・利用時における曝露シナリオが一定である。 (不確実要素:小) | No | ■再生水は農業向けの水であり、飲料に適していない水であることを、農家や地域住民に指導 ■農家や地域住民が誤飲・誤摂取しないための注意喚起看板設置やパンフレット配布等の啓発対策実施 | ・2回/年 | ・糸満市土地改良区が実施 ・市農村整備課が指導 |
| 作物収穫 | ◆消費者が病原微生物(ノロウイルス)等が付着した作物を摂取 | ➢作物に病原微生物(ノロウイルス)等が付着 | ・作物への付着や摂取は一樣と仮定される。 (不確実要素:小) | No | ■飛沫を発生させないようなかん水形態(マイクロかんがい等)導入への指導 ■スプリンクラーによる再生水の散水は出荷約一週間前までとし、消毒された水道水等により出荷する作物を水洗い等の対策を指導 | ・2回/年 | ・糸満市土地改良区が実施 ・市農村整備課が指導 |

参考:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

次に、④再生水農業利用の水質管理基準値(CL)を設定し、水質管理基準値に対応した項目のモニタリング手法を決定し、⑤水質管理基準値を超過あるいは逸脱した際の改善措置手順を設定し、本モデル対象地域の農業利用時のノロウイルスに関するリスク管理方法を検討する(表2-4-2)。

表2-4-2 糸満市北部地区の再生水生食用畑地灌漑利用におけるノロウイルスのリスク管理の検討事項

| ノロウイルスのリスク管理 (手順) | 検討事項 (再生水の生食用作物への畑地灌漑) |
|----------------------|--|
| ハザードと予防措置の特定 | ➢リスク評価対象(農家、地域住民、消費者)での健康被害への影響、発生頻度から重要と判断した工程を抽出し特定 |
| 重要管理点(CCP)の特定 | ➢原水中の流入濃度の増加 ●追加処理や消毒強化による対応 ➢処理プロセスの不調 ●定常運転かを常時モニタリング |
| 水質管理基準値(CL)の設定 | ➢リスク評価から定量的な目標値を設定 ●ウイルス除去率5log(99.999%)以上 ➢ノロウイルス濃度に対応した水質(濁度等)を水質管理基準値として設定 ●ノロウイルス濃度に対応した水質の相関データの取得や蓄積(CREST研究とB-DASHプロジェクトの成果) |
| モニタリング手法の決定 | ➢水質管理基準値に対応した水質を現場で測定・常時モニタリング ➢地区内の感染者情報からノロウイルス濃度負荷量を推定 ●南部福祉保健所HPより入手 |
| 改善措置手順の設定 | ➢水質管理基準値を超過・逸脱した場合 ●送水停止やUV(紫外線)消毒の強化処理 |

参考:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

以上より、本モデル対象地域における再生水の生食用作物への畑地灌漑利用の重要管理点(CCP)が特定され、病原微生物(ノロウイルス)に対するリスク管理方法が提案される。

この成果は、沖縄県における再生水の生食用作物への灌漑利用の管理マニュアルの基礎となりうるものであり、病原微生物(ノロウイルス)に対する本モデル対象地域の安全管理方法として参考となる。

2-5. 再生水処理施設の運転管理水質基準

モデル対象地域において、再生水を生食用作物への畑地灌漑用水として利用する場合には、運転管理水質基準に基づいて、再生水処理施設の運転管理が行われなければならない。

【解説】

(1) 運転管理水質基準の項目

- ①【人の健康への影響】：☞再生水の利用に際し、人(農業者・地域住民・消費者)の健康に影響がないこと。
- ②【農業への影響】：☞再生水を利用して、安全で安定した農業が可能であること。
- ③【環境への影響】：☞再生水の利用に際し、環境に影響を与えないこと。

再生水処理施設を管理するにあたって、【人の健康への影響】の観点から「濁度」と「大腸菌」および「外観」「臭気」、【農業への影響】の観点から「pH」と「塩素イオン濃度(EC)」の6項目を運転管理水質基準の項目とする(表2-5-1)。

ただし、【環境への影響】の観点から検討すべき栄養塩類は、窒素とリンが肥料の一部として作用することより、運転管理水質基準の項目とはしない。

維持管理費を極力低減するために、再生水処理施設の運転管理は自動測定による方法を用い省力化を図る。

「運転管理水質基準」での濁度と大腸菌の分析は、システム(特に膜ろ過)の運転状態を確認する目的で行うものであり、システムおよび濁度計が正常に機能していることが確認できるのであれば、分析頻度は適宜変更する。

また、塩素イオン濃度は、EC(電気伝導度)との相関がとれる場合は、測定を必要としない。その場合のECの基準値は、塩素イオン濃度の基準値から相関式を用いて換算した値とする。

表2-5-1 再生水処理施設の運転管理水質基準

| 水質項目 | 再生水処理施設の 運転管理水質基準 | 二次処理水 (原水) | 膜ろ過水 | 再生水 | 影響項目 | |
|-------------------|--|-----------------|-----------------|---------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | | | | | 人への安全性 | 農作物への影響 |
| 濁度※1 | ・0.2NTU(濁度の単位)以下 (日間平均値) | 連続監視 分析:2回/月 | 連続監視 分析:2回/月 | — | ○ (ISOガイドライン、 B-DASHガイドライン) | |
| EC※2 (塩素イオン濃度) | ・日間平均EC:1.0mS/cm以下 (日間平均塩素イオン濃度:200mg/L以下) ・日最大EC:2.0mS/cm以下 (日最大塩素イオン濃度:550mg/L以下) | — | 連続監視 | — | | ○ (畑地灌漑の水質評価 指針:表2-3-2) |
| pH | ・日間平均値が6.0~8.5 | 連続監視 | — | — | | ○ (畑地灌漑の水質評価 指針:表2-3-2) |
| 大腸菌※1 | ・不検出 | — | 分析:2回/月 | — | ○ (B-DASHガイドライン) | |
| 外観 | ・不快でないこと | — | — | 測定:1回/週 | ○ (B-DASHガイドライン) | |
| 臭気 | ・不快でないこと | — | — | 測定:1回/週 | ○ (B-DASHガイドライン) | |

※1:濁度と大腸菌の分析は、システム(とくに膜ろ過)の運転状態を確認する目的で行うものであり、システム及び濁度計が正常に機能していることが確認できるのであれば、分析頻度は適宜変更する。

※2:塩素イオン濃度は、EC(電気伝導度)との相関がとれる場合は、測定を必要としない。ただし、その場合のECの基準値は、塩素イオン濃度の基準値から相関式を用いて換算した値とする。

参考:[10]B-DASHプロジェクト UF膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水の創水【仮称】導入ガイドライン(案)(2017)

(2) 運転管理水質基準の設定根拠

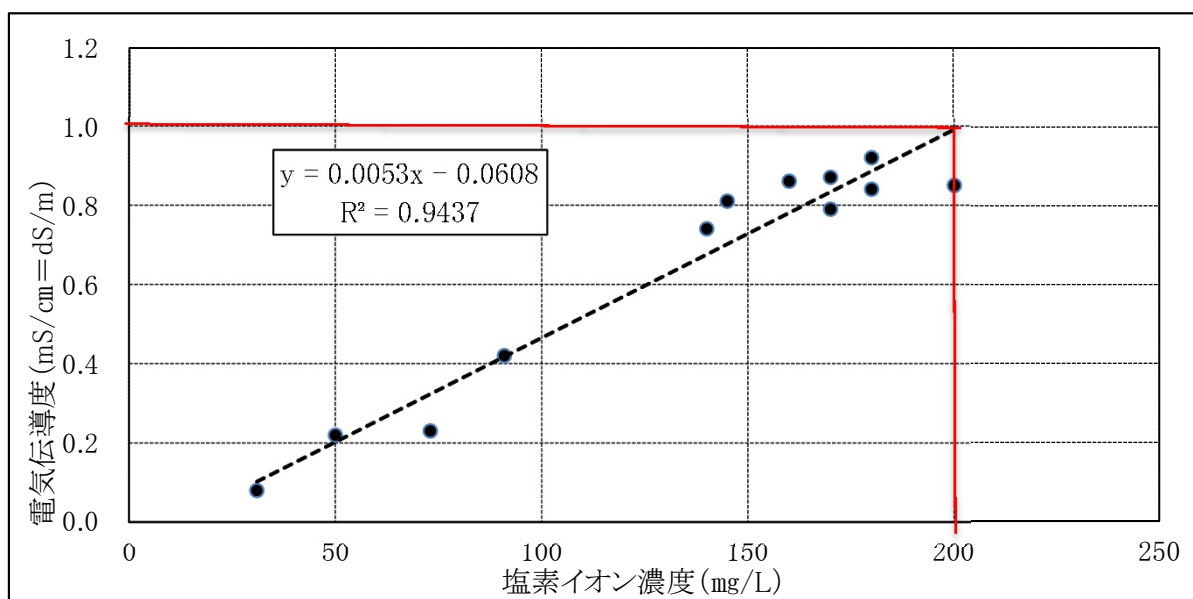
① 濁度

☛ 再生水処理施設では、UF膜を用いたろ過を行うため、ISOガイドライン(表2-3-1)に基づいて、濁度の日平均値は0.2NTU以下とする。

② 塩素イオン濃度(EC)

☛ 畑地灌漑の水質評価指針(表2-3-2)に基づいて、塩素イオン濃度の日平均値は200 mg/L以下とし、最大値は550 mg/Lを超えないとする。

☛ 管理は、塩素イオン濃度と相関のあるEC(電気伝導度)にて行う。



| 項目 | 採取試料(2014/11/13、2015/01/19～01/24) | | | | | | | | 希釈液(2015/01/21採取分) | | | |
|-------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|------|------|
| 塩素イオン濃度 (mg/L) | 145 | 140 | 180 | 200 | 170 | 180 | 160 | 170 | 91 | 73 | 50 | 31 |
| EC(電気伝導度) (mS/cm) | 0.81 | 0.74 | 0.84 | 0.85 | 0.87 | 0.92 | 0.86 | 0.79 | 0.42 | 0.23 | 0.22 | 0.08 |

図2-5-1 再生水の塩素イオン濃度とEC(電気伝導度)の関係図

※出典: [27] 再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成27年度)

③ pH

☛ 畑地灌漑の水質評価指針(表2-3-2)に基づいて、pHの日平均値は6.0～8.5とする。

④ 大腸菌

☛ B-DASHガイドライン[10]に基づいて、大腸菌は「不検出」とする。

⑤ 外観

☛ B-DASHガイドライン[10]に基づいて、外観は「不快でないこと」とする。

⑥ 臭気

☛ B-DASHガイドライン[10]に基づいて、臭気は「不快でないこと」とする。

(3) 運転管理水質基準の管理場所

① 管理水質項目

運転管理水質基準の管理水質項目は、濁度・EC・pH・大腸菌・外観・臭気とする(表2-5-1)。

② 管理場所

運転管理水質基準を管理(水質管理項目を分析・測定)する場所は、項目の目的に応じて再生水处理施設の原水(二次処理水)・膜ろ過水・再生水とする(表2-5-1)。

(4) 運転管理水質基準の管理者

① 再生水处理施設

運転管理水質基準の管理者は、糸満市役所水道部工務課下水道係である。なお、再生水处理施設を管理する者は、糸満市役所水道部工務課下水道係から施設管理を委託された、水处理専門業者とする。

② 畑地灌漑施設

再生水を利用する畑地灌漑施設を管理する者は、糸満市役所農村整備課計画管理係から施設管理を委託された、糸満市土地改良区(仮称)とする。

(5) ウイルス除去率の確認

前項のリスク管理(表2-4-2)より、再生水处理施設はB-DASHガイドライン[10]を準拠して、 $5\log(99.999\%)$ 以上の安定した高いウイルス除去率を、担保できる施設でなければならない。

本マニュアルで選定した再生水处理施設は、CRES研究の試験結果より、ウイルス除去率を超える能力を有していることが確認されている(図2-5-2)。

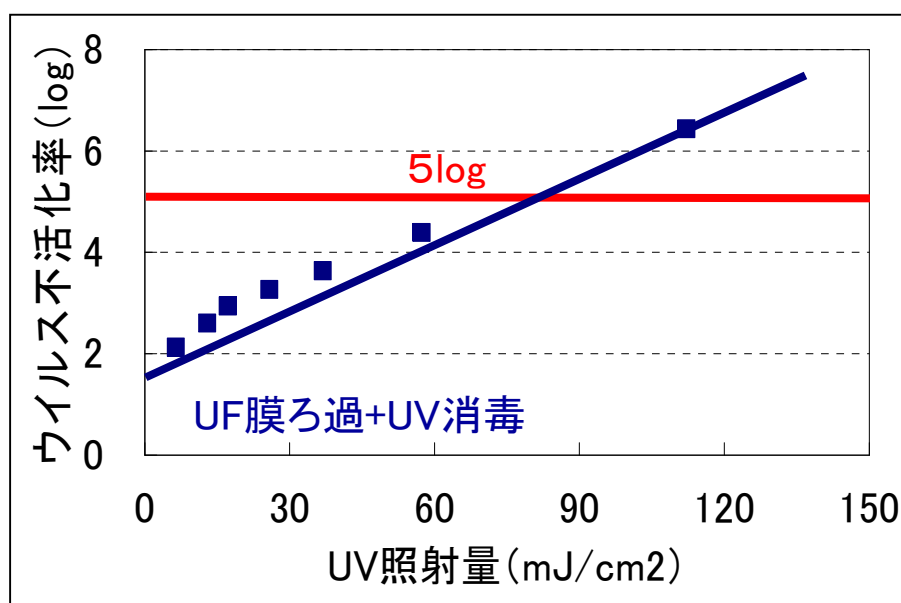


図2-5-2 「CRESTプラント」のウイルス除去率試験結果(CREST研究成果)

参考:[8]JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書(2015)

2-6. 再生水畑地灌漑利用の管理組織

モデル対象地域において、再生水を畑地灌漑利用する場合には、本マニュアルの管理施設と管理組織構成および連絡体制を、参考として管理を行う。

【解説】

(1)管理施設と組織構成

「糸満市北部地区」において、再生水を畑地灌漑利用する場合に、必要な管理する施設と範囲、その管理組織の構成は、下表のとおりとする。

表2-6-1 再生水畑地灌漑利用の管理施設と管理組織構成

| 管理施設と範囲 | 組織の構成 |
|--|--|
| 再生水処理施設 (下水処理水>流量調整槽>再処理施設>貯留槽) | ・糸満市役所水道部 工務課下水道係 ・施設管理を委託された水処理専門業者 |
| 再生水利用畑地灌漑施設 (揚水機場>送水路>FP・貯水槽>配水路>給水栓) | ・糸満市役所経済観光部 農村整備課計画管理係 ・糸満市土地改良区(仮称) |
| 再生水畑地灌漑利用の評価・監視組織 | ・糸満市役所経済観光部 農村整備課計画管理係 ・糸満市土地改良区(仮称) ・農家、流通業者、消費者の代表と専門家 |
| 再生水利用農地 (給水栓>農地) | ・各農家 ・糸満市土地改良区(仮称) |
| 再生水利用農作物 | ・各農家 ・JA及び流通業者 |

各管理組織の管理内容は、下表のとおりとする。

表2-6-2 再生水畑地灌漑利用の管理組織と管理内容

| 管理組織 | 管理内容 |
|-------------------------|--|
| ・糸満市役所経済観光部農村整備課計画管理係 | >再生水利用畑地灌漑施設管理の主管、施設管理を糸満市土地改良区に委託 >再生水畑地灌漑利用の評価・監視組織の主管 >再生水畑地灌漑利用HPによる農家や消費者への情報提供 >その他必要な事項 |
| ・糸満市役所水道部工務課下水道係 | >再生水処理施設管理の主管 >施設管理を水処理専門業者に委託 |
| ・再生水処理施設管理を委託された水処理専門業者 | >再生水処理施設の管理 >再生水処理施設の管理結果を市下水道係へ報告 >再生水処理施設の管理結果を糸満市土地改良区へ連絡 >その他必要な事項 |
| ・糸満市土地改良区(仮称) | >再生水利用畑地灌漑施設の管理 >再生水利用畑地灌漑施設の管理結果を市農村整備課計画管理係へ報告 >再生水利用農家への灌漑方法等の指導 >再生水畑地灌漑利用の評価・監視組織の開催と運営 >誤飲・誤摂取のための注意看板設置とパンフレット配布等の啓発活動 >その他必要な事項 |
| ・再生水農業利用の評価・監視組織 | >再生水畑地灌漑利用の評価と監視 >再生水畑地灌漑利用にあたって必要事項の指示 >その他必要な事項 |

(2)管理組織の連絡体制

「糸満市北部地区」における各管理組織の連絡は、市農村整備課計画係を中心とした下図の体制とする。

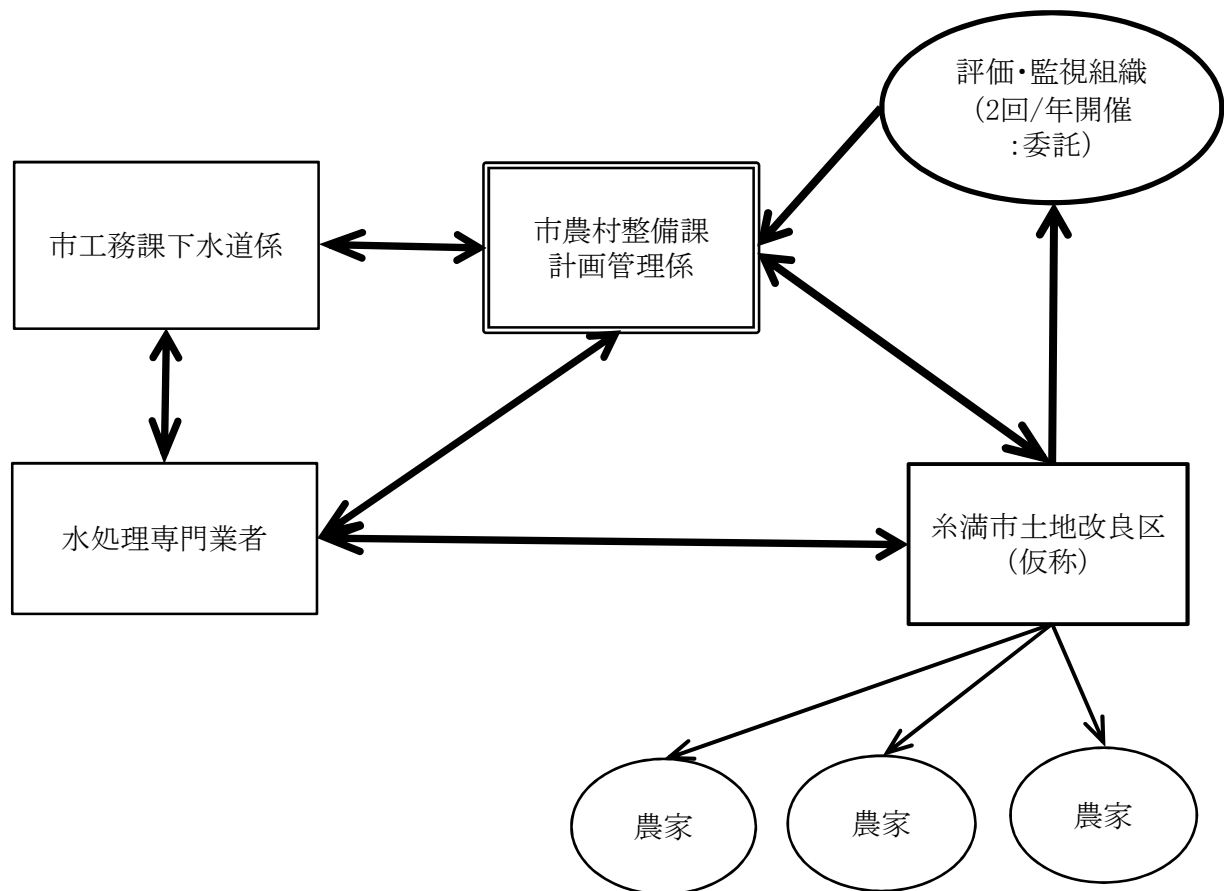


図2-6-1 糸満市北部地区の連絡体制

各管理組織の担当者への連絡先表および管理組織体系図を、次頁以降に示す。

表2-6-3 管理組織担当者の連絡先

| 管理組織 | 役割 | 担当者名 | 連絡 |
|-----------------|---|------|---|
| 糸満市役所農村整備課計画管理係 | <input type="checkbox"/> 再生水農業利用の管理全般の責任者 | | 電話: 098-840-8136 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市役所水道部下水道係 | <input type="checkbox"/> 浄化センターの管理全般の責任者 | | 電話: 098-840-8145 携帯: メール: FAX: |
| 水処理専門業者(会社名) | <input type="checkbox"/> 浄化センターの施設管理責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 再生水処理施設の施設管理責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 再生水処理施設の施設管理担当者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市土地改良区(仮称) | <input type="checkbox"/> 畑地灌漑施設の施設管理責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 畑地灌漑施設の施設管理担当者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 評価・監視組織 | <input type="checkbox"/> 農家代表 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 消費者代表 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 流通業者代表 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 専門家 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |

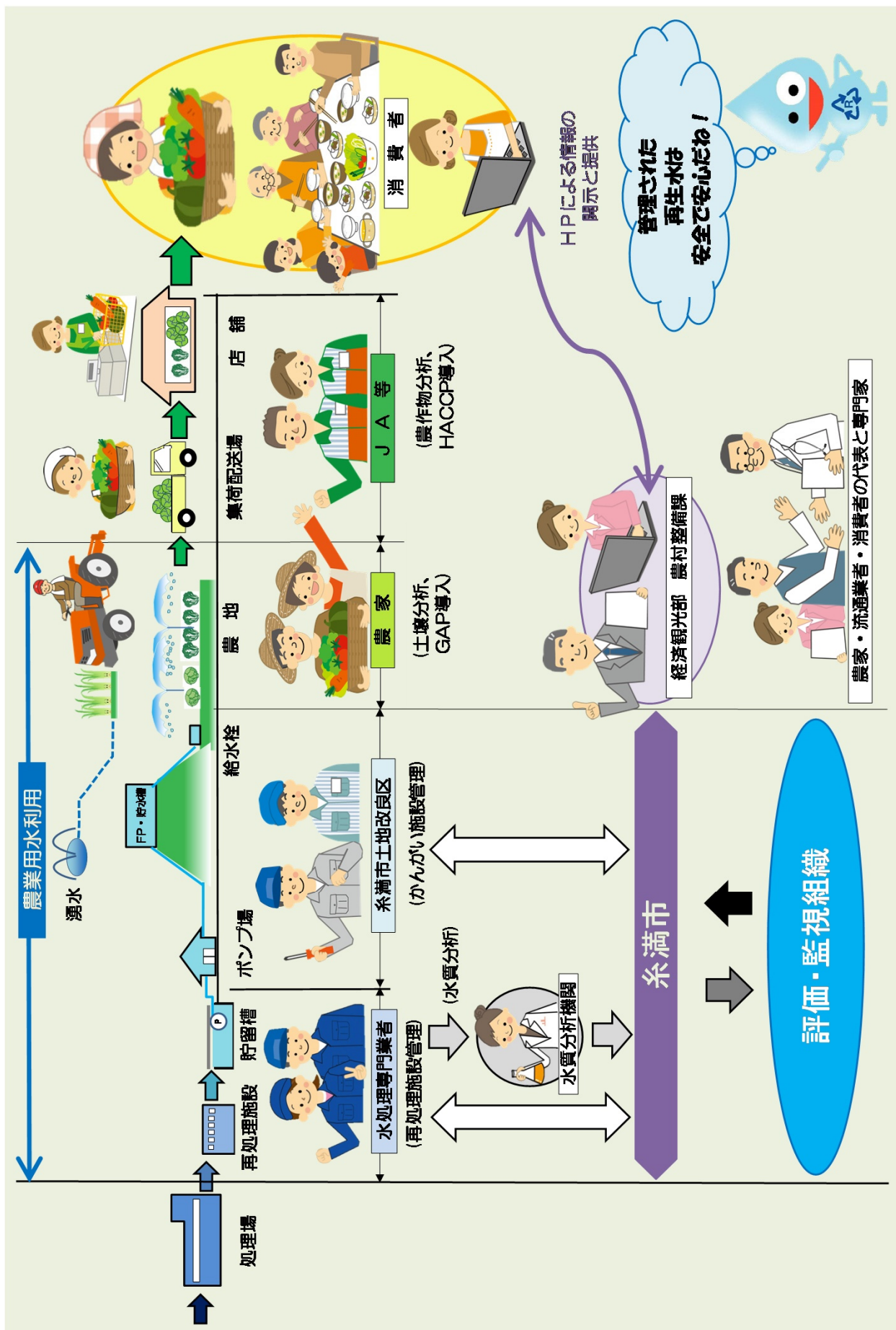


図2-6-2 再生水の生食用作物への畑地灌漑利用の管理組織体系図

2-7. リスク管理マニュアルの構成

再生水の生食用作物への畑地灌漑利用により、農業者や地域住民および消費者が、健康リスクを引き起こさないための対応および「風評被害」などへの対応を、目的に「リスク管理マニュアル」を作成した。

管理者は、この「リスク管理マニュアル」を参考に、各リスクに対応することが望まれる。

本マニュアルは、「平時のリスク管理」と「緊急時のクライシス(危機)管理」の二編に分けて構成されている。

【解説】

「リスク管理マニュアル」は、再生水灌漑利用の先進地である米国カリフォルニア州モントレー郡の「危機管理計画」(2008, [40][41])を、参考として作成した。

「リスク管理マニュアル」は、再生水処理施設と再生水利用畑地灌漑施設および再生水利用農場における、「平時のリスク管理」と「緊急時のクライシス(危機)管理」の二編に分けて構成されている。

「平時のリスク管理」と「緊急時のクライシス(危機)管理」の内容は、下記のとおりである。

(1) 平時のリスク管理

- ① 再生水処理施設の管理内容
- ② 再生水利用畑地灌漑施設の管理内容
- ③ 再生水利用農場の農家への灌漑方法等の指導内容
- ④ 消費者などへのリスクコミュニケーション

(2) 緊急時のクライシス(危機)管理

- ① 危機の重要度の決定
- ② 危機の重要度を決するためのフローチャート
- ③ 批判的な危機への対応
- ④ 初期の対応手順
- ⑤ クライシスコミュニケーション(危機レベル3&4)
- ⑥ 危機シナリオ

2-8. 平時のリスク管理

再生水処理施設の運転管理水質基準に基づいた管理内容に従って、管理者は処理施設や灌漑施設の管理を行う。

ただし、「平時のリスク管理」の再生水処理施設の管理内容は、モデル対象地域において選定した「UF膜＋紫外線消毒」に基づいたものである。

したがって、違う処理方法や新しい処理方法を選定する場合には、その方法に応じた管理内容に変更する必要がある。

【解説】

(1)再生水処理施設の管理内容

①モニタリング管理項目等の内容

再生水処理施設の運転管理水質基準に基づいた、再生水処理施設のモニタリング管理項目や管理方法等の内容は、下表のとおりとする。

表2-8-1 再生水処理施設のモニタリング管理項目と管理方法等の内容

| 管理項目 | 管理方法 (場所) | 管理施設・機器 | 管理する事項 | 管理間隔 |
|---------------------|------------------------|------------|-----------------------|------|
| モニタリング管理項目 (測定) | モニター (中央管理所内) | 濁度計 | 測定値と異常の確認と記録 | 毎日 |
| | | pH計 | 測定値と異常の確認と記録 | |
| | | 電気伝導度(EC)計 | 測定値と異常の確認と記録 | |
| モニタリング管理項目 (採水) | 採水 (再処理施設) | 外観・臭気 | 異常の確認と記録 | 1回／週 |
| | | 大腸菌・濁度 | 検査機関への分析依頼 | 2回／月 |
| 装置点検項目 (再生水処理施設) | モニター・装置 (中央管理所・施設内) | 原水ポンプ | 流量値と異常の確認と記録 | 毎日 |
| | | 流量調整槽 | 水位値と異常の確認と記録 | |
| | | 膜供水ポンプ | 流量値と異常の確認と記録 | |
| | | UF膜関連機器 | 逆洗流量・空洗風量・圧力・異常の確認と記録 | |
| | | UV関連機器 | 流量値とUVランプ点灯及び異常の確認と記録 | |
| | | 貯留槽 | 水位値と異常の確認と記録 | |
| 装置点検項目 (UF膜洗浄施設) | 薬品管理 | UF膜関連薬品 | 薬品の残量・補充量・手配等 | 1回／週 |
| | | UF膜洗浄用ポンプ | 作動と異常の確認と記録 | 1回／週 |
| | 膜洗浄 | UF膜 | 膜系統ごとに定期的に洗浄を行う | 1回／年 |

②モニタリング管理項目の作業手順

i)濁度

- 濁度の自動測定装置と記録装置を用いて、原水(二次処理水)とUF膜ろ過処理後(膜ろ過水)の濁度の監視を常時行う。
- 膜ろ過水の濁度が、運転管理水質基準を満たしているかどうかの判断は、日間の平均値で判断するものとする。
- 原水と膜ろ過水の濁度分析は、2回／週の頻度で行い、濁度計が正常に作動しているかを確認する。なお、運転管理水質基準を継続して満足する場合には、2回／年程度に分析回数を減らし経費節減を検討する。
- 濁度が0.2NTUを超えた段階で、再生水の送水は自動的に停止される機能を有する施設とする。また、関係機関(再生水処理施設管理者と市農村整備課計画管理係および糸満市土地改良区)へ、送水停止が通報されるシステムも有する施設とする。
- 自動測定装置あるいは記録装置が故障した場合は、UF膜ろ過水を採水して、プラント内に常備している自記式の携帯型濁度計で、最低1時間の間隔で測定することで、その代替とすることが可能とする。

ii)EC(電気伝導度)

- ☛EC(電気伝導度)の自動測定装置と記録装置を用いて、膜ろ過水のECの監視を常時行う。
- ☛膜ろ過水のECが、運転管理水質基準を満たしているかどうかの判断は、日間の平均値で判断するものとする。
- ☛自動測定装置あるいは記録装置が故障した場合は、膜ろ過水を採水して、プラント内に常備している自記式の携帯型EC計で、最低1時間の間隔で測定することで、その代替とすることが可能とする。

iii)pH

- ☛pHの自動測定装置と記録装置を用いて、原水(二次処理水)のpHの監視を常時行う。
- ☛原水のpHが、水質管理基準を満たしているかどうかの判断は、24時間計測の1時間毎の平均値で判断するものとする。
- ☛自動測定装置あるいは記録装置が故障した場合は、原水を採水して、プラント内に常備している自記式の携帯式pH計で、最低1時間の間隔で測定することで、その代替とすることが可能とする。

vi)外観・臭気

- ☛再生水の外観(濁り・色など)と臭気等を確認し、異常な濁り・色・臭いがないかを判断する。
- ☛水質の異常が確認され、原因が不明の場合は、市農村整備課計画管理係へ迅速に連絡し、指示を仰ぐ。
- ☛市農村整備課計画管理係は、水質異常の原因が不明の場合は、送水停止を指示する。

v)大腸菌

- ☛大腸菌の分析は、膜ろ過水を2回／月で当初は実施するが、運転管理水質基準を継続して満足する場合には、2回／年程度に分析回数を減らし経費節減を検討する。
- ☛サンプル採水は膜ろ過後の膜ろ過水で行い、適切な分析機関に分析を依頼する。
- ☛分析機関より大腸菌が検出された連絡を受けた段階で、再生水の送水を停止し、関係機関(市農村整備課計画管理係と糸満市土地改良区)へ迅速に連絡する。

③装置点検項目の作業手順

i)モニターによる確認

- ☛各装置の自動測定装置と記録装置を用いて、作動状況や流量値・水位値等の確認を行い、異常がないかを判断する。

ii)点検による確認

- ☛施設内の各装置を直接点検して、異常や故障(ポンプ作動音、油漏れ、薬品漏れ、UVランプ点灯等)がないことを判断する。

iii)異常や故障が確認された場合

- ☛装置の異常や故障が確認された場合には、迅速に、その原因を明らかにし、修理や交換等の準備と手配を行う。
- ☛修理や交換等の準備と手配を、関係機関(市農村整備課計画管理係および糸満市土地改良区)へ連絡し、その内容を伝える。
- ☛UF膜とUVランプが、正常に作動していないと判断されて場合は、貯留槽への送水を停止し、関係機関(市農村整備課計画管理係および糸満市土地改良区)へ迅速に連絡する。

表2-8-2 再生水処理施設のモニタリング管理項目記録表(記入例)

| 再生水処理施設 モニタリング管理項目 | | | | | | | | | |
|---|--------------|-------------------|-----------------|---------------------------|----------------------|------------------|---------------|------|------|
| 施設管理日時 | 2016年 | 3月 | 2日 | 開始時刻 | 9:00 | 終了時刻 | 12:00 | 作業時間 | 3 時間 |
| 施設管理者 | 会社名 | (株)〇〇〇〇 | | | 点検者 | 環境タロウ・環境ジロウ | | | |
| 原水 | | | | | | | | | |
| 項目 | 測定値 | | 判定基準 | | 警報発生の有無 | | 発生日時 | | |
| 濁度 | 現在値 | 3 | NTU | 15 | NTU以下 | なし・ 有 | 2/28 15:00 | | |
| pH | 現在値 | 7 | - | 6~8.5 | 範囲内 | なし ・有 | / : | | |
| EC | 現在値 | 0.8 | mS/cm | 2 | mS/cm以下 | なし ・有 | / : | | |
| UV透過率 | 65 | % | COD | 20 | mg/L | UF処理水に異常がある場合に参照 | | | |
| センサーの清掃 | 濁度計 | pH計・EC計 | UV(COD)計 | 校正 | 濁度計・pH計・EC計・UV(COD)計 | | | | |
| 清掃・校正後指示値 | 濁度: | 2.7 | NTU | pH: | EC: | mS/cm | COD: | 14 | mg/L |
| サンプリングの実施 | なし ・有 | 前回サンプリング実施日 | | 2 | 月 | 14 | 日 | | |
| 特記事項:・基準値を超える項目があった場合は、直ちにロガーデータを抽出し状況を報告 例)2/28の濁度異常は直後に低下した計測値のエラーと見られる、経過観察 ・必要に応じて対策・対応を記載 | | | | | | | | | |
| UF処理水 | | | | | | | | | |
| 項目 | 測定値 | | 判定基準 | | 警報発生の有無 | | 発生日時 | | |
| 濁度 | 現在値 | 0.010 | NTU | 0.2 | NTU以下 | なし ・有 | / : | | |
| EC | 現在値 | 0.8 | mS/cm | 2 | mS/cm以下 | なし ・有 | / : | | |
| 処理水UV透過率 | 75 | % | 70 | %以上 | ※70%未満時は運転停止・報告 | | | | |
| センサーの清掃 | 濁度計 | EC計・UV透過率計 | 校正 | 濁度計 ・EC計 | | | | | |
| 清掃・校正後指示値 | 濁度: | 0.005 | NTU | EC: | mS/cm | UV透過率: | % | | |
| サンプリングの実施 | なし ・有 | 前回サンプリング実施日 | | (原水と同じ) | | | | | |
| 圧力減衰テスト結果 | 開始圧力: | 0.105 | MPa | 5分後圧力: | 0.104 | MPa | 20%以上の低下が無いこと | | |
| 特記事項:・基準値を超える項目があった場合は、直ちにロガーデータを抽出し状況を報告 ・必要に応じて対策・対応を記載 ・濁度異常または大腸菌検出があれば圧力減衰テストを実施(左記異常とは別に1回/月の頻度で実施) ・圧力減衰テストに異常があった場合の連絡 | | | | | | | | | |
| 再生水 | | | | | | | | | |
| 項目 | 判定 | 判定基準 | | 水質分析の依頼 | | | | | |
| 濁り | なし ・有 | 白濁等ないか | | なし ・有 | | | | | |
| 色 | なし ・有 | 黒いなど普段の色味から変化がないか | | (UF処理水での大腸菌検出または左記異常があれば) | | | | | |
| 臭気 | なし ・有 | 刺激臭や不快臭などの異常がないか | | | | | | | |
| UVランプ強度の低下 | なし・ 有 | UV消毒装置操作盤モニタで表示確認 | | | | | | | |
| UVランプ切れ | なし ・有 | | | | | | | | |
| 特記事項:・必要に応じて対策・対応を記載 ・最終的な送水停止判断があれば記載 例)9:50>市工務課下水道係△△に基準が満足されていないことを連絡 10:00>市農村整備課計画管理係△△より送水停止の指示あり 11:00>市農村整備課計画管理係△△と糸満市土地改良区▽▽に送水停止したことを連絡 | | | | | | | | | |

表2-8-3 再生水処理施設の装置点検項目記録表(記入例)

| 再生水プラント 装置点検項目 | | | | | | | | |
|--------------------|---|---|-------|---|-------|---|-------|-----|
| 施設管理日時 | 年月日: | 2016/3/2 | 開始時刻: | 8:00 | 終了時刻: | 11:00 | 作業時間: | 3時間 |
| 施設管理者 | 会社名: | (株)〇〇〇 | 氏 名: | △△△△、▽▽▽▽ | | | 作業人数: | 2名 |
| 装置点検項目 原水ポンプ | 原水ポンプ 番号: | No.1 | | No.2 | | No.3 | | |
| | 流量値のモニター確認: | m ³ /s | | m ³ /s | | m ³ /s | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | 箇所➤ | | 箇所➤ | | |
| | | 原因➤ | | 原因➤ | | 原因➤ | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | 手配先➤ | | 手配先➤ | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市工務課下水道係▽▽と市農村整備課計画管理係△△に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| 装置点検項目 流量調整槽 | 流量調整槽 番号: | No.1 | | | | | | |
| | 水位値のモニター確認: | m | | | | | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | | | | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | | | | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | | | | | |
| | | 原因➤ | | | | | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | | | | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市工務課下水道係▽▽と市農村整備課計画管理係△△に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| 装置点検項目 膜供給ポンプ | 原水ポンプ 番号: | No.1 | | No.2 | | No.3 | | |
| | 流量値のモニター確認: | m ³ /s | | m ³ /s | | m ³ /s | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | 箇所➤ | | 箇所➤ | | |
| | | 原因➤ | | 原因➤ | | 原因➤ | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | 手配先➤ | | 手配先➤ | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市工務課下水道係▽▽と市農村整備課計画管理係△△に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| 装置点検項目 UF膜関連装置 | UF膜系統 番号: | No.1 | | No.2 | | No.3 | | |
| | 逆洗流量値のモニター確認: | m ³ /min | | m ³ /min | | m ³ /min | | |
| | 空洗風量値のモニター確認: | NL/min | | NL/min | | NL/min | | |
| | UF膜ろ過流量のモニター確認: | m ³ /min | | m ³ /min | | m ³ /min | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | 箇所➤ | | 箇所➤ | | |
| | | 原因➤ | | 原因➤ | | 原因➤ | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | 手配先➤ | | 手配先➤ | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市工務課下水道係▽▽と市農村整備課計画管理係△△に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| ※UF膜故障時の送水停止と連絡: | ➤送水を停止し、市農村整備課計画管理係△△と糸満市土地改良区▽▽に故障と送水停止を連絡 | | | | | | | |
| 装置点検項目 UV消毒関連機器 | UV消毒装置 番号: | No.1 | | | | | | |
| | UV槽流量値のモニター確認: | m ³ /min | | | | | | |
| | UVランプ点灯の確認: | <input type="checkbox"/> 点灯あり <input type="checkbox"/> 点灯なし | | | | | | |
| | 点灯していない時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | | | | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | | | | | |
| | | 原因➤ | | | | | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | | | | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市工務課下水道係▽▽と市農村整備課計画管理係△△に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| ※UV装置故障時の送水停止と連絡: | ➤送水を停止し、市農村整備課計画管理係△△と糸満市土地改良区▽▽に故障と送水停止を連絡 | | | | | | | |

表2-8-4 再生水処理施設のUF膜洗浄関連装置点検項目記録表(記入例)

| 再生水処理施設 UF膜洗浄関連装置装置点検項目 | | | | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------|----------|-----------|-------|-------|-------|-----|
| 施設管理日時 | 年月日: | 2016/3/2 | 開始時刻: | 8:00 | 終了時刻: | 11:00 | 作業時間: | 3時間 |
| 施設管理者 | 会社名: | (株)〇〇〇 | 氏 名: | △△△△、▽▽▽▽ | | | 作業人数: | 2名 |
| 装置点検項目 | 次亜注入ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| UF膜洗浄関連装置 (1回/週) | 次亜注入ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 次亜タンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 次亜塩素酸ソーダ補充量と手配: | L | 手配先➤ | | | | | |
| | 薬液洗浄ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | 薬液洗浄ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 薬液洗浄タンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 薬液補充量と手配: | L | 手配先➤ | | | | | |
| | 塩酸ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | 塩酸ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 塩酸タンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 塩酸補充量と手配: | L | 手配先➤ | | | | | |
| | 次亜中和槽排水ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | 次亜中和槽排水ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 次亜中和タンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 酸中和槽排水ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | 酸中和槽排水ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 酸中和タンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 苛性ソーダ供給ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | 苛性ソーダ供給ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | 苛性ソーダタンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| | 苛性ソーダ補充量と手配: | L | 手配先➤ | | | | | |
| | SBS供給ポンプ 番号: | No.1 | No.2(予備) | | | | | |
| | SBS供給ポンプ流量値のモニター確認: | L/min | L/min | | | | | |
| | SBSタンク残量の点検確認: | L | | | | | | |
| SBS補充量と手配: | L | 手配先➤ | | | | | | |
| UF膜洗浄 (1回/年) | UF膜系統 番号: | No.1 | No.2 | | No.3 | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(1回目) | | | | | | | |
| | 作業時間(人数) | | | | | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(2回目) | | | | | | | |
| | 作業時間(人数) | | | | | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(3回目) | | | | | | | |
| | 作業時間(人数) | | | | | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(4回目) | | | | | | | |
| | 作業時間(人数) | | | | | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(5回目) | | | | | | | |
| | 作業時間(人数) | | | | | | | |
| | UF膜洗浄の実施日(6回目) | | | | | | | |
| 作業時間(人数) | | | | | | | | |

(2)再生水利用畑地灌漑施設の管理内容

①モニタリング管理項目等の内容

再生水利用の畑地灌漑施設の管理項目は、下表のとおりであり、測定機器が設置されたファームpond(FP)等の貯留施設で、土地改良区の職員が行う。

表2-8-5 再生水利用の畑地灌漑施設のモニタリング管理項目や方法等の内容

| 管理項目 | 方法等 (場所) | 管理機器 | 管理内容 | 管理間隔 |
|--------------------|--------------------|--------------|---------------|------|
| モニタリング管理項目 (測定) | モニター (FP・貯留施設内) | 濁度計 | 測定値と異常の確認と記録 | 毎日 |
| | | pH計 | 測定値と異常の確認と記録 | |
| | | EC(電気伝導度)計 | 測定値と異常の確認と記録 | |
| モニタリング管理項目 (採水) | 採水 (FP・貯留施設出口) | 外観(濁り・色)と臭気等 | 検査結果と異常の確認と記録 | 1回／週 |
| 装置点検項目 (畑地灌漑施設) | モニター (揚水機場) | 送水ポンプ | 流量値と異常の確認と記録 | 2回／月 |
| | 点検 | 畑地灌漑各施設 | 作動と異常の確認と記録 | |

②モニタリング管理項目の作業手順

i)濁度

- ☛濁度の自動測定装置と記録装置を用いて、FPや貯水槽の濁度の監視を常時行う。
- ☛FPや貯水槽の水の濁度が、運転管理水質基準を満たしているかどうかの判断は、日間の平均値で判断するものとする。
- ☛濁度が0.2NTUを超えた段階で、市農村整備課計画管理係へ連絡し、その指示を仰ぐ。
- ☛自動測定装置か記録装置が故障した場合は、FPや貯水槽の水を採水して、土地改良区に常備している自記式の携帯型濁度計で、24時間の間に最低1回測定することで、その代替とすることが可能とする。

ii)EC(電気伝導度)

- ☛EC(電気伝導度)の自動測定装置と記録装置を用いて、FPや貯水槽の水のECの監視を常時行う。
- ☛FPや貯水槽の水のECが、運転管理水質基準を満たしているかどうかの判断は、日間の平均値で判断するものとする。
- ☛自動測定装置か記録装置が故障した場合は、FPや貯水槽の水を採水して、土地改良区に常備している自記式の携帯型EC計で、24時間の間に最低1回測定することで、その代替とすることが可能とする。

iii)pH

- ☛pHの自動測定装置と記録装置を用いて、FPや貯水槽のpHの監視を常時行う。
- ☛FPや貯水槽の水のpHが、運転管理水質基準を満たしているかどうかの判断は、日間の平均値で判断するものとする。
- ☛自動測定装置か記録装置が故障した場合は、FPや貯水槽の水を採水して、土地改良区に常備している自記式の携帯型pH計で、24時間の間に最低1回測定することで、その代替とすることが可能とする。

iv)外観(濁り・色)と臭気等

- ☛FPや貯水槽の出口において、1回／週の採水サンプル行い、濁り・色・臭い等を確認し、異常な濁り・色・臭いがないかを判断する。
- ☛水質の異常が確認され、原因が不明の場合は、市農村整備課計画管理係へ迅速に連絡し、指示を仰ぐ。

③装置点検項目の作業手順

i)モニターによる確認

●各装置の自動測定装置と記録装置を用いて、作動状況や流量値・水位値等の確認を行い、異常がないかを判断する。

ii)点検による確認

●施設内の各装置を直接点検して、異常や故障(ポンプ作動音や油漏れ等)がないことを判断する。

iii)異常や故障が確認された場合

●装置の異常や故障が確認された場合には、迅速にその原因を明らかにし、修理や交換等の準備と手配を行う。

●修理や交換等の準備と手配を行う場合には、市農村整備課計画管理係へ連絡し、その内容を伝え、指示を仰ぐ。

④誤飲・誤摂取注意看板の設置

再生水が使用される地区内で、地域住民や子供の立ち入りが可能な範囲内には、必ず50cm×40cm以上のボードに「注意！ この水(再生水)は、飲み水や手洗い水に使用できません！」と記載した看板を設置する。かつ、各看板は、ISOガイドライン[13]の推奨仕様に基づいたものとする(図2-8-1)。



図2-8-1 誤飲・誤摂取注意看板

表2-8-6 畑地灌漑施設のモニタリング管理項目と装置点検項目の記録表(記入例)

| 畑地灌漑施設 モニタリング管理項目 | | | | | | | | |
|-------------------|--------------------|---|---------------|---|--------------------|---|-------|-----|
| 施設管理日時 | 年月日: | 2016/3/2 | 開始時刻: | 8:00 | 終了時刻: | 10:00 | 作業時間: | 2時間 |
| 施設管理者 | 糸満市土地改良区(仮称) | 氏 名: | △△△△ | | | 作業者数: | 1名 | |
| モニタリング(採水) | 採水時刻: | 8:30 | 採水場所: | <input checked="" type="checkbox"/> FP出口水 <input type="checkbox"/> 他() | | | | |
| モニタリング採水項目 | 濁り結果: | <input type="checkbox"/> 濁りなし <input checked="" type="checkbox"/> 濁りあり() | 色結果: | <input checked="" type="checkbox"/> 色なし <input type="checkbox"/> 色あり() | | | | |
| 濁り・色・臭い等 | 臭い結果: | <input checked="" type="checkbox"/> 臭いなし <input type="checkbox"/> 臭いあり() | その他: | () | | | | |
| モニタリング測定項目 | 濁度 測定記録時刻: | 2016/3/2 8:15 | 濁度 測定場所(膜系統): | FP槽内水 | | | | |
| 濁度(濁度計) | 日平均濁度 測定結果: | 0.2NTU | | 毎時データ 測定期間: | 2016/3/1 7時~3/2 8時 | | | |
| | 最大濁度 測定結果: | 0.2NTU | | 最大濁度 発生日時: | 2016/3/2 7時 | | | |
| | 毎時データは0.2NTU以下か? | <input checked="" type="checkbox"/> 全データが0.2NTU以下 <input type="checkbox"/> 1データ(5%以下)が0.2NTU以上 <input type="checkbox"/> 1データ以上が0.2NTU以上 | | | | | | |
| | 毎時データは0.5NTU以下か? | <input checked="" type="checkbox"/> 全データが0.5NTU以下 <input type="checkbox"/> 0.5NTU以上のデータあり() | | | | | | |
| | ※運転管理水質基準の判断: | <input checked="" type="checkbox"/> 満足している <input type="checkbox"/> 満足していない | | | | | | |
| | ※基準が満足されていない連絡: | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| モニタリング測定項目 | EC 測定記録時刻: | 2016/3/2 8:15 | EC 測定場所: | UV消毒済み水 | | | | |
| EC(EC計) | 日平均EC 測定結果: | 0.8mS/cm | | 毎時データ 測定期間: | 2016/3/1 7時~3/2 8時 | | | |
| | 最大EC 測定結果: | 1.0mS/cm | | 最大EC 発生日時: | 2016/3/2 7時 | | | |
| | 毎時データは1.0mS/cm以下か? | <input checked="" type="checkbox"/> 全データが1.0mS/cm以下 <input type="checkbox"/> 1.0mS/cm以上データあり() | | | | | | |
| | 毎時データは2.0mS/cm以下か? | <input checked="" type="checkbox"/> 全データが2.0mS/cm以下 <input type="checkbox"/> 2.0mS/cm以上データあり() | | | | | | |
| | ※運転管理水質基準の判断: | <input checked="" type="checkbox"/> 満足している <input type="checkbox"/> 満足していない | | | | | | |
| | ※基準が満足されていない連絡: | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| モニタリング測定項目 | pH 測定記録時刻: | 2016/3/2 8:15 | pH 測定場所: | UV消毒済み水 | | | | |
| pH(pH計) | 日平均pH 測定結果: | 7.8 | | 毎時データ 測定期間: | 2016/3/1 7時~3/2 8時 | | | |
| | 日平均値は6.0~8.5の範囲か? | <input checked="" type="checkbox"/> 範囲ないである <input type="checkbox"/> 範囲を超えている() | | | | | | |
| | ※運転管理水質基準の判断: | <input checked="" type="checkbox"/> 満足している <input type="checkbox"/> 満足していない(濁度が0.5NTUを超えた) | | | | | | |
| | ※基準が満足されていない連絡: | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 畑地灌漑施設 装置点検項目 | | | | | | | | |
| 施設管理日時 | 年月日: | 2016/3/2 | 開始時刻: | 8:00 | 終了時刻: | 10:00 | 作業時間: | 2時間 |
| 施設管理者 | 糸満市土地改良区(仮称) | 氏 名: | △△△△ | | | 作業者数: | 1名 | |
| 装置点検項目 送水ポンプ | 送水ポンプ 番号: | No.1 | | No.2 | | No.3 | | |
| | 流量値のモニター確認: | m ³ /s | | m ³ /s | | m ³ /s | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | 箇所➤ | | 箇所➤ | | |
| | | 原因➤ | | 原因➤ | | 原因➤ | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | 手配先➤ | | 手配先➤ | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市農村整備課計画管理係△△再生水処理施設管理者に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |
| 装置点検項目 FP槽 | FP槽 番号: | No.1 | | | | | | |
| | 水位値のモニター確認: | m | | | | | | |
| | 作動異常のモニター確認: | <input type="checkbox"/> なし <input type="checkbox"/> あり | | | | | | |
| | 異常確認時の直接点検: | <input type="checkbox"/> 故障等なし <input type="checkbox"/> 故障等あり | | | | | | |
| | 故障等の箇所・原因: | 箇所➤ | | | | | | |
| | | 原因➤ | | | | | | |
| | 故障等の修理準備と手配: | 手配先➤ | | | | | | |
| | ※故障と修理手配の連絡: | ➤市農村整備課計画管理係△△再生水処理施設管理者に故障と修理手配を連絡 | | | | | | |

(3)再生水利用農業者への灌漑方法などの指導内容

①飲み水や手洗い水としての使用禁止

- ☛給水栓から配水される再生水の水質は、グローバルGAPで要求している水質（[36]WHO(1989):「農業と養殖での排水と排泄物の安全利用に関するガイドライン」に適合）以上であるが、飲み水や手洗い水として使用できないことを伝える。
- ☛農地周辺の地域住民や子供が、誤って再生水を飲み水や手洗い水として使用しないように、再生水を利用している農地の給水栓近くに、誤飲・誤摂取注意看板（図2-8-1）を、土地改良区が設置することに協力を依頼する。

②スプリンクラー灌漑する場合の配慮

- ☛住宅地域や公園等のように、一般の人々が立ち入り可能な場所から、約70m以内においては、再生水をスプリンクラー灌漑しないことを指導する。
- ☛住宅地域や公園に近い農地で、再生水をスプリンクラー灌漑する場合には、風向きや風速を考えて、これらの場所に再生水が飛散しない配慮をさせる。
- ☛生食用野菜の可食部分に、再生水が接触するようなスプリンクラー灌漑は、出荷する約二週間前までとし、集荷する作物は、塩素消毒された水道水等で洗浄することを指導する。

③点滴灌漑や地中灌漑の導入

- ☛生食用作物の可食部分に、再生水が接触せず、再生水の飛散がない、点滴灌漑や地中灌漑の導入を指導する。

④灌漑水と土壌のモニタリング

- ☛再生水を灌漑する場合には、水の異常な濁り・色・臭いがないか確認して行うことを指導し、異常が確認された時には、土地改良区に連絡することを伝える。
- ☛再生水を灌漑している農地では、毎年一回、沖縄県南部農業改良普及センター等に依頼して、土壌分析（表2-8-7）を行うことを指導する。

⑤施設栽培での注意事項

- ☛再生水を灌漑してるハウスでは、ナトリウムや塩素イオンなどの塩類の土壌への蓄積を避けるため、毎年一回は土壌分析（表2-8-7）を行い、その結果の判断を、沖縄県南部農業改良普及センター等に相談する。

⑥モニタリング項目

表2-8-7 水質・土壌・農作物モニタリング項目

| 管理者 | 市水道部工務課下水道係 | | | | | | 市農村整備課 | | 農家 | | JA・ 流通業者 | 分析項目・方法等 |
|-----------------|-----------------------|--------|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------|--------|-----------------|-------------------|---|
| | 水処理専門業者(委託) | | | | | | 土地改良区 | | | | | |
| | 水質・土壌・農産物 モニタリング項目 | 下水処理施設 | 再生水処理施設 | 放流水 | 原水 (二次処理水) | 膜ろ過水 | 再生水 | FP・貯水槽の水 | かんがい用水 | 土壌 | | |
| 濁度 | | | 2回/月 | 連続機器測定 分析:2回/月 | 連続機器測定 分析:2回/月 | 連続機器測定 分析:2回/月 | | 連続機器測定 | | | | 濁度計 分析:2回/月 |
| EC(電気伝導度) | | | | | | | | 連続機器測定 | | | | EC計 |
| pH | | | 2回/月 | 連続機器測定 | | | | 連続機器測定 | | | | pH計 |
| 大腸菌 | | | | | | | | | | | | 分析:2回/月 |
| 外観(色度)・臭気 | | | 2回/月 | | | | 測定:1回/週 | 測定:1回/週 | | | | 測定:1回/週 |
| 大腸菌群数 | | | 2回/月 | | | | | | | | | 最確数法 |
| 残留塩素 | | | 2回/月 | | | | | | | | | 残留塩素計 |
| 排水基準 (一般項目等) | | | 2回/月 | | | | | | | | | COD、BOD、SS、n-ヘキサン、T-N、NO3、NO2、T-P、ホウ素(有害物質) |
| 排水基準 (一般項目) | | | 2回/年 | | | | | | | | | フェノール、Cu、S-Fe、Zn、S-Mn、T-Cr、F |
| 排水基準 (有害物質) | | | 2回/年 | | | | | | | 1回/年 (1箇所以上) | 1回/年 (1サンプル以上) | Cd、CN、Cu、O-P、Pb、Cr ⁶⁺ 、As、T-Hg、R-Hg、PCB、有害有機物質、農薬等 |
| 病原性微生物 | | | | 1回/年 (事業計画時) | 1回/年 (事業計画時) | 1回/年 (事業計画時) | 1回/年 (事業計画時) | | | | | 寄生虫、回虫、大腸菌O157・H7、レジオネラ菌、赤痢菌、ジアルジア、クリプトスポリジウム、サルモネラ菌、エンテロウイルス、ノロウイルス等 |
| 農業関連項目 | | | | | | | | | 1回/年 | 1回/年 | | B、Ca、Mg、K、Na、SO ₄ Cl、SAR、ESP、SARa、HCO ₃ 、CO ₃ 、NO ₃ 、NO ₂ 、NH ₃ 、PO ₄ 、アルカリ度、硬度等 |
| 食品衛生検査 | | | | | | | | | | | 1回/年 (1サンプル以上) | 一般細菌、大腸菌等 |

赤-排水基準の要件 紫-再生水運転管理水質基準 青-食品の安全性 緑-かんがい適性

(4)消費者などへのリスクコミュニケーション

再生水を用いた生食用作物に対し、消費者や流通業者などが抱く「嫌悪感」と「風評被害」を払拭するために、管理者はパンフレットやホームページを活用して、再生水に関連する情報を常に発信することが大切である。

次頁以降に、消費者や流通業者など向けに作成した、パンフレットとホームページを示す。



写真2-8-1 再生水処理施設での消費者への啓発活動



写真2-8-2 再生水で栽培した野菜の実証販売調査(JAファーマーズいとまん)

沖縄の未来は私たちがひらく！

Vol.3

水循環の新しい形 再生水

って知っていますか？

再生水農業利用プロジェクトとは？

僕たちが一度使った生活排水を、最先端技術を使って、新しい水に変え、その水を農業等に使う取り組みのことだよ！現在、生活排水は浄化センターでキレイにされ海や川に放流されているけれど、この水はさらにキレイにすればもっといろんなことに使えるんだ！



再生水農業利用のメリット

5.観光産業への貢献

再生水による、サンゴや生き物などの自然環境の保全是、沖縄観光のイメージアップにつながるよ！

4.地産地消の推進

再生水と温暖な気候を利用して、沖縄でさらに豊富な作物を安全に育てることができるよ。

1.沖縄の水資源を守る！

再生水を利用すれば、ダムから利用する水を減らし、将来の暮らしに必要な水を確保することができるよ！

2.海を守る！

処理水は、できるだけ再生水にして農業に利用した方が、サンゴに優しく、海の生き物たちを守ることもつながるよ。

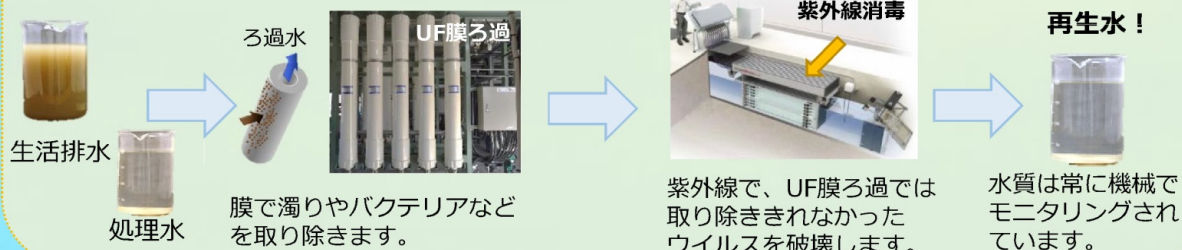
3.農業水不足の解決

水がなくて困っている農家さんに、キレイで安定した量の水を届けることができるよ。



再生水ってどうやって作るの？

再生水は、浄化センターで処理された水を、さらにUF膜ろ過と紫外線消毒という2つの行程で処理し、作られます。



日本第一号！の再生水プラントが 糸満市で始まります！



Q1

再生水って、ほんとに
キレイなの？

A1

再生水は最先端の技術を使った膜でろ過され、紫外線消毒された、**汚れやウイルスを除去した水**です。

これを実現しているのが、日本の膜技術！この技術は日本がトップレベルで、他の多くの国でも利用されています。糸満市では京都大学田中宏明先生や国土交通省の指導を受けて、安全で低コストな再生水の農業等への利用をすすめています。

Q2

再生水は**飲んでもいいの？**

A2

いいえ。糸満市の再生水は、県内を流れる川や湧水よりもきれいな水ですが、水道水の基準に合わせて作られてはならず、**飲むことはできません**。

水道水よりもチッソ成分やミネラルが高い状態で供給され、野菜栽培にとって栄養が高いため、再生水は**農業用としては水道水より適した水**となっています。

糸満市の再生水を使えば、
僕が作っているハーブの
生育はもちろん、肥料の
効きまで良くなるよ！



Q3

再生水を使った野菜を食べても、**健康に心配**はないの？

A3

心配ありません。再生水は、**Global-GAP (G-GAP) で認められた基準の水**です。GAPとは、安全で品質の良い食品だけが取得できる認証です。ロンドンオリンピックではGAP認証野菜がないと提供できないという決まりがある程、厳しい基準です。糸満市の再生水は、この認証の中でも世界基準を満たしているため、通常の野菜と同じように、水洗いして、安心して料理にお使いください。

Q4

再生水を**農業に使った前例**はあるの？

A4

はい、あります。再生水は、新しい水資源として注目されており、**世界中で利用**されています。アメリカのカリフォルニア州では約40年以上前から、レタスやイチゴの栽培に利用されており、糸満市再生水プロジェクトもこれにない計画されました。アメリカや、シンガポールでは、さらに高度に処理した再生水を飲料用水として利用しています。



Q5

どうして再生水が**サンゴや海の生き物たち**を守るの？

A5

プランクトンのえさとなる有機物や栄養素が多く含まれている水(浄化センターからの処理水)をそのまま海に流すと、**海藻類が増えすぎてしまい、サンゴにダメージを与えます**。すでにハワイでは、サンゴのある美しい海を守るために、再生水を活用しています。沖縄らしい美しい海を守っていくためには、処理水をできるだけ再生水にして農業で利用することが効果的です。



Q6

再生水の**処理コスト**はどのように負担するの？

A6

再生水プロジェクトは、農家さんのためだけではなく、**私たちが**毎日の生活で汚した水をキレイにして、沖縄の自然や暮らしを守るという意味もあります。この再生水事業は海水淡水化よりも低いコストで水を作れ、沖縄の水の有効利用には最も現実的な手段です。そのコストをどのように負担するかは、市民の皆さんと、考えていかなければならない課題です。



もっと知りたいという方へ

For more Information

再生水プロジェクトでは、再生水のことがより詳しくわかるホームページや、実際に見て楽しく学べる再生水プラント見学ツアーもご用意しております。

●ホームページ

「沖縄のくらしと自然を守る！ 再生水プロジェクト公式ホームページ」 http://aoi-c.com/re_index.html

●お問い合わせ先

沖縄県 南部農林土木事務所 計画調整班

Tel : 098-867-2886

糸満市役所 水道部 工務課 下水道係

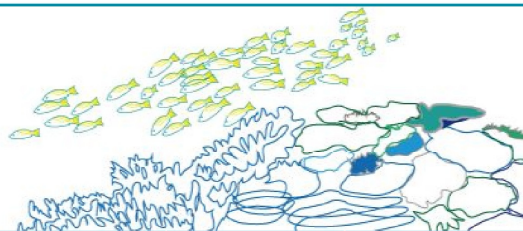
Tel : 098-840-8145

糸満市役所 経済観光部 農村整備課 計画管理係

Tel : 098-840-8136



沖縄のくらしと自然を守る 再生水プロジェクト



HOME

沖縄のくらし・自然

再生水とは

安全・安心

Q & A

詳しく知りたい方

お問い合わせ

安心・安全

- ▶ [再生水と化学物質](#)
- ▶ [再生水と大腸菌・ウイルス](#)
- ▶ [再生水の管理体制](#)

安心と安全

食の安心・安全が叫ばれている現在、再生水においてもその安全性をしっかりと確保し、皆さんに安心して使ってもらする必要があります。いくら再生水が高い技術を利用して作られていると言っても、やはり下水処理水から出来ているとなると、市民の皆さんが不安に感じることも多いでしょう。ここでは、皆さんからお聞きした不安をもとに、再生水の安全性についてご説明します。

再生水と化学物質

市民の多くの方が不安に感じるもののひとつに、再生水に体に悪い化学物質が含まれているのでは？という不安があります。誰でも目に見えないものに対する不安はあるものです。そこで、実際に糸満市再生水の水質を、湧水や水道水と比較してみました。その結果、糸満市の再生水は、農業使用にあたりヒトの健康に害を及ぼす程の有害な物質は含まれていないことが実証されました。 [糸満市再生水水質比較表（PDF）](#)

さらに、糸満市再生水は、**Global-GAP（G-GAP）で認められた基準の水**です。GAPとは、安全で品質の良い食品だけが取得できる世界的な認証であり、ロンドンオリンピックではGAP認証野菜でないと提供できないという決まりがある程、厳しい基準です。糸満市の再生水はこのGAPの中でも最も厳しい世界基準であるG-GAPの基準を満たしており、再生水で作られた野菜を食べたからと言って健康に悪影響が出ることは、考えにくいのです。詳しく知りたい方→ [GLOBAL G.A.P.基準文書第5版-果樹野菜-（PDF）](#) p.45 [CB.5.3水質]項目参照

再生水と大腸菌・ウイルス

私たちが化学物質以上に本当に注意しなければならないのは、食中毒を引き起こす原因となる大腸菌やウイルスの問題です。例えば、日本において2007年に食品事故で死亡した人数は5人であり、これは全て天然毒によるものです。死亡まで至らない食中毒もそのほとんどが、ウイルス・細菌や天然由来のものでした。残留農薬などの化学物質が原因で死亡したケースはありませんでした。またアメリカ防疫センターによると、化学物質が原因で死ぬ人はゼロなのに、天然由来の食中毒で年に数百人もが命を落とすとの発表も出ています。

（引用：日本農業工業会http://www.jcpa.or.jp/qa/a1_10.html）



野菜による食中毒被害！？

食中毒というと、まず頭に浮かぶのが肉や魚などですが、実際には野菜を原因食材とする食中毒事例も国内外で多くあります。

| 発生年 | 発生場所 | 原因食品 | 原因菌 | 感染者数（死者数） |
|------|---------|--------|---------|-----------|
| 1996 | 日本（大阪） | カイワレ大根 | 大腸菌O157 | 7992（3） |
| 2002 | カナダ | 野菜サラダ | 大腸菌O157 | 17（2） |
| 2008 | アメリカ | ペッパー | サルモネラ | 1442（2） |
| 2012 | 日本（北海道） | 白菜浅漬け | 大腸菌O157 | 169 |

日本ではもともと野菜を生食する食習慣はありませんでしたが、戦後以降、生野菜をサラダとして食べるようになり、その食中毒リスクが危険視されるようになりました。野菜による食中毒は、水や堆肥および人の手などを通して野菜が病原微生物に汚染されることによって引き起こされます。農林水産省では、野菜による食中毒被害を防ぐため、「生鮮野菜を衛生的に保つために-栽培から出荷までの野菜の衛生管理指針-」（2011）を作成しており、糸満市再生水の農業利用はこの規範に従っています。

基本的に、糸満市再生水プラントで使われるUF膜処理と紫外線消毒では、大腸菌が浄化され**不検出**となります。これは遊泳用プールと同じかもしくはそれ以上にキレイな水準です。

2-9. 緊急時のクライシス(危機)管理

「緊急時のクライシス(危機)管理」の重要度の判断と対応は、管理組織の中心である糸満市農村整備課計画管理係が行うものとする。

批判的な報道などは、危機であるが、誤解を招かないように慎重に行動する必要がある、管理者には、危機状況の区別と健全な判断と対応が求められる。

なお、「緊急時のクライシス(危機)管理」の内容は、モデル対象地域において選定した「UF膜＋紫外線消毒」に基づいたものである。

したがって、他地域で再生水灌漑利用を計画する場合や、異なる処理方法を選定した場合などでは、その条件などに応じた内容に変更する必要がある。

【解説】

(1)危機の重要度の決定

危機の重要度は、以下のように分類することができる。

レベル1は、平時のリスク管理で対応できる危機、レベル4は、最も致命的な危機である。

危機の重要度の判断と対応は、糸満市役所農村整備課計画管理係が行う。

①レベル1(予想される危機)

☛この危機の状況は予想され、平時のリスク管理の手順書で処理することができる。

☛この危機状況を確認した管理組織のスタッフが、それを自ら処理することができるもので、確認直後に市農村整備課計画管理係へ連絡し、速やかに処理する。

☛レベル1の危機を確認したら、「何が・いつ・どこで」起こったのかを、確認した者が記録する。

☛事例：
➢大腸菌群数・大腸菌・濁度・EC・pHが、運転管理水質基準を超える場合、または再生水の色や臭いが異常な場合。
➢再生水処理施設のUF膜装置や紫外線消毒装置が、故障した場合。
➢水質モニタリング装置が、誤作動や故障した場合。
➢修理のため、再生水処理施設のUF膜装置やUV消毒装置を停止する場合。

②レベル2(懸念される危機)

☛この危機の状況は予想されないが、管理組織内で処理することができるもので、その影響は小さい。

☛危機の状況を確認した管理組織のスタッフは、確認直後に市農村整備課計画管理係へ連絡し、その指示に従って、迅速に処理する。

☛レベル2の危機を確認したら、「何が・いつ・どこで」起こったのかを、市農村整備課計画管理係の指示事項を受けた者が記録する。

☛事例：
➢沖縄県内や国内において、野菜による食中毒が発生した場合。
➢停電により、再生水処理施設のUF膜装置やUV消毒装置が停止した場合。
➢施設管理者や施設視察者が、施設内で事故にあった場合。
➢新聞やテレビで、再生水を農業に利用することに批判する報道があった場合。

③レベル3(重度の危機)

☛この危機の状況は深刻であり、管理組織内で処理することができないもので、その影響は大きい。

☛危機の状況を確認した管理組織のスタッフは、確認直後に市農村整備課計画管理係へ連絡する。

☛連絡を受けた市農村整備課計画管理係は、関連組織(市水道部・市経済観光部・県農林水産部・JAなど)による「対策会議」を行い、行政的な処理を決定し、その処理を行う。

☛レベル3の危機を確認したら、市農村整備課計画管理係が、「何が・いつ・どこで」起こったのかを記録する。

☛事例：
➢農家や消費者が病気になり、再生水が原因として疑われた場合。
➢再生水を利用している農家が、再生水により農作物や農地に被害が生じたと訴えた場合。
➢研究などで、再生水は健康や環境に影響があると発表した場合。
➢農作物に再生水の使用を、禁止する恐れがある場合。

④レベル4(致命的な危機)

☛この危機の状況は致命的であり、管理組織内や関連組織で処理することができないもので、その影響は甚大である。

☛危機の状況を確認した管理組織のスタッフは、確認直後に市農村整備課計画管理係へ連絡する。

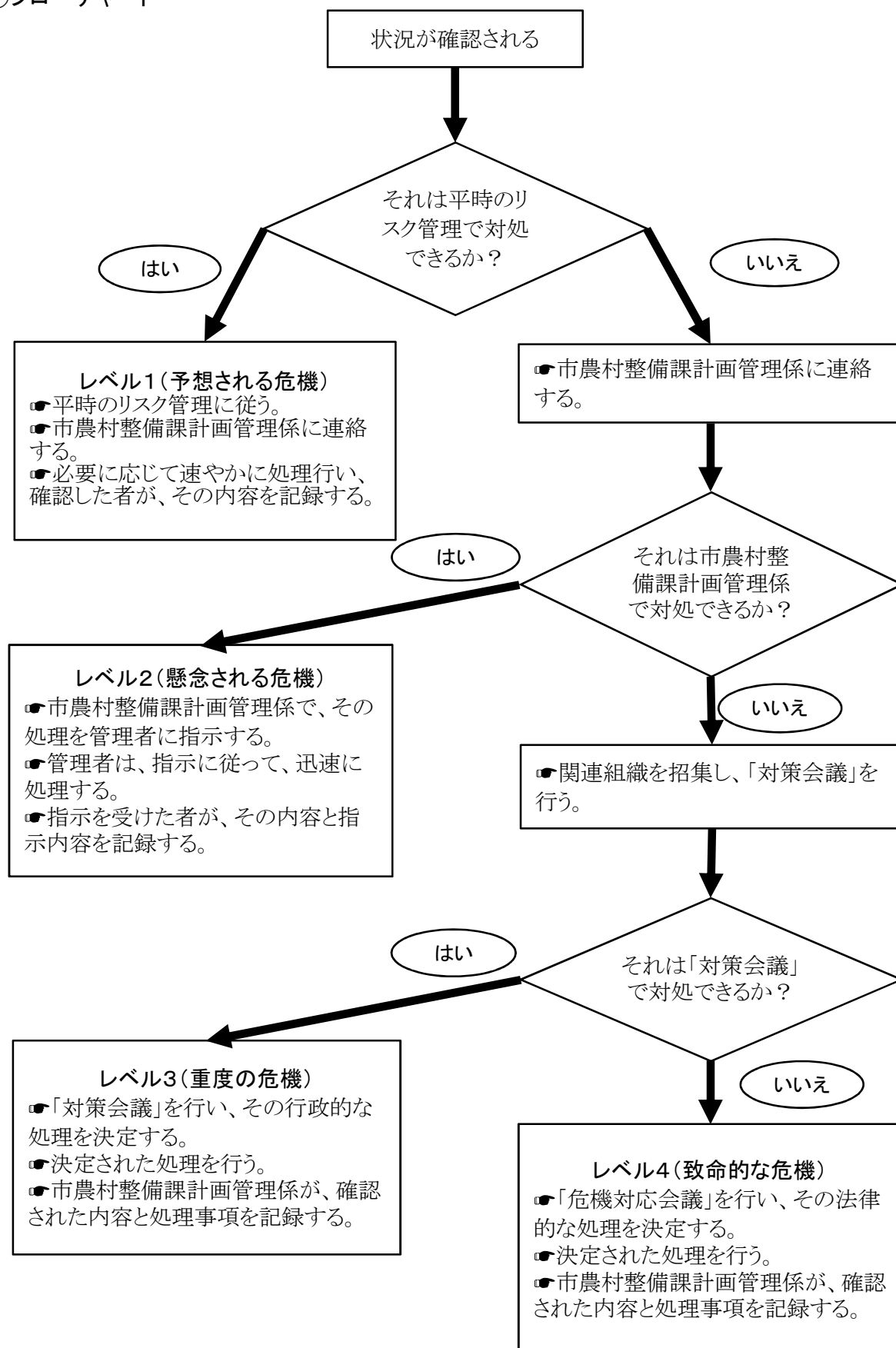
☛連絡を受けた市農村整備課計画管理係は、関連組織(市水道部・市経済観光部・県農林水産部・JAなど)と弁護士などの専門家を含めた「危機対応会議」を行い、法的な処理を決定し、その処理を行う。

☛レベル4の危機を確認したら、市農村整備課計画管理係が、「何が・いつ・どこで」起こったのかを記録する。

☛事例：
➢法律により、農作物に再生水の使用が禁止された場合。
➢農家や消費者が深刻な病気になり、再生水が原因とされた場合。
➢農地で利用している再生水から、ノロウイルスや大腸菌(O-157など)の検出が明らかとなった場合。
➢地震や津波などの自然災害により、再生水処理施設が機能しなくなった場合。

(2)危機の重要度を決定するためのフローチャートと組織体制

①フローチャート



②組織体制

糸満市北部地区の危機における組織体制は、市農村整備課計画管理係を中心とした、下図の組織体制とする。

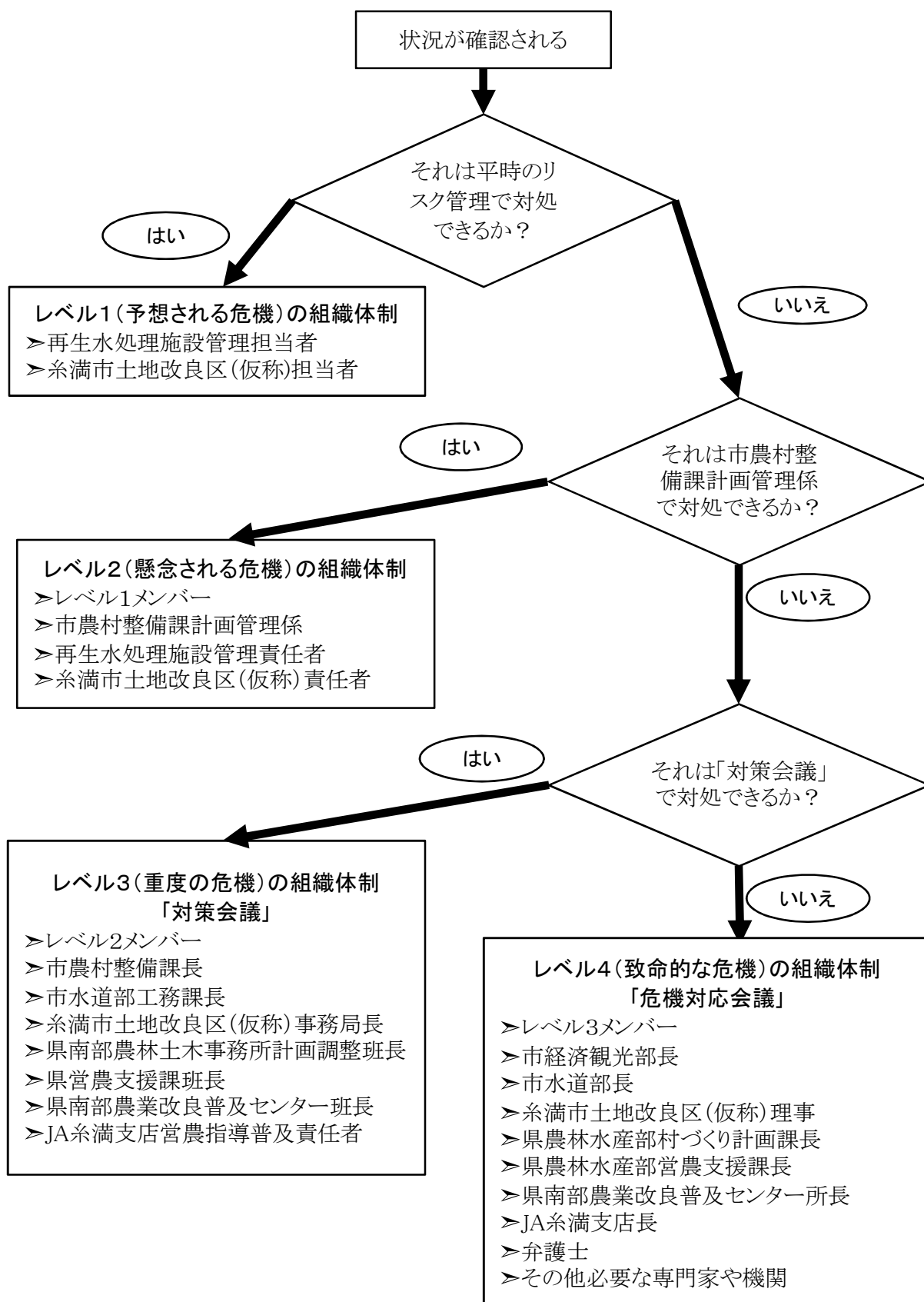


表2-9-1 危機における組織体制の連絡先(その1)

| レベル1 | | | |
|---------------------------|---|------|---|
| 組織 | 役割 | 担当者名 | 連絡 |
| 水処理専門業者 (会社名) | <input type="checkbox"/> 再生水処理施設の施設 管理担当者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市土地改良区 (仮称) | <input type="checkbox"/> 畑地灌漑施設の施設管 理担当者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| レベル2 | | | |
| 組織 | 役割 | 担当者名 | 連絡 |
| 糸満市役所 農村整備課 計画管理係 | <input type="checkbox"/> 再生水農業利用の管理 全般の責任者 | | 電話: 098-840-8136 携帯: メール: FAX: |
| 水処理専門業者 (会社名) | <input type="checkbox"/> 再生水処理施設の施設 管理責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市土地改良区 (仮称) | <input type="checkbox"/> 畑地灌漑施設の施設管 理責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| レベル3 「対策会議」 | | | |
| 組織 | 役割 | 担当者名 | 連絡 |
| 糸満市役所 農村整備課 | <input type="checkbox"/> 課長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市役所 水道部 工務課 | <input type="checkbox"/> 課長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市土地改良区 (仮称) | <input type="checkbox"/> 事務局長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 南部農林土木事務所 計画調整班 | <input type="checkbox"/> 班長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 営農支援課 | <input type="checkbox"/> 班長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 南部農業改良 普及センター | <input type="checkbox"/> 班長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| JA糸満支店 | <input type="checkbox"/> 営農指導普及責任者 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |

表2-9-2 危機における組織体制の連絡先(その2)

| レベル4 「危機対応会議」 | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|----------------------------|
| 組織 | 役割 | 担当者名 | 連絡 |
| 糸満市役所 経済観光部 | <input type="checkbox"/> 部長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市役所 水道部 | <input type="checkbox"/> 部長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 糸満市土地改良区 (仮称) | <input type="checkbox"/> 理事 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 村づくり計画課 | <input type="checkbox"/> 課長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 営農支援課 | <input type="checkbox"/> 課長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 沖縄県 南部農業改良 普及センター | <input type="checkbox"/> 所長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| JA糸満支店 | <input type="checkbox"/> 支店長 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| 弁護士事務所 | <input type="checkbox"/> 弁護士 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| その他 | <input type="checkbox"/> 沖縄県南部福祉保健所 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 必要な専門家 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |
| | <input type="checkbox"/> 必要な機関 | | 電話: 携帯: メール: FAX: |

(3)批判的な危機への対応

前述した事例に加えて、多くの場合では、管理者や市農村整備課計画管理係で対応可能なので、危機的なものではない。

危機への対応は、慎重に判断し対応する必要があり、批判的な内容を分別することの判断と健全な判断が必要である。

批判的な報道は危機であるが、報道機関がエスカレートしないように、多くの場合、注意が必要である。

次のような状況に対して、対策会議などの招集は必要ない。

- 批判的な報道機関からの問い合わせ
- メディアの話を伴わない批判
- 噂

しかし、再生水処理施設等が適切に管理されていない場合は、これらの状況でも、それぞれが危機になる可能性もある。

これらのいずれかの状況が発生した時、管理者や市農村整備課計画管理係は、再生水利用検討委員会の専門家などに指導を仰ぐ必要がある。

ただし、これら状況に対応して、過剰な準備をすることは避けるべきである。

(4)初期の対応手順

①レベル1(予想される危機)

- i) 〻レベル1の問題を確認した者は、「平時のリスク管理」に従う。
- ii) 〻「平時のリスク管理」で対応できない場合は、市農村整備課計画管理係と検討を行い、速やかに対処する。
- iii) 〻再生水処理施設および畑地灌漑施設管理の管理組織で、対処できない場合は、レベル2に従う。
- iv) 〻確認した者は、確認した内容と、上記の処理と対応を記録する。

②レベル2(懸念される危機)

- i) 〻レベル2の問題を確認した者は、市農村整備課計画管理係へ連絡する。
- ii) 〻市農村整備課計画管理係の指示に従って、迅速に処理や対応を行う。
- iii) 〻市農村整備課計画管理係で対処できない場合は、レベル3に従う。
- iv) 〻指示を受けた者は、確認した内容と、上記の処理と対応を記録する。

③レベル3(重度の危機)

- i) 〻レベル3の問題を確認した者は、市農村整備課計画管理係へ連絡する。
- ii) 〻市農村整備課計画管理係は、「対策会議」のメンバー招集して、会議を速やかに行う。
- iii) 〻対策会議で対処できない場合は、レベル4に従う。
- iv) 〻クライシスコミュニケーションを準備する。
- v) 〻市農村整備課計画管理係は、確認した内容と、上記の処理と対応を記録する。

④レベル4(致命的な危機)

- i) 〻レベル4の問題を確認した者は、市農村整備課計画管理係へ連絡する。
- ii) 〻市農村整備課計画管理係は、「危機対応会議」のメンバー招集して、会議を速やかに行う。
- iii) 〻クライシスコミュニケーションを準備する。
- iv) 〻市農村整備課計画管理係は、確認した内容と、上記の処理と対応を記録する。

(5)クライシスコミュニケーション(危機レベル3&4)

危機の詳細が判明したら、すぐに、クライシスコミュニケーションを準備する。

「対策会議」および「危機対応会議」のメンバーは、公式声明およびQ&A文書などを迅速に検討する必要がある。

ただし、クライシスコミュニケーションは、対象により異なることに留意する。

①再生水畑地灌漑利用の説明例

再生水は、農業のための安全で高品質な水であり、次の目的などを説明する。

i)目的

- ☛再生水は、農家や消費者のための農業に適した安全な水である。
- ☛再生水は、農作物と土壌に適した水質を有する。
- ☛再生水を利用した農作物は、市場性があり農家の収益性向上に寄与できる。

ii)内容説明コメント例

- ☛私たちの最も重要な使命は、農作物を灌漑する清潔で安全な水を提供することです。
- ☛再生水は、最先端の技術を使った膜でろ過され、紫外線消毒された、汚れやウイルスを除去した水です。これを実現しているのが、日本の膜技術です。この技術は、日本がトップレベルで、他の多くの国でも利用されています。
- ☛糸満市では、京都大学田中宏明先生や国土交通省の指導を受けて、安全で低コストな再生水の農業等への利用をすすめています。
- ☛再生水は、世界中で利用されています。アメリカのカリフォルニア州では、約40年以上前から、レタスやイチゴなどの栽培に再生水が用いられています。消費者が、調理せずに食べても、安全であることが証明されています。
- ☛再生水は、グローバルGAP(G-GAP)で認められた基準の水です。G-GAPとは、安全で品質の良い農作物だけが、取得できる世界的な認証です。ロンドンオリンピックでは、GAP認証野菜でないと、提供できないという決まりがある程、厳しい基準です。
- ☛再生水の利用を進めると、下水放流水による海への負担が減り、サンゴやサンゴ礁に住む生き物たちのより良い環境をつくることにつながります。

②再生水農業利用のQ&A

i)市民向け

Q1 ➤再生水って、なんですか？

A1 ❶私たちが一度使った生活排水は、浄化センターでキレイにされ、海や川に放流されています。この水を、さらにキレイにした再生水にすれば、もっといろんなことに使えます。

Q2 ➤再生水って、ほんとにキレイなの？

A2 ❶再生水は、最先端の技術を使った膜でろ過され、紫外線消毒された、汚れやウイルスを除去した水です。これを実現しているのが、日本の膜技術です。この技術は、日本がトップレベルで、他の多くの国でも利用されています。

❷糸満市では、京都大学田中宏明先生や国土交通省の指導を受けて、安全で低コストな再生水の農業等への利用をすすめています。

Q3 ➤再生水は飲めるくらい キレイなの？

A3 ❶いいえ、糸満市の再生水は、飲料用の基準に合わせて作られてはいません。しかし、科学的にはキレイな水質で、農業用として問題がない水です。

❷現在の再生水技術は、高い費用をかければ、飲料水が作れるほど進歩しています。糸満市では、この水を農業用として利用するので、そこまでキレイにする必要がないのです。

Q4 ➤再生水を使った野菜を食べても、健康に心配はないの？

A4 ❶心配ありません。再生水は、グローバルGAP(G-GAP)で認められた基準の水です。G-GAPとは、安全で品質の良い農作物だけが、取得できる世界的な認証です。ロンドンオリンピックではGAP認証野菜でないと、提供できないという決まりがある程、厳しい基準です。

❷糸満市の再生水は、この基準を満たしているので、通常の野菜と同じように、水洗いして、料理にお使いください。

❸香川県の多度津町では、農業用や親水用などに、再生水を利用しています。

❹アメリカやシンガポールでは、さらに高度に処理した再生水を、飲料用水として利用しています。

Q5 ➤どうして再生水が、サンゴや海の生き物たちをより良くするの？

A5 ❶処理水には、プランクトンのえさとなる多くの有機物や栄養素が含まれており、海藻類が増えやすくなります。

❷そのため、再生水を使い、海への負担を減らせば、サンゴやサンゴ礁に住む生き物たちの良い環境をつくることにつながるのです。

ii)農家向け

Q6 ➤再生水を農業に使った、前例はあるの？

A6 ☞はい、あります。再生水は、新しい水資源として注目されており、世界中で利用されています。

☞アメリカのカリフォルニア州では、約40年以上前から、レタスやイチゴなどの生で食べる作物の栽培に利用されています。糸満市の再生水プロジェクトも、これにならい計画されました。

Q7 ➤再生水を農業に使う場合の、注意点はないの？

A7 ☞はい、あります。再生水は、飲料用の基準に合わせて作られてはいませんので、飲み水や手洗いには向いていません。使用には、注意してください。しかし、科学的にはキレイな水質で、農業用として問題がない水です。

☞また、再生水は、窒素やリンの栄養塩類が含まれる、中性で無菌の濁りの少ない軟水です。生で食べる作物の栽培には、向いています。しかし、再生水のナトリウムと塩素イオンの濃度は、若干高いので、ハウス栽培に再生水を続けて使用する場合には、使用水量や栽培方法について、沖縄県南部農業改良普及センター等に相談してください。

Q8 ➤再生水の処理コストは、どのように負担するの？

A8 ☞使用した再生水の量に応じて、農家さんより、料金は徴収します。

☞ただし、再生水の単価については、農家と市民の皆さんで、考えていかなければならない課題です。

☞再生水は、海水淡水化よりも低いコストで作られます。その処理と送水および施設の維持管理には、費用がかかります。しかし、沖縄の水の有効利用には、最も現実的な手段です。

☞再生水を農業利用することは、農家さんのためだけではなく、私たちが毎日の生活で汚した水をキレイにして、沖縄の自然や暮らしを守るという意味もあります。

(6)危機シナリオ

①シナリオ1＞批判報道

i) 状況

☛再生水を農業に利用することを批判する記事が、新聞で報道される。

ii) 危機レベル

☛危機の深刻度は、レベル2である。

②シナリオ2＞台風

i) 状況

☛台風による停電で、再生水処理施設が停止し、この修復には1～2日かかる
と予想される。

ii) 危機レベル

☛危機の深刻度は、レベル2である。

③シナリオ3＞地震や津波

i) 状況

☛大地震や津波が、農作物の成長期に起き、畑地灌漑施設のパイプラインが
破損した。この修復には、7日以上かかると予想され、農作物への影響が予想
される。

ii) 危機レベル

☛危機の深刻度は、レベル3と決定される。

④シナリオ4＞食品安全

i) 状況

☛生野菜を食べた人が、食中毒で重病になり、再生水が疑われている。

ii) 危機レベル

☛危機の深刻度は、レベル3と決定される。

⑤シナリオ5＞食中毒

i) 状況

☛生野菜を食べた人が死亡し、野菜から大腸菌O-157が検出され、新聞で再
生水を疑った記事が報道される。

ii) 危機レベル

☛危機の深刻度はレベル3であるが、再生水が原因となった場合は、レベル4
と決定される。

参考資料

下水処理水を生食用作物に灌漑利用する際に考慮すべき病原微生物

下水の農業利用は、ギリシャなどで3,000年前から行われているが、下水には人の健康や農作物にとって問題となる病原微生物が残っている場合がある。

多くの発展途上国では、未処理(生下水)あるいは適正処理されていない下水の農業利用が、食中毒の主な要因となっている。

一般の下水処理場で、行われている二次処理(主に有機物と浮遊物質の除去)では、病原微生物の数は減るすが、完全に除去することはできず、消毒を行っても然りである(表-1)。

表-1 二次処理後の処理水中の典型的な病原微生物濃度範囲

| 病原微生物 | 生下水 | 二次処理(標準活性汚泥法) |
|------------------------|-------------------------|------------------|
| 大腸菌群 (個/100mL) | 1,000,000~1,000,000,000 | 10,000~1,000,000 |
| 原虫のシスト、オーシスト (個/100mL) | 10~10,000 | 10~100 |
| ウイルス (PFU/100mL) | 10~10,000 | 10~1,000 |

参考:[20]水再生利用学(2010), 表-3.14

食中毒というと、まず頭に浮かぶのが肉や魚などであるが、実際には野菜を原因食材とする事例もかなり国内外であり、これらの事例では、生産段階での汚染が疑われている(表-2)。

日本では、もともと野菜を生食する食習慣はなかったが、戦後以降、生野菜をサラダとして食べるようになってきたため、その食中毒リスクは無視できない。

表-2 生鮮野菜とその加工品を原因食品とする国内外の食中毒事例

| 発生年 | 発生場所 | 原因食品 | 原因微生物 | 感染者数(死者数) |
|------|------------------|-------------------|---------|-----------|
| 1996 | 日本(大阪府) | カイワレ大根(推定) | 大腸菌O157 | 7,992(3) |
| 1996 | 米国 | アルファルファ | サルモネラ | >500 |
| 2000 | 日本(埼玉県) | カブの浅漬 | 大腸菌O157 | 7(3) |
| 2000 | 米国 | 緑豆スプラウト | サルモネラ | 45 |
| 2002 | カナダ | 野菜サラダ | 大腸菌O157 | 17(2) |
| 2002 | 日本(福岡県) | キュウリ浅漬 | 大腸菌O157 | 542 |
| 2002 | 米国 | トマト | サルモネラ | 510 |
| 2004 | 米国 | レタス | サルモネラ | 372 |
| 2004 | 米国 | トマト | サルモネラ | 561 |
| 2005 | 日本(香川県) | 野菜浅漬 | 大腸菌O157 | 43(6) |
| 2005 | オーストラリア | アルファルファ | サルモネラ | 125 |
| 2005 | ヨーロッパ | 冷凍ラズベリー | ノロウイルス | 100 |
| 2006 | 米国、カナダ | ハウレンソウ | 大腸菌O157 | 205(3) |
| 2006 | 米国 | トマト | サルモネラ | 183 |
| 2006 | 米国 | レタス | 大腸菌O157 | 81 |
| 2007 | 米国、ヨーロッパ | バジル | サルモネラ | 51 |
| 2007 | ヨーロッパ | ベビーハウレンソウ | サルモネラ | 354 |
| 2007 | オーストラリア、ヨーロッパ | ベビーキャロット | 赤痢菌 | 230 |
| 2008 | 米国、カナダ | レタス | 大腸菌O157 | 134 |
| 2008 | 米国 | ペッパー(ハラペーニョ、セラーノ) | サルモネラ | 1,442(2) |
| 2009 | 米国 | アルファルファスプラウト | サルモネラ | 235 |
| 2010 | 英国 | 緑豆スプラウト(モヤシなど) | サルモネラ | 219 |
| 2011 | ヨーロッパ(ドイツで発生・拡大) | フェヌグリークスプラウト | 大腸菌O104 | 4,321(50) |
| 2012 | 日本(北海道) | 白菜浅漬 | 大腸菌O157 | 169 |
| 2014 | 日本(静岡県) | キュウリ | 大腸菌O157 | 481 |
| 2015 | 米国 | キュウリ | サルモネラ | 558(3) |
| 2016 | 日本(沖縄) | サトウキビ(ジュース) | 大腸菌O157 | 22 |

参考:[25]生鮮野菜の微生物安全性に向けた取り組み方針(2013)

野菜を生産する際には、灌漑水や堆肥および人の手などを通して、病原微生物に汚染される可能性がある。

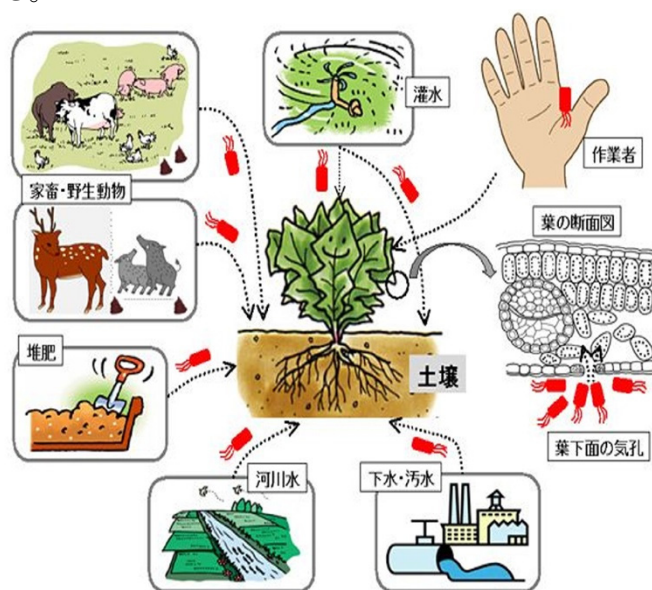


図-1 生鮮野菜の生産環境での食中毒菌汚染経路

出典：[25]生鮮野菜の微生物安全性に向けた取り組み方針(2013)

原因食品別の食中毒の平成10年から平成27年までの合計によると、「野菜及びその加工品」による食中毒の事件数や患者数の割合は、他の食品に比べても比較的多く、死者数は魚介類の次に多い(図-2)。

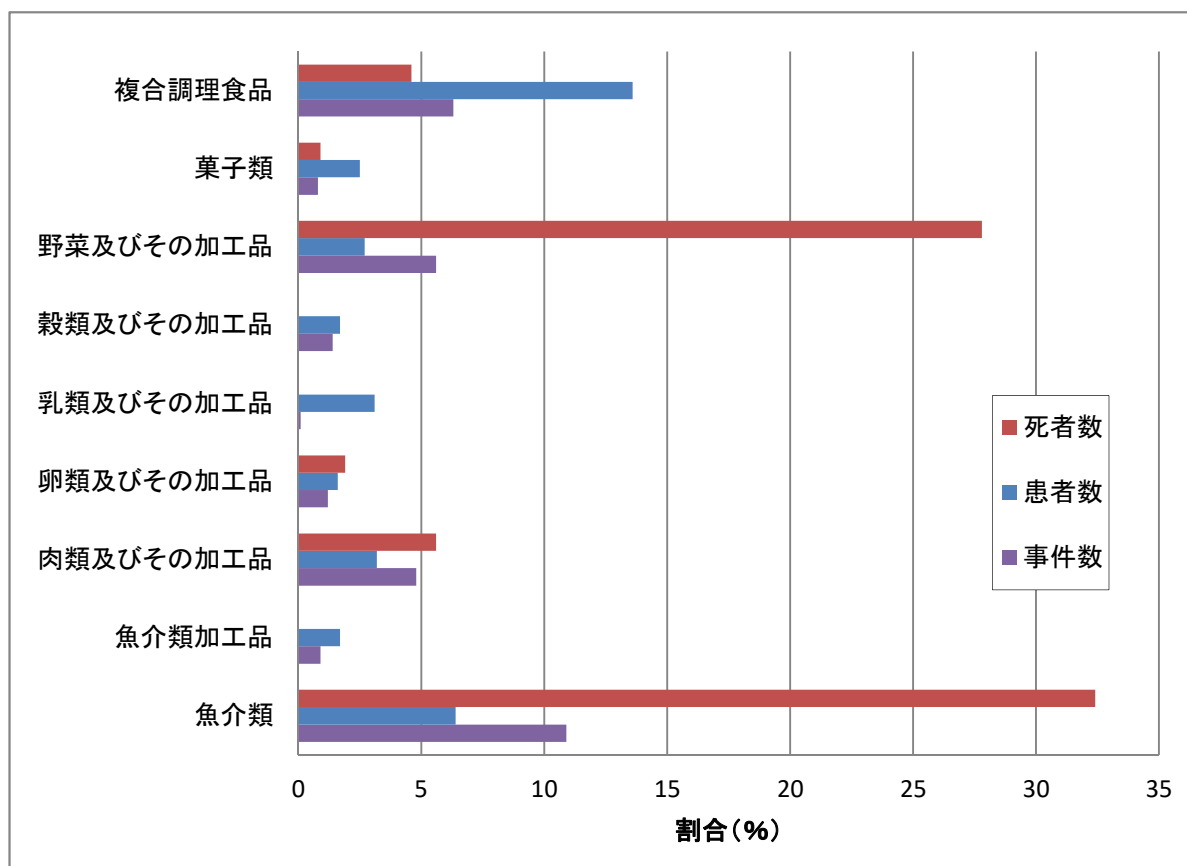


図-2 原因食品別の食中毒の事件数・患者数・死者数(平成10年から平成27年までの合計)

出典：[42]厚生労働省食中毒統計調査

国内での食中毒は、毎年約1,000～2,000件発生しており、カンピロバクターとノロウイルスが多い(図-3)。また、患者数は毎年約2万～4万人で、患者の約半数はノロウイルスが原因である(図-3)。

食中毒の原因はウイルスや細菌であり、なかでも、ノロウイルスが原因とされている食中毒の発生割合が、近年は高い傾向にある(図-3)。

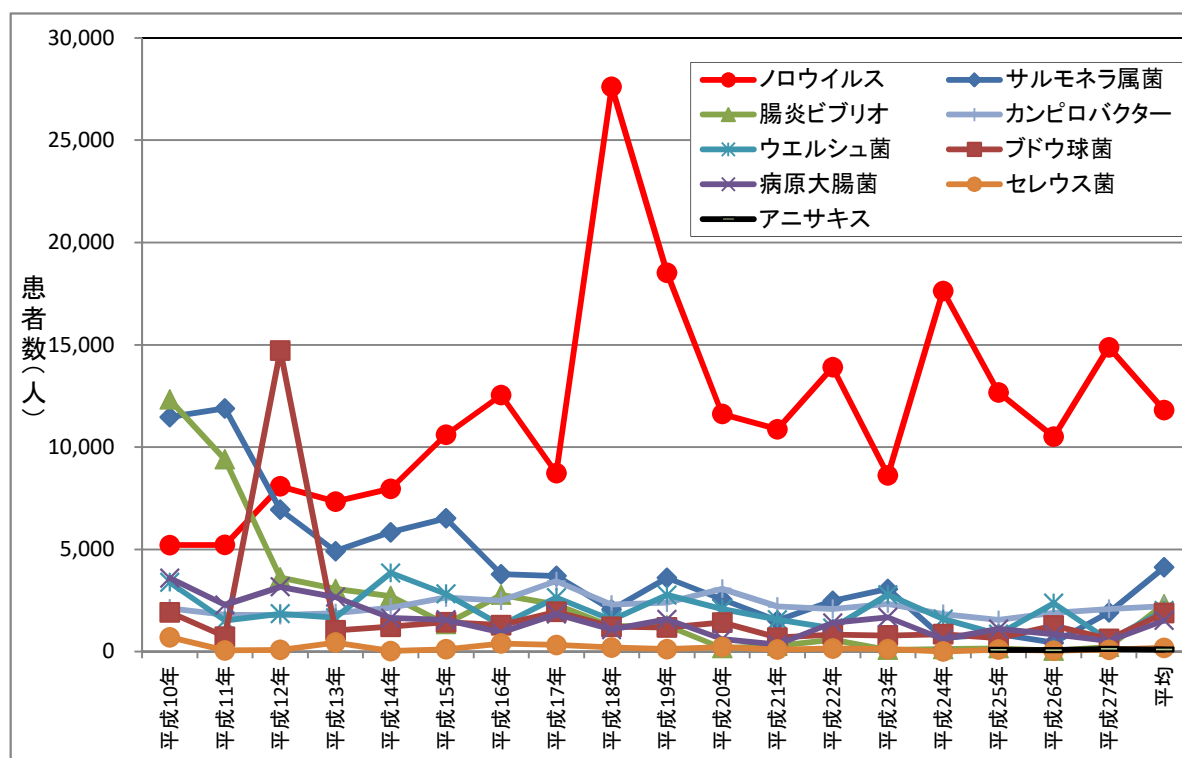
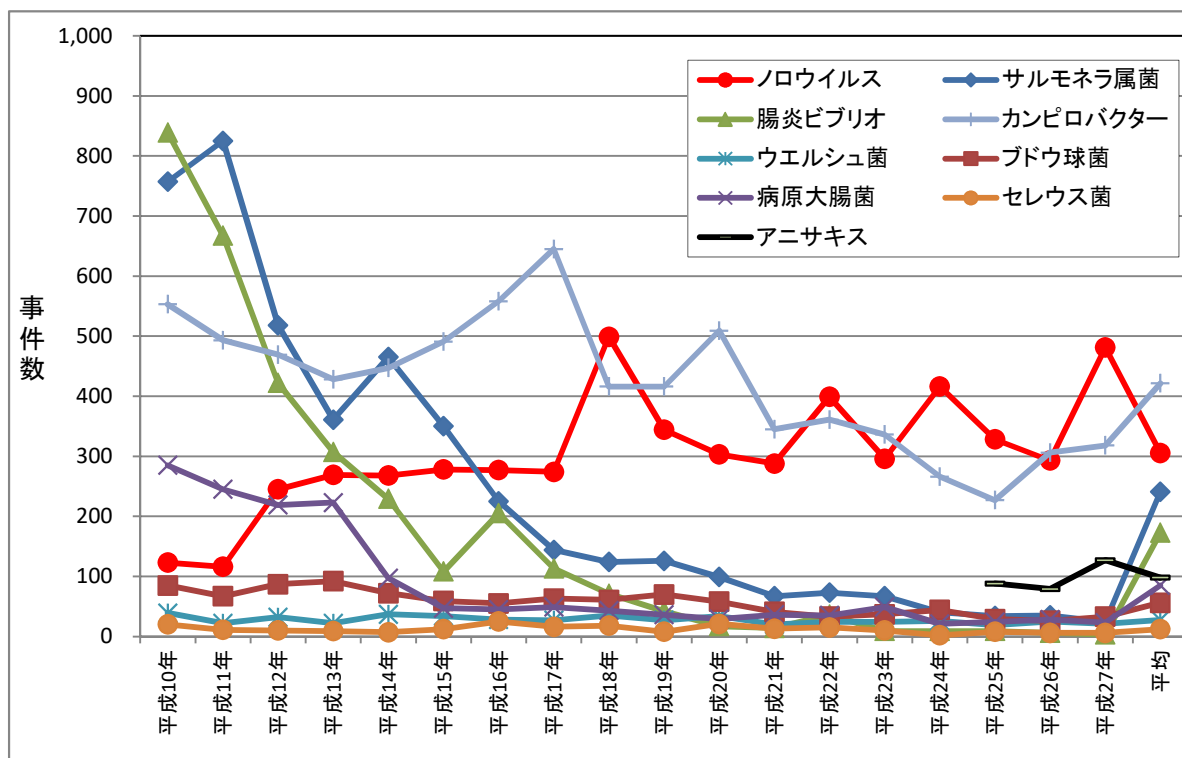


図-3 原因別の食中毒の事件数と患者数の経年変化

出典：[42]厚生労働省食中毒統計調査

沖縄県におけるノロウイルスによる食中毒は、届出がある事例だけでも、下表のとおり毎年発生している。

表-3 沖縄県におけるノロウイルスによる食中毒発生状況(平成24年～平成28年)

| 発生年 | 発生月日 | 保健所 | 原因食品分類 | 感染者数 |
|--------------|--------|-----|------------|------|
| 平成24年(2012年) | 1月31日 | 南部 | 複合調理食品 | 44 |
| | 2月27日 | 中部 | 複合調理食品 | 8 |
| | 7月19日 | 中部 | 複合調理食品 | 82 |
| | 10月8日 | 中部 | 不明 | 18 |
| 平成25年(2013年) | 3月14日 | 北部 | その他 | 14 |
| 平成26年(2014年) | 2月8日 | 中部 | その他 | 39 |
| | 2月13日 | 南部 | 不明 | 14 |
| | 9月18日 | 北部 | 複合調理食品 | 24 |
| | 10月26日 | 那覇市 | 魚介類及びその加工品 | 37 |
| 平成27年(2015年) | 1月5日 | 那覇市 | 不明 | 46 |
| | 2月2日 | 中部 | 不明 | 6 |
| | 11月13日 | 中部 | 不明 | 6 |
| | 11月24日 | 北部 | 複合調理食品 | 64 |
| 平成28年(2016年) | 5月4日 | 八重山 | 不明 | 11 |
| | 6月15日 | 中部 | 弁当 | 30 |

出典：[42]厚生労働省食中毒統計調査

次図は、2014年9月～2016年3月に、沖縄県衛生環境研究所へ検査依頼があり、ノロウイルスが検出された28事例を月別に示したものである[43]。

ノロウイルスによる食中毒の発生は、冬場に多い傾向はみられるが、年間を通して発生しており、遺伝子型としてはGⅡタイプの発生が多い(図-4)。

しかも、本調査結果[43]によると、沖縄県内で初めて検出されたノロウイルスの株があり、県外から侵入している可能性が示唆されている。

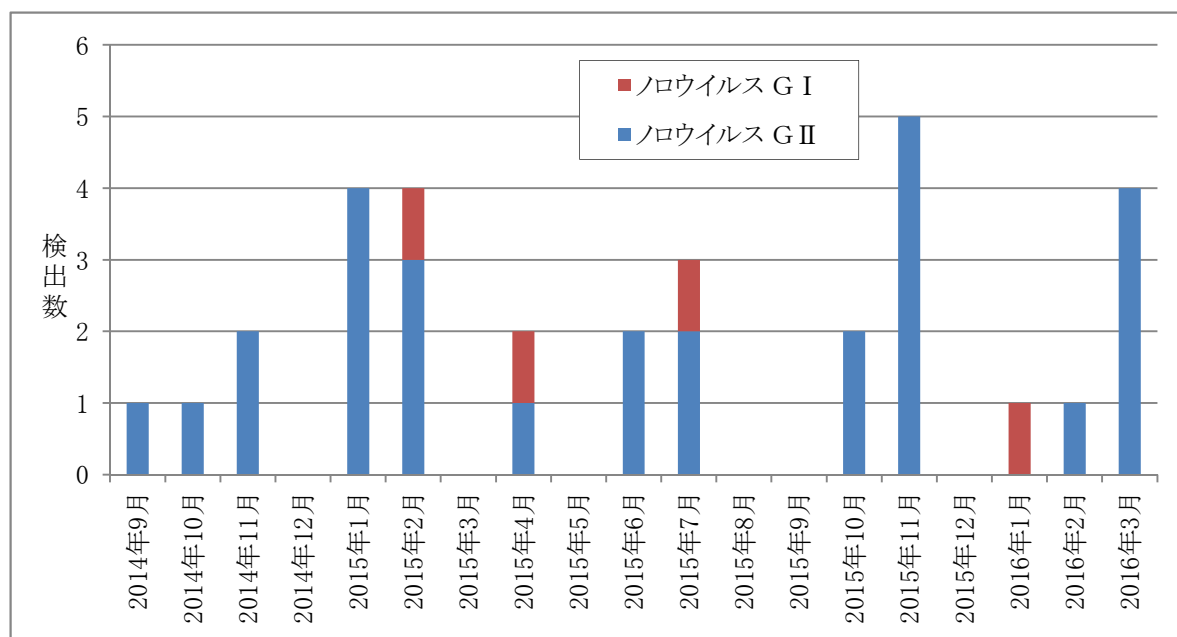


図-4 2014年9月～2016年3月における沖縄県のノロウイルス検出状況

出典：[43]ノロウイルスGⅡ.P17-GⅡ.17の県内初確認事例と発生動向について(2017)

下水処理場より河川や海に放流されたノロウイルスは、二枚貝類(カキ・アサリ・シヤコガイなど)に蓄積され、貝を加熱不足で食することで感染する。

この二枚貝類を介する感染と、人→人・人→環境→人・人→食品→人の感染の二つの経路で、毎年ノロウイルス感染が繰り返されている(図-5)。

ノロウイルスは人の体内で増殖し、排泄されることで、下水道に大量に流入することになる。

特に、下水処理水を生食用野菜などの畑地灌漑に再利用する場合には、下水処理場におけるノロウイルス除去の役割は重要である。

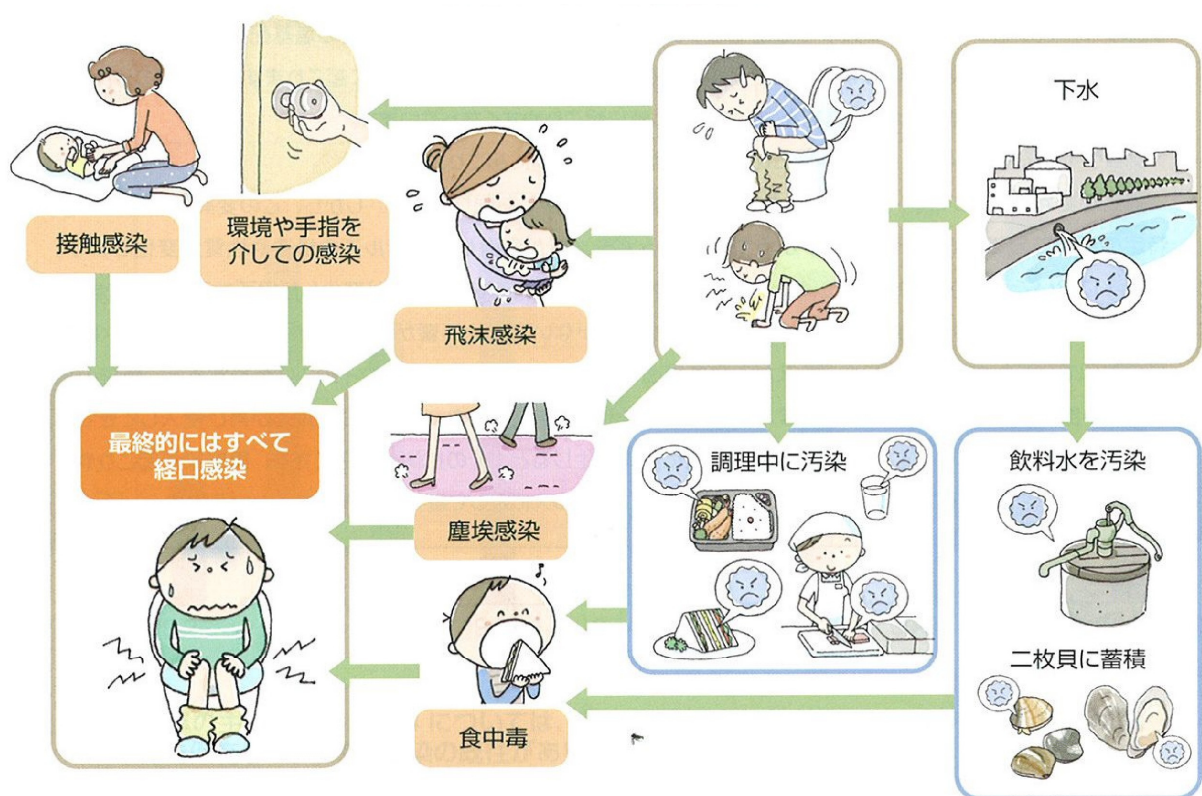


図-5 ノロウイルスの感染経路

出典：[28]ノロウイルス食中毒・感染症からまもる(2013)

「下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書」[44]によると、放流水中のノロウイルスは非流行期と流行期を併せた全体において、Genogroup I (G I) で58/98検体(59%)、Genogroup II (G II) で45/98 検体(46%)が検出され、最高濃度はG I の 3.0×10^5 copies/Lであった(図-6)。

各処理場の最高濃度は、いずれも流行期の11月～3月に検出され、流行期における一般的な「標準活性汚泥法＋塩素消毒」による放流水の平均値は、概ね 10^3 copies/Lである(図-6)。

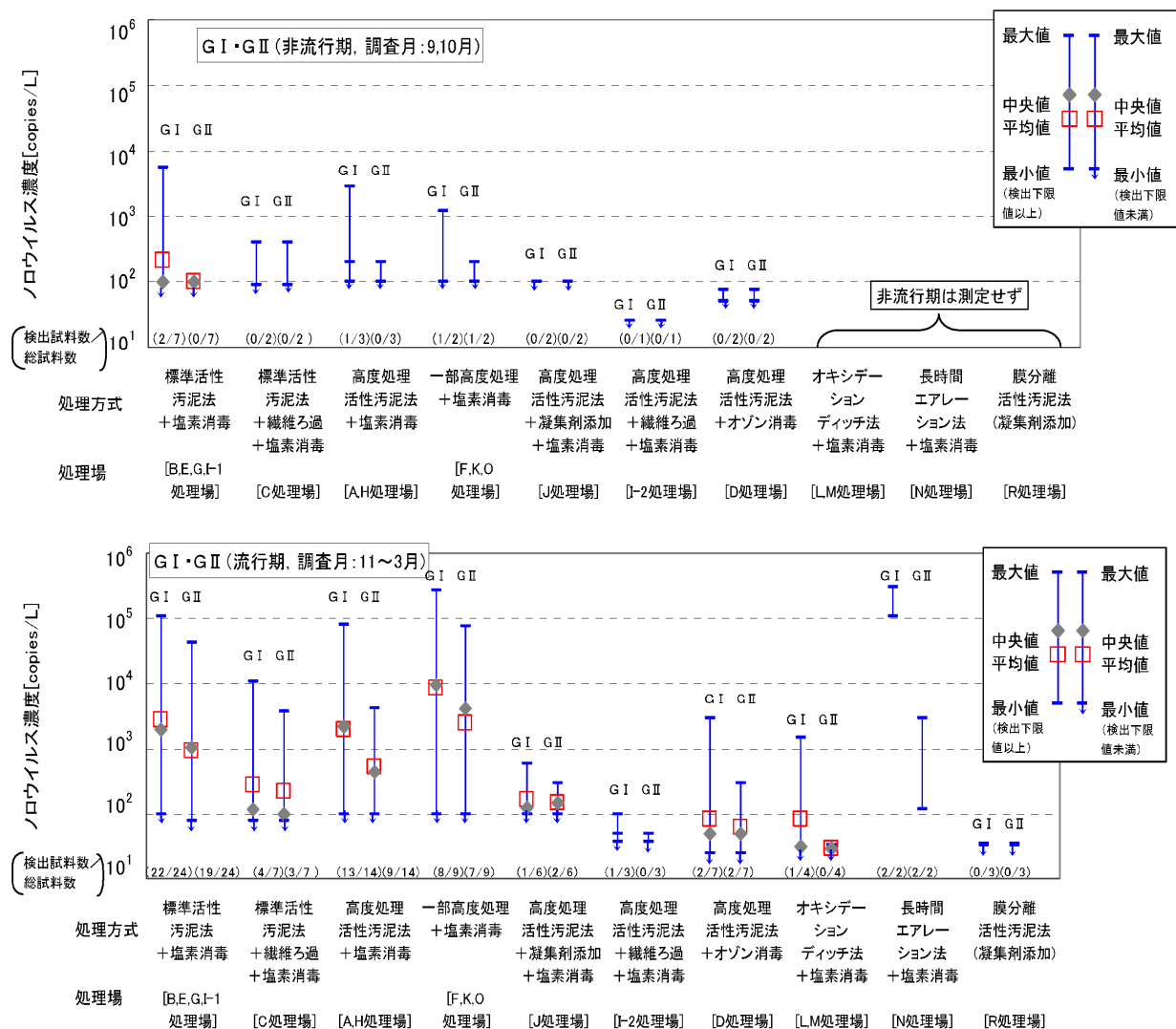


図-6 放流水中のノロウイルス濃度

出典: [44] 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書(2010)

これらのことより、都市下水道処理水を、生食用野菜などへの畑地灌漑に再利用を計画する際には、「人の健康への影響」を極力少なくするために、食中毒を起こすウイルスなどを除去する再処理等が必要であることに留意すべきである。

参考文献

- [1] 農林水産省統計部:沖縄県の耕地面積(平成24年度), 2013
- [2] 沖縄県農林水産部村づくり計画課:沖縄県の農業基盤整備状況(平成24年度), 2013
- [3] 沖縄総合事務局土地改良総合事務所:島尻地区再生水実証試験とりまとめその他業務報告書(平成20年度), アジアプランニング株式会社, 2009
- [4] 沖縄県:沖縄21世紀ビジョン基本計画(沖縄振興計画 平成24年度～平成33年度), 2012
- [5] 沖縄県農林水産部村づくり計画課・農地水利課・農村整備課:新ゆがふ「むら」づくり「沖縄21世紀ビジョン」に係る農業農村整備の方向性について振興計画 平成24年度～平成33年度), 2012
- [6] 沖縄県:沖縄汚水再生ちゅら水プラン2016(沖縄県下水道等整備構想), 2016
- [7] 環境省自然環境局自然環境計画課, サンゴ礁生態系保全行動計画2016-2020 サンゴの海の恵みを守るために, 2016
- [8] 田中宏明:JST CREST「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」に関する報告書, 国立研究開発法人科学技術振興機構, 2015
- [9] (株)西原環境・(株)東京設計事務所・京都大学・糸満市共同研究体:B-DASHプロジェクト 下水処理水の再生処理システムに関する実証研究, 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2017
- [10] (株)西原環境・(株)東京設計事務所・京都大学・糸満市共同研究体:B-DASHプロジェクト UF膜ろ過と紫外線消毒を用いた高度再生水の創水システム【仮称】導入ガイドライン(案), 国土交通省国土技術政策総合研究所, 2017
- [11] ISO 16075-1:Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects－Part1: The basis of a reuse project for irrigation, 2015
- [12] ISO 16075-2:Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects－Part2: Development of the project, 2015
- [13] ISO 16075-3:Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects－Part3: Components of a reuse project for irrigation, 2015
- [14] ISO 16075-4:Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects－Part4: Monitoring, 2016
- [15] 濱田康治:再生水の灌漑利用に関するISOガイドライン(1)－ISO/TC282の概要－, 畑地農業第680号, 一般社団法人畑地農業振興会, 2015
- [16] 濱田康治:再生水の灌漑利用に関するISOガイドライン(2)－ISO 16075の概要－, 畑地農業第680号, 一般社団法人畑地農業振興会, 2015
- [17] 農林水産省農村振興局整備部地域整備課:農業集落排水施設の処理水のかんがい利用に関する手引き(案), 2017
- [18] 沖縄県下水道管理事務所:沖縄県流域下水道維持管理年報(平成27年度), 2016
- [19] 糸満市水道部工務課下水道係:糸満市浄化センター水質および汚泥分析業務報告書(平成24年度, 平成27年度), 2013, 2016
- [20] 浅野孝:水再生利用学－持続可能社会を支える水マネジメント, 技報堂出版株式会社, 2010
- [21] 国土交通省水管理・国土保全局水資源部:日本の水資源の現況(平成27年版), 2016
- [22] 大城喜信:沖縄の農業と土壌－持続的・発展的な農業をめざして－, 社会福祉法人みつわ福祉会, 2007

- [23] 沖縄県農林水産部村づくり計画課・農地農村整備課:沖縄県の農業農村整備(平成27年度版), 2016
- [24] 野田衛:ノロウイルス食中毒・感染症からまもるーその知識と対策ー, 公益社団法人日本食品衛生協会, 2013
- [25] 川本伸一:生鮮野菜の微生物安全性に向けた取り組み, 一般財団法人食品分析開発センター, <http://www.mac.or.jp/mail/130701/01.shtml>, 2013
- [26] FAO:Water quality for agriculture, 1994
- [27] 沖縄県農林水産部南部農林土木事務所:再生水利用による沖縄型水循環システム導入可能性調査委託業務報告書(平成25年度～平成28年度), 株式会社碧コンサルタンツ, 2014～2017
- [28] 鈴木光剛:畑作物の水質環境 食の安全とおいしさを求めて, 社団法人畑地農業振興会, 2003
- [29] 沖縄県農業研究センター:液肥を地下ダム用水で希釈した場合に生じる沈殿生成防止技術, 2011
- [30] 江川友治訳:土壌・肥料学の基礎, 株式会社養賢堂, 1981
- [31] U.S.EPA:Guidelines for Water Reuse, EPA/600/R-12/618, 2012
- [32] WHO:Guidelines for the Safe Use of Wastewater , Excreta and Greywater, 2006
- [33] 土木学会:水系微生物汚染の健康へのリスク評価と制御手法ー水の再利用と微生物基準, 1993
- [34] California Health Laws Related to Recycled Water:Title 22 Code of Regulations, 2001
- [35] 国土交通省都市・地域整備局下水道部 国土交通省国土技術政策総合研究所:下水処理水の再利用水質基準等マニュアル, 2005
- [36] WHO:Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture, 1989
- [37] 農林水産省農村振興局:土地改良事業計画設計基準及び運営・解説 計画「農業用水(畑)」, 公益社団法人農業農村工学会, 2015
- [38] PRTRインフォメーション広場:<https://www.env.go.jp/chemi/prtr/risk0.html>
- [39] 浄水膜(第2版)編集委員会:浄水膜(第2版), 技報堂出版株式会社, 2008
- [40] Water Quality & Operations Committee of the Monterey County Water Recycling Projects:MONTEREY COUNTY WATER RECYCLING PROJECTS CRISIS MANAGEMENT PLAN, 2008
- [41] Water Quality & Operations Committee of the Monterey County Water Recycling Projects:MONTEREY COUNTY WATER RECYCLING PROJECTS OPERATOR AND CRISIS TEAM MEMBER SUPPLEMENT TO CRISIS MANAGEMENT PLAN, 2008
- [42] 厚生労働省食中毒統計調査:<http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/112-1.html>
- [43] 加藤峰史他:ノロウイルスGⅡ.P17-GⅡ.17の県内初確認事例と発生動向について, 沖縄県衛生環境研究所他, 2017
- [44] 国土交通省:下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書, 2010

沖縄県における都市下水道処理水の畑地灌漑利用マニュアル

発 行 年 月 平成29年(2017年)3月

発 行 者 沖縄県 農林水産部 南部農林土木事務所

編集・印刷 株式会社 碧コンサルタンツ
