

ウィズコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・ 導入に向けた調査研究業務 「下水サーベイランスの活用に関する実証事業」 個別施設実証 レポート

本レポートは、「ウィズコロナ時代の実現に向けた主要技術の実証・導入に向けた調査研究業務」において得たデータ・情報に基づき、複数の専門家からの助言を受け、事業管理者である三菱総合研究所が分析した結果をまとめたものである。なお、本レポートは行政機関により内容の正確性や妥当性を精査・確認・保証したものではない。

2023年3月

目次

1.	本実証の目的	1
2.	施設別分析	2
2.1	本実証において検知対象としている新型コロナウイルスの特徴.....	2
2.2	施設別分析の考え方	3
3.	新規感染者検知の信頼性.....	6
3.1	新規感染者・有症状者状況と下水検査の関係	6
3.2	把握対象	13
3.3	ウイルス検出への影響要因(生活排水への流入 等).....	14
3.4	ウイルスの検出限界(検出下限値の取扱い)	18
4.	信頼性のある下水検査の実施可能性.....	23
4.1	施設種別	23
4.2	施設の状況に応じた採水・輸送・検査方法.....	29
5.	対策への活用可能性	38
5.1	感染拡大防止の観点から見た実証結果の整理.....	38
5.2	事例から得られる示唆.....	48
6.	普及にあたっての課題と対応の可能性	53
6.1	施設の活用ニーズ(感染拡大防止、体制整備).....	53
6.2	費用低減、時間短縮.....	58
6.3	他の感染症等の同時検査の可能性.....	63
6.3.1	実施概要.....	64
6.3.2	結果	65
6.4	施設における下水検査の導入・運用.....	65
6.5	個別施設への導入拡大と社会全体への普及に向けて	70

1.	(付録)事前調査について	1
1.1	施設における事前検討	1
1.2	地域特性に応じた採水における考慮事項	3

図目次

図 1-1 下水検査とサーベイランスの関係.....	1
図 2-1 体内のウイルス量と排泄に関する模式図.....	2
図 3-1 感染拡大初期段階の分析対象イメージ.....	7
図 3-2 回復者からのウイルス排出継続期間.....	10
図 3-3 感度・特異度のまとめ.....	12
図 3-4 施設 K の下水検査結果と新規感染者数.....	20
図 4-1 下水陽性検出時のフローと活用場面の関係.....	28
図 4-2 1 施設あたりの平均新規感染者数.....	30
図 4-3 採水地点(上記のうち、2B、1C、3B、3C を比較).....	34
図 4-4 採水地点(上記のうち、MH1、MH2、MH3、MH6 を比較).....	36
図 5-1 感染拡大防止事例① タイムライン.....	39
図 5-2 感染拡大防止事例② タイムライン.....	40
図 5-3 感染拡大事例① タイムライン.....	40
図 5-4 感染拡大防止事例② タイムライン.....	42
図 5-5 施設 I 採水地点模式図(再掲).....	43
図 5-6 感染拡大事例② タイムライン.....	44
図 5-7 感染拡大事例③ 事例タイムライン.....	44
図 5-8 感染拡大事例④ タイムライン.....	46
図 5-9 感染拡大事例⑤ タイムライン.....	47
図 5-10 感染拡大事例⑥ 事例タイムライン.....	48
図 5-11 下水陽性検出時のヒト検査の流れ.....	50
図 5-12 下水陽性検出時のフローと活用場面の関係(再掲).....	52
図 6-1 施設内感染拡大防止のための採水から感染者特定のタイムライン例.....	58
図 6-2 費用構造の整理.....	59
図 6-3 時間構造の整理.....	60
図 6-4 所要時間の整理(施設別).....	61
図 6-5 下水検査導入・運用フロー.....	66

表目次

表 2-1 各検査事業者による下水陽性/陰性の定義	4
表 3-1 感度と特異度.....	6
表 3-2 感度と特異度(実証内の全期間を対象とした場合)	6
表 3-3 グレー判定を陽性とした場合の感度・特異度.....	7
表 3-4 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度(グレー判定を陰性とした場合).....	8
表 3-5 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度(グレー判定を陽性とした場合).....	8
表 3-6 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度	8
表 3-7 居住型の高齢者施設における感染拡大初期の下水検査とヒト検査の結果	9
表 3-8 回復者の影響を排除した場合の感度・特異度.....	10
表 3-9 施設内の新規感染者・有症状者の状況と下水コロナ検出の対照表(全施設のまとめ).....	13
表 3-10 施設 U 採水実施概要	15
表 3-11 施設 I 採水実施概要	16
表 3-12 留置時間によって判定が異なるケース.....	17
表 3-13 下水陽性/陰性の定義(再掲).....	18
表 3-14 下水調査結果がグレーだった時の施設の状況.....	19
表 3-15 混合検体の検査結果	22
表 4-1 種別ごとの活用場面の例	29
表 4-2 施設 I 早期検知時の下水コロナウイルス検知時間	32
表 4-3 グラブサンプリング・トラップ(パッシブ)サンプリングのメリット・デメリット.....	33
表 4-4 同一時間帯におけるグラブサンプリング(地点 3B)とトラップ(パッシブ)サンプリング(地点 3C)の比較.....	34
表 4-5 グラブサンプリングにおける陽性検知時間の推移	35
表 4-6 MH1~3 のトラップ(パッシブ)サンプリングと汚水槽(MH6)のグラブサンプリングの比較	37
表 5-1 施設 F 採水実施概要	39
表 5-2 施設 C 採水実施概要	41
表 5-3 施設 I 採水実施概要(再掲).....	42
表 5-4 施設 A 採水実施概要	45
表 5-5 施設 M 採水実施概要.....	46
表 5-6 施設 K 採水実施概要.....	47
表 5-7 施設 G 採水実施概要	48
表 5-8 本実証内で確認されたクラスター発生事例	51
表 6-1 新型コロナウイルスの各種検査法の比較	57
表 6-2 同時検査における検証項目	64
表 6-3 複数病原体検査の実施施設「施設 A」概要	64

表 6-4 複数病原体検査を実施した検査事業社の概要	65
表 6-5 下水検査における選択項目	68
表 6-6 下水検査の普及に向けた課題と対応の方向性	70

1. 本実証の目的

下水サーベイランス(下水中のウイルスを検査・監視すること)により、地域の新型コロナウイルス感染症(以下、感染症)のまん延状況の把握や、特定の施設における感染有無の探知等を行い、効果的・効率的な対策につなげられる可能性があり、国内外で下水サーベイランスに関する研究・取組が行われている。下水中のウイルスの検査は、鼻咽頭ぬぐい液や唾液、鼻腔ぬぐい液を使う検査のように人から検体を採取する必要がないことから、利便性が指摘される一方、感染症対策に活用するうえでの課題もある。

下水サーベイランスの活用に関する実証事業 個別施設実証(以下、本事業)では、施設における下水サーベイランスを活用するうえでの課題を明らかにし、その解決方法を検討し、最適な検査パッケージ¹を検証することを目的に実施した。具体的には、本実証を通じて、

- 施設における下水検査とヒト検査(PCR 検査や抗原定性検査等を活用)との整合性の検討
- 下水を用いたウイルス遺伝子検出による下水検査の最適な検査手法(採水・検査の頻度、採水地点、採水方法、検査方法等)の検討
- 下水サーベイランスの費用低減に向けた検査手法、検査結果が出るまでの時間の短縮のための採水・運搬等の方策の検討

を行い、下水サーベイランスの実用的な活用に向けた検査手法の最適化を目指す目的で実施した。

本実証において用いる用語を図 1-1 のように整理した。定期的に下水検査を行い、状況を定点把握することを下水サーベイランスと呼ぶ。本実証では、下水検査を実施し、陽性検知した後に感染拡大防止策へつなげる一連の流れについて、実現可能性や課題を検討した。

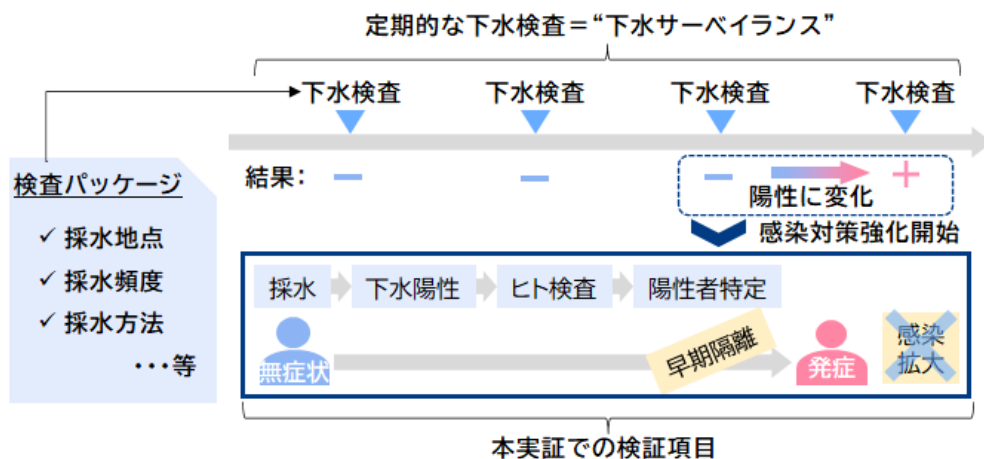


図 1-1 下水検査とサーベイランスの関係

¹ 検査パッケージとは、施設における採水地点、採水方法(グラブサンプリング/トラップ(パッシブ)サンプリング)、採水時間、採水頻度、検査方法等の組み合わせを指す。

2. 施設別分析

施設における下水検査と施設内感染状況との整合性を検討する目的で、施設ごとに、採水結果と施設内感染状況の関係を整理した。

以下に、本実証において得られた結果及び考察について述べる。

2.1 本実証において検知対象としている新型コロナウイルスの特徴

新型コロナウイルスは、感染後、基本的には上気道で増え、唾液や鼻汁中に出ていくが、一部は腸管に入り増殖するため、糞便中に含まれ排出される。そのため施設から排出される下水の中には、施設利用者や職員等のうがい液や糞便等に含まれる新型コロナウイルスが含まれる。

感染者からウイルスが排出されるタイミング・濃度と症状の関係は、図 2-1 のようになっている。基本的に、症状が無い段階からウイルスを排出しているため、有症状者だけに絞ったヒト検査では見落としも多く、知らないうちに感染が広がってしまう可能性を否定できない。特にオミクロン株は、感染から発症までの時間が短くなっている(約 3 日²)ため、より早期に感染者を発見できる手段の構築・社会実装が望まれる。

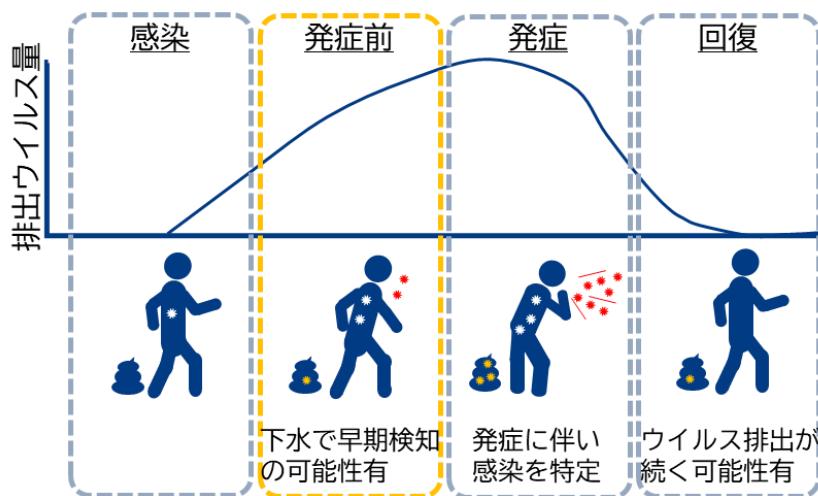


図 2-1 体内のウイルス量と排泄の関係に関する模式図

感染後は、回復後であっても感染性はないものの、ウイルスを排出していることがある。このようなウイルスの性質を考慮すると、「感染性のあるウイルスを排出している感染者を特定し、素早く対策を行うこと」が必要だと考えられる。本実証では、下水サーベイランスによって発症前の段階から早期にウイルスを検出し、感染者の迅速な特定に寄与するという目的のもと、下水サーベイランスの活用可能性を検証した。

下水サーベイランスを導入することにより、ヒトから直接検体を採取しなくても施設内の感染状況を把

² 厚生労働省「オミクロン株の特徴を踏まえた効果的な対策」

握できる可能性がある。施設利用者を含めた全員を毎日ヒト検査することは現実的に難しく、現在は職員のみを対象としたヒト検査や、有症状者に限定したヒト検査を行っている施設が多いが、下水サーベイランスの導入により、施設全体を状況把握対象とすることが可能になる。

なお、本実証の実施事項の中には、各施設での下水サーベイランス導入時に必要な対応に加えて、混合検体での検査や複数病原体検査の試行等、効果検証に向けた専門的なデータ取得も含まれている。実際に各施設へ下水サーベイランスを導入する際に検討すべき事項については、後述の「6.普及にあたっての課題と対応の可能性」に記載した。

2.2 施設別分析の考え方

下水サーベイランスの有用性を検討するためには、施設ごとの利用者や管理方針、施設構造等の背景情報を総合的に考慮したうえで、結果を解釈する必要がある。そこで、本実証において得られた結果を各施設別に整理し、下水サーベイランスの普及に向けた示唆を得ることとした。

なお、検査結果表を集計するにあたり、各検査結果の定義を以下の通り定めた。各定義の解釈の限界等を考慮したうえで、結果を整理した。

- 下水検査【陽性】:表 2-1 参照
 - ・ 各検査事業者が定める定義において、「陽性」と判断される結果。
- 下水検査【陰性】:表 2-1 参照
 - ・ 各検査事業者が定める定義において、「陰性」と判断される結果。
 - ・ なお、「陰性」のうち、各検査事業者が定める定義において、「疑わしき」「陰性だが増幅あり」「不検出だが増幅あり」と報告される結果(以下、「グレー」とする)は、その背景要因を踏まえた解釈について別途分析を行う。
- 新規感染者・有症状者【あり】
 - ・ 本実証では過去 2 か月以内に新型コロナ感染歴³がなく、検査で陽性が確認されており、隔離期間中の職員・利用者が、採水日当日に施設にいたことが確認されている場合、「新規感染者・有症状者あり」とみなす。なお、陽性が判明した検査の検体採取日・検査日当日もこの期間に含む。
 - ・ ヒト検査で陽性が判明する前に発症した人について、発症日～陽性判明日の期間、有症状者として扱う。
 - ・ 本実証において、下水検査後に実施されたヒト検査の結果に加え、各施設が独自に実施したヒト検査及び健康観察の結果を含む。ただし未提供のデータが存在する可能性あり。
- 新規感染者・有症状者【なし】

³ 前述したように、新型コロナ感染後、回復後もウイルスを排出した例がある。ここでは、過去 2 か月以内に感染歴がない場合を「感染歴がない」とした。

- ・ 上記【新規感染者・有症状者あり】以外の場合を【新規感染者・有症状者なし】とみなす。
- ・ ヒト検査は行っていないが、健康観察において体調不良者がいないことを確認している場合も感染者はいないものとみなす。
※ただし、無症状感染者がいる可能性は排除できない。家庭内に感染者がおり濃厚接触者となっているが、本人は症状が無いため出勤する、というケースも含まれる。
- ・ 採水の当日あるいは採水時間中に、陽性の職員が欠勤しており施設にいない場合や、陽性の利用者が当該施設外の医療機関に移送されている場合も、感染者はいないものとみなす。
- ・ 感染後、隔離期間を経て回復した人(以下、回復者)がいる場合も、【新規感染者・有症状者なし】とみなす。
※ただし一部の回復者は、回復後もウイルスを排出しているケースがあるため注意が必要。
- ・ 以下のようなケースを含む。
 - ✓ 採水 3 日前～当日に、施設内の職員の 90%以上の人数対象とした検査を実施しており、陰性が確認されている場合。ただし検査されていない体調不良者がいる可能性は除外できない。
 - ✓ 検査は PCR 検査だけでなく、抗原定性検査と抗原定量検査を含むため、見逃しによる感染者もいる可能性がある。

表 2-1 各検査事業者による下水陽性/陰性の定義

検査事業者	陽性	グレー	陰性
検査機関 A	3 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限以上検出した場合は陽性 (検出下限値 =2500 Copies/L)	検出下限値以上の増幅は無いが、1 ウェル以上、検出下限値未満の増幅があったもの	1 ウェルも増幅が見られなかったもの
検査機関 B	Positive=検出(Ct 値が得られている)	—	Negative=検出せず
検査機関 D	2 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限値以上の場合は陽性 (検出下限値 = 83 Copies/L)	検出下限値以上の増幅は無いが、1 ウェル以上、検出下限値未満の増幅があったもの	1 ウェルも増幅が見られなかったもの
検査機関 E	6 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限値以上の場合は陽性 (検出下限値 =200～400 Copies/L)	—	検出下限値未満のウェルのみ
(参考)速報段階では、速報段階では、6 ウェル測定し、検出下限値以上が 1 ウェルあれば「疑わしき」として仮報告。 再分析でも同様に検出された場合「陽性」、検出されなかった場合「陰性」として報告。			

注)検査事業者ごとに異なる検体処理工程・検出プロトコルを用いているため、本実証では事業者間での数値の比較はしないこととする。
また、「検査機関 C」は検査を「検査機関 D」に外注しているため、検査機関 D の定義を本表に記載した。

<感度・特異度の集計の前提となる「1 単位」の定義>

- 1 地点ごとの結果を 1 単位とする。
 - ・ 例) 同日に 2 地点で採水していれば、1 日あたり 2 単位カウントされる。
- ゾーニングの整理
 - ・ 本実証における「ゾーニング」は、いわゆる「院内感染対策で用いる用語」とは異なる。感染状況を把握したい対象集団・エリアを絞り込み、職員・利用者別のトイレ等、それぞれの排水を検査するために適した採水地点(汚水枡あるいはマンホール)を区別・選定することを言う。
 - ・ ゾーニング地点と紐づく対象者が明らかな場合は、対象者と当該採水地点の結果を突合して判断する。
 - ・ ゾーニング地点と紐づく対象者が特定できない場合
 - ✓ 最終合流地点での採水を行っていれば、「施設内全員の感染状況」と「最終合流地点の結果」を突合する。
 - ✓ 最終合流地点での採水を行っていなければ、「いずれかの地点で検出されれば下水陽性、どこからも検出されなければ下水陰性」という基準で整理し、「施設内全体での感染者・有症状者の有無」と突合する。
- トラップ(パッシブ)サンプリングでの採水のみを計数し、グラブサンプリングは計数しない。
- 留置時間⁴の整理
 - ・ 同一日の、留置時間 3 条件の結果を合わせて 1 単位とする。
 - ・ いずれかの時間帯で検知されていれば「下水陽性」と判断する。

⁴ 留置時間とは、トラップ(パッシブ)サンプラーを排水経路に設置してから回収するまでの時間を指す。

3. 新規感染者検知の信頼性

3.1 新規感染者・有症状者状況と下水検査の関係

各施設において、施設における新規感染者・有症状者の有無を、下水検査によるウイルス検出結果がどの程度正確に把握しているかを明らかにするために、以下の2つの観点から分析を行った。

- 感度・特異度⁵による定量分析
 - ・ 新規感染者・有症状者ありの場合、下水でも陽性を検出できているかを検証:感度
 - ・ 新規感染者・有症状者なしの場合、下水でも陰性となっているかを検証:特異度
- ヒト検査と下水検査が一致しない場合の要因分析
 - ・ 新規感染者・有症状者有、下水陰性が発生した場合(下表:C)の考え方の検討
 - ・ 新規感染者・有症状者なしかつ、下水で陽性の場合(下表:B)の考え方の検討

表 3-1 感度と特異度

下水コロナ	ヒト	新規感染者・有症状者あり(+)	新規感染者・有症状者なし(-)
陽性(+)		+/+で一致(A)	-/+で不一致(B)
陰性(-)		+/-で不一致(C)	-/-で一致(D)

(1) 感度・特異度による定量分析

全施設を通して、施設内で新規感染者・有症状者ありの場合に採水された下水検査 125 回のうち、陽性 102 回、陰性 23 回であり、感度は 81.6 %であった。また、新規感染者・有症状者なしの場合に採水された下水検査 1035 回のうち、陽性 136 回、陰性 899 回であり、特異度は 86.9 %であった。

下水検査は、複数人の情報を反映した下水サンプルを用いて、陽性者の存在を把握する方法であるが、ヒトのプール化検体⁶を用いた試験も同様に、複数人の情報を一括して試験するものである。ヒトのプール化検体を用いた試験の精度管理を行う際には、検出限界に近い Ct 値の検体を含めて 20 検体以上混合し、陽性・陰性の一致率が 85%以上になることを確認することが推奨されている。本実証では、下水検査の感度・特異度がそれぞれ 81.6%・86.9%となっており、プール化試験の精度管理基準に近い値になっていることから、ヒトのプール化試験と同程度の信頼性があるのではないかと考える。

表 3-2 感度と特異度(実証内の全期間を対象とした場合)

下水コロナ	ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性		102 回:A	136 回:B
陰性		23 回:C	899 回:D
(合計)		125 回	1035 回

$$\text{感度(Sensitivity)}=A/(A+C) = 0.816$$

⁵ 感度:陽性の人が出た場合、正しく陽性と検知する確率

特異度:陰性の人が出た場合、正しく陰性と検知する確率

⁶ ヒトのプール化検体:ヒト由来の唾液検体の一部を複数人分混合して一度に測定するための検体

$$\text{特異度(Specificity)}=D/(B+D) = 0.869$$

1) グレー判定を陽性とみなした場合の感度・特異度

仮に、下水コロナ検査のグレー判定(29件)を陽性とカウントした場合、感度は83.2%と微増し、特異度は84.3%と微減した。

表 3-3 グレー判定を陽性とした場合の感度・特異度

下水コロナ	ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性		104回:A	163回:B
陰性		21回:C	872回:D
(合計)		125回	1035回

$$\text{感度(Sensitivity)}=A/(A+C) = 0.832$$

$$\text{特異度(Specificity)}=D/(B+D) = 0.843$$

2) 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度

下水検査を感染対策に結び付けるためには、感染拡大の初期段階(立ち上がり;図 3-1 参照)において、最初の新規感染者・有症状者が確認されるタイミングでの下水検査の有用性を検証する必要がある。

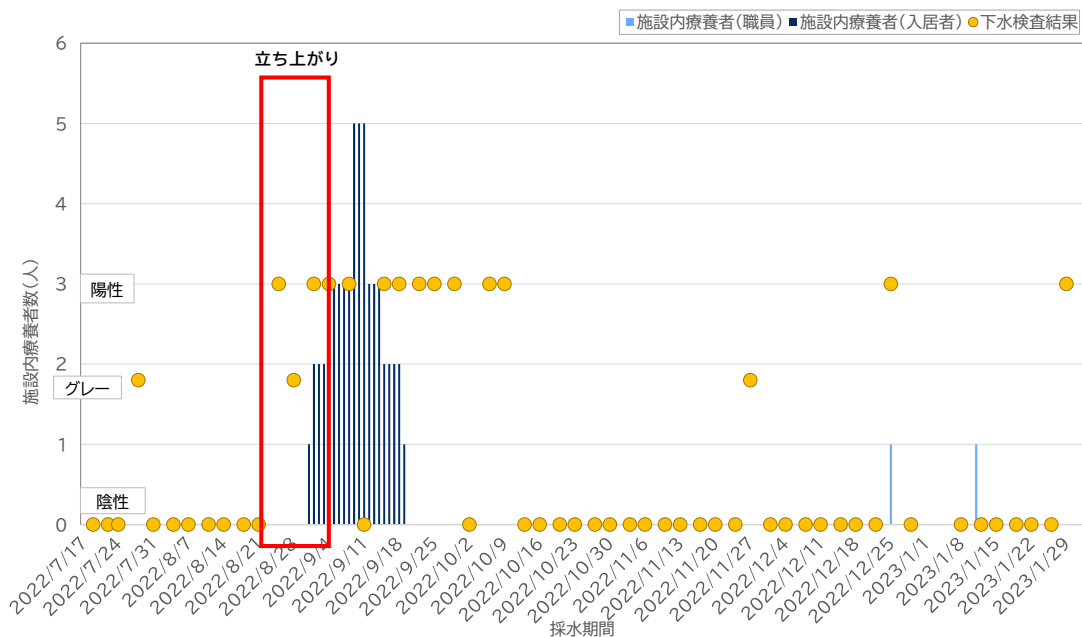


図 3-1 感染拡大初期段階の分析対象イメージ

a. 全施設を対象とした場合

感染拡大初期段階における、下水検査の有用性を検討するために、入居者感染者の初発例に対し、前後7日間の結果のみを集計対象として感度・特異度を算出した。感染者が1人のみで感染が収束した事例については集計対象外とした。

この場合、感度87.2%、特異度68.9%となった。全期間を対象とした集計と比較して、感度が約5%上昇した。このことから、まだ感染者が少ない段階で早期に感染者発生を捕捉し、感染拡大防止策につ

なげられる可能性がある。

表 3-4 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度(グレー判定を陰性とした場合)

下水コロナ \ ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性	34 回:A	14 回:B
陰性	5 回:C	31 回:D
(合計)	39 回	45 回

$$\text{感度(Sensitivity)}=A/(A+C) = 0.872$$

$$\text{特異度(Specificity)}=D/(B+D) = 0.689$$

なお、グレー判定を陽性とみなした場合には表 3-5 のようになった。

表 3-5 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度(グレー判定を陽性とした場合)

下水コロナ \ ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性	35 回:A	16 回:B
陰性	4 回:C	29 回:D
(合計)	39 回	45 回

$$\text{感度(Sensitivity)}=A/(A+C) = 0.900$$

$$\text{特異度(Specificity)}=D/(B+D) = 0.644$$

b. 居住型の高齢者施設の場合

感染者の早期検知・早期対策が特に重要と考えられる居住型の高齢者施設に着目し、感染拡大初期段階における下水検査の感度・特異度を算出した(表 3-6)。対象施設は、特別養護老人ホーム・介護老人保健施設・有料老人ホームにあたる 12 施設とした。

表 3-6 感染拡大初期における下水検査の感度・特異度
(居住型の高齢者施設に限定、グレー判定を陽性とした場合)

下水コロナ \ ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性	32 回:A	14 回:B
陰性	3 回:C	27 回:D
(合計)	35 回	41 回

$$\text{感度(Sensitivity)}=A/(A+C) = 0.914$$

$$\text{特異度(Specificity)}=D/(B+D) = 0.659$$

感度 91.4%となり高い値となったが、一方で特異度は 65.9%と大幅に低下した。

特異度が大幅に低下した要因を考察すべく、各事例の内訳をみると、新規感染者・有症状者がいないにも関わらず下水陽性となった 16 事例のうち 9 事例が、下水検査後 3 日以内に新規感染者が見つかった事例であった(表 3-7)。

感度が高くなった背景としては、施設内における感染者数が少ない段階でも下水で検知できている例が多かったためと考えられる。また、「下水陰性/ヒト感染者あり」の判定の場合に感度が下がるが、ヒト感染者発見と同時または数日後に下水陽性が出るケース(「下水陽性/ヒト感染者あり」となるケース)が多かった。

以上のことから、居住型の高齢者施設における感染拡大初期において、陽性確認前の新規感染者を含め、感染者を早期検知するうえで下水検査が有用である可能性が高い。

表 3-7 居住型の高齢者施設における感染拡大初期の下水検査とヒト検査の結果

下水コロナ		ヒト	新規感染者 ・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし	
				下水検査直後に 陽性確認あり	陽性確認なし
陽性			32 回	9 回	5 回
陰性	グレー		1 回	0 回	2 回
	陰性		2 回	2 回	23 回
(合計)			35 回	11 回	30 回

3) 回復者の影響を排除した場合の感度・特異度

本実証では、施設内で療養中の新規感染者が療養期間を過ぎ回復した後も、数週間継続して下水陽性となる事象が確認された(図 3-2)。回復者がウイルス RNA を長期間排出し続けるという報告もあることから⁷、下水検査が、回復者由来のウイルス RNA 排出の影響を受けてしまう可能性が高いと考えられる。

⁷ Puhach et al., SARS-CoV-2 viral load and shedding kinetics, *Nature Reviews Microbiology*, 21:147-161 (2023)

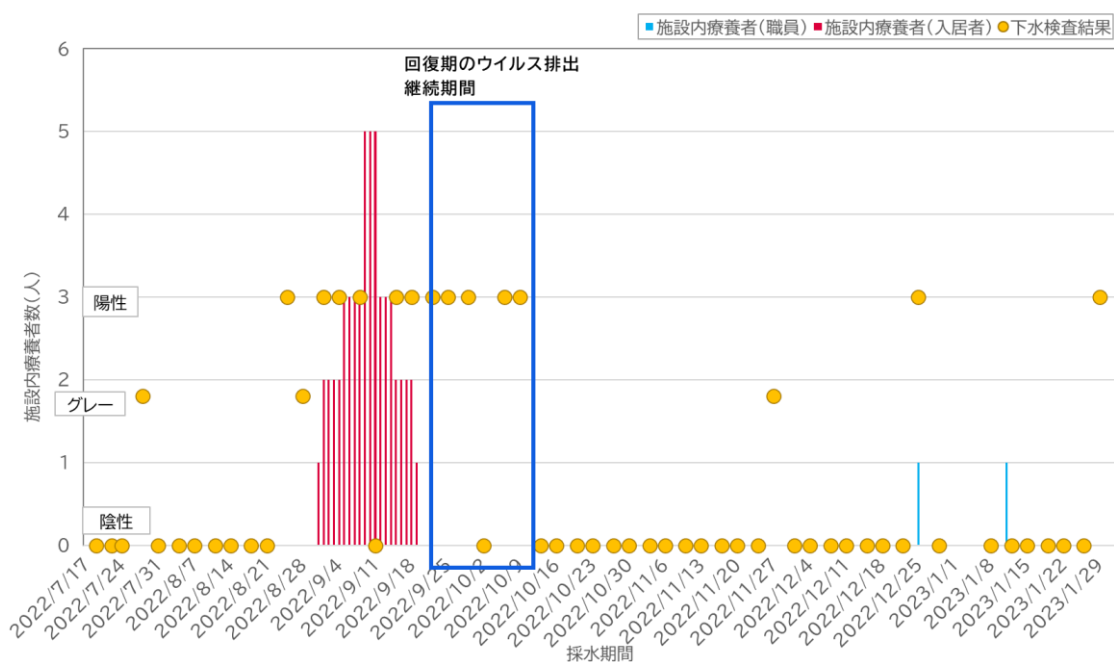


図 3-2 回復者からのウイルス排出継続期間

そこで、回復者の影響を除外したうえで下水検査の感度・特異度を算出した。施設内(利用者・職員)の感染が収束し、最後に感染した人が職場復帰もしくは隔離解除された日を起点とし、「感染者はいないが回復者が下水中にウイルスを排出していると考えられる」30日間の採水結果を除いて、集計を行った。

この場合、感度 75.7%、特異度 94.2%となった。回復者がいる場合、「新規感染者・有症状者なしにも関わらず下水陽性」という事例数が増加するが、この影響を排除したことにより、施設内の感染状況と下水検査結果の不一致例が減少し、特異度が高まった。

この結果から、施設内に回復者がおり下水検査で陽性が継続する場合、一定期間下水検査を中止し、陰性に転じてから再開する、という方針で運用すれば、特異度の高い検査として活用できると考えられる。

表 3-8 回復者の影響を排除した場合の感度・特異度

下水コロナ	ヒト	新規感染者・有症状者あり	新規感染者・有症状者なし
陽性		53 回:A	32 回:B
陰性		17 回:C	519 回:D
(合計)		70 回	551 回

$$\text{感度 (Sensitivity)} = A / (A + C) = 0.757$$

$$\text{特異度 (Specificity)} = D / (B + D) = 0.942$$

<まとめ>

- 下水検査結果と施設内の感染者情報を統合させ検証したところ、感染者を高い確率で検知で

きた(感度 75.7~91.4%、特異度 65.9~94.2%)(図 3-3)。

- 下水検査は、感度、特異度ともにかかなり高いが、データ上の制約や分析手法に起因するバイアスも留意する必要がある。
- 有症状者だけでなく無症状感染者も検知できた。
- 感染拡大の初期段階において、初期検知による感染対策への貢献を目的として下水検査を活用する場合には、感度は良いものの、偽陽性⁸が多くなることに留意する必要がある。
- 居住型老人保健施設に限定して、感染拡大初期(居住者の 1 例目を起点とした前後 1 週間)における下水検査の有用性を検討したところ、感度が高かった。施設内における感染者数が少ない段階でも下水で検知できている例が多かったため感染拡大初期の感度が高くなったと考えられた。ただし、一方で特異度が大幅に低下した。
- 「下水陰性/ヒト感染者あり」の判定の場合に感度が下がるが、ヒト感染者発見と同時または数日後に下水陽性が出るケース(「下水陽性/ヒト感染者あり」となるケース)が多かった。
- 感染者が少ない段階での初期検知に有効で、感染対策に活用できる可能性がある。
- 回復者に起因したウイルス排出の影響が無い状況下においては、特異度が高く、高い確度で施設内に感染者がいなかったことを確認できる。このことから、施設内の状況モニタリング(※)を目的とした下水検査の活用可能性もある。

(※)モニタリング:本実証の「モニタリング」は、人の検査を行い新規感染者を特定するのではなく、施設の全体もしくは一部における新規感染者・回復者の有無のみ(特定は行わない)を把握すること指すこととする。

⁸ 偽陽性:実際には陰性だが、検査結果が陽性になってしまうケース

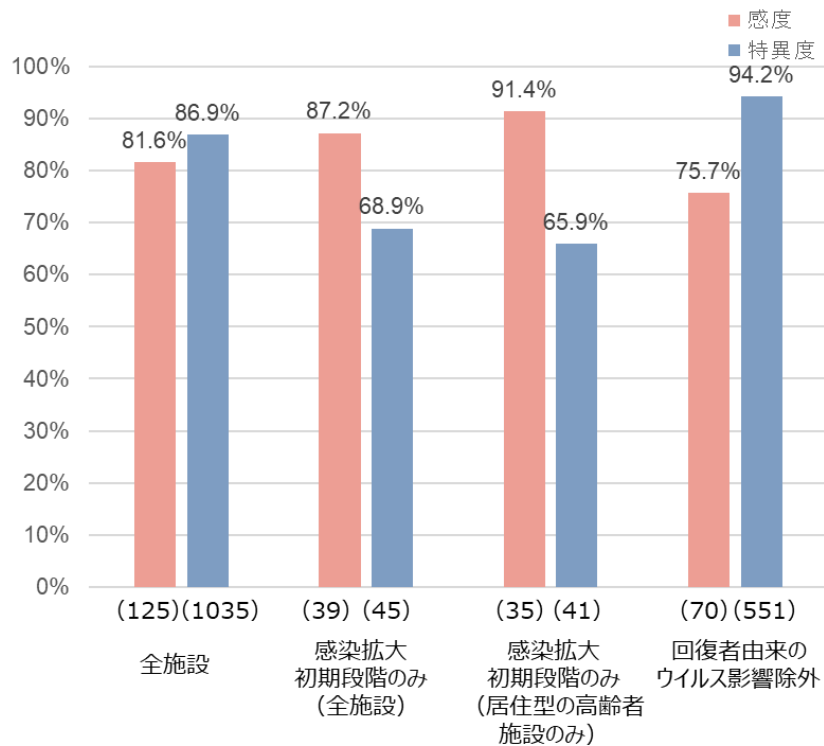


図 3-3 感度・特異度のまとめ⁹

4) 施設内における新規感染者・有症状者の状況と下水検査の不一致の要因

施設における新規感染者・有症状者の状況と下水検査は一致しない場合がある。下水検査の技術的な要因によるものも考えられるが、仮に技術的な要因でない場合に、各施設における下水検査の結果と施設内感染状況について、各施設の利用者や管理方針、施設構造等の背景情報から考えられる結果の解釈を表 3-9 にまとめた。

⁹ ()内は n 数

表 3-9 施設内の新規感染者・有症状者の状況と下水コロナ検出の対照表(全施設のまとめ)

下水コロナ		ヒト	新規感染者・有症状あり	新規感染者・有症状者なし	
				下水検査直後に陽性確認あり	陽性確認なし
陽性			—	<ul style="list-style-type: none"> ● 発症前の利用者/職員によるウイルス排出を早期検知した可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● 無症状感染者を検知している可能性 ● 回復者の残存ウイルス排出の可能性 ● 外部訪問者等による一時的なウイルス持ち込みの可能性 ● 風呂水の影響によるウイルスの流出による結果のばらつき ● 積雪の影響による採水不良
陰性	グレー	<ul style="list-style-type: none"> ● おむつ・ポータブルトイレ管理等による下水中へのウイルス排出量減少 	<ul style="list-style-type: none"> ● 早期検知の可能性 ● 非特異的な増幅の可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● 非特異的な増幅の可能性 ● 回復者の残存ウイルス排出の可能性 	
	陰性	<ul style="list-style-type: none"> ● 採水過程に問題があった可能性 ● 採水時間中にトイレ・手洗い等の利用をしていなかった可能性 	<ul style="list-style-type: none"> ● 下水検査時点ではまだウイルスを排出していなかった可能性 ● 採水当日に排泄していなかった可能性 	—	

3.2 把握対象

ヒト検査の多くは、既に症状がある人を対象に検査が行われる¹⁰が、下水検査の場合、症状の有無に関わらずウイルスを排出している感染者を捕捉できる可能性がある。一方で、施設における感染者以外から排出されるウイルスを捕捉している可能性がある。

実証結果より上記の観点について検証を行った。

(1) 無症状感染者の検知

本実証における施設 F の例では、家族が陽性であり、濃厚接触者である対象者は無症状であったが、下水検査で陽性が出たため職員全員を対象とした抗原定性検査を実施したところ、陽性が判明した。なお、当該職員は採水当日も抗原定性検査を実施していたが、陰性であった。下水陽性を受けて翌日に再検査を行ったところ、陽性となり、発症も見られた。このことから、無症状者の検知事例と考えられる。

上記の例は、感度、特異度の分析では、「新規感染者・有症状者なし」とされるが、他にも「新規感染者・有症状なし」の場合に無症状感染者が存在する可能性がある。ただし、その数は不明であるため、感度、特異度に与える影響については不明である。

¹⁰ 新型コロナについては、無症状でも感染力が高い場合があるため、濃厚接触者に対してヒト検査を積極的に実施していたが、全数把握見直し後、無症状者に対するヒト検査は減少しているとみられる。

(2) 施設外感染者や施設内の回復者の検知

また、下水検査で陽性検知時に、当該施設において、感染者がいないと判断できるケースにおいて、感染後、隔離期間終了後に出勤してきた職員が原因である可能性(複数事例)や当該施設で朝実施されるイベント(体操教室等)への参加者が原因である可能性が示唆される事例(施設 R)が存在した。従って、必ずしも下水陽性=感染者が施設に存在ということではないと考えられる。

下水検査では、採水対象期間に施設で排出されたウイルスが検出されるため、その結果を正確に解釈するためには、感染者の行動に限らず、体調不良者や家族に感染者がいたかどうか、施設外部からの来訪者がいたかどうか、等の情報を記録しておくことが望ましい。

<まとめ>

- 下水検査により、有症状感染者だけでなく、無症状感染者を検知できると考えられる
- 下水検査では、施設外の感染者や施設内外の回復者(回復後もウイルスを排出している人)も検知している可能性がある

3.3 ウイルス検出への影響要因(生活排水への流入 等)

下水調査によってウイルスを安定的に信頼度高く検出するためには、ウイルス検出に影響を及ぼす要因を明らかにし、それらの影響をできるだけ受けけない方法を検討する必要がある。ウイルス検出に影響を及ぼす要因として、トラップ(パッシブ)サンプリングの場合、排水を回収するために用いるサンプラーの素材の違いが挙げられる。「トラップ(パッシブ)サンプリングは、調査ごとに排水の流量が変化するためウイルス吸着/付着の変動が大きく、時系列の調査結果の比較には向かない¹¹⁾」こと、また、採水業者が異なる等の理由で異なるサンプラーを用いた場合の相互比較が困難であることにも留意が必要である。

ウイルス吸着/付着の変動の要因として、採水工程に係る事項としては①生活排水等による流量の増加、②採水タイミング、検査工程に係る事項としては③夾雑物質等による PCR 反応の阻害、が考えられ、本実証では、生活排水の流入等の時間帯、採水タイミング・採水地点の特性等を考慮し、ウイルス検出状況との関係を見ることで、これらの影響要因をできるだけ排除する方法を検討した。

下記に、影響要因の検討を行った際の結果の事例を記載した。

a. 事例① 施設 U

施設 U では、最終合流地点の地点⑦と、地点⑦の上流に位置し、風呂水の影響を受けづらいと考えられる地点④での採水を実施した。地点④の下流には、風呂水が流入する地点が含まれているため、地点⑦と比較して地点④は新型コロナウイルスをサンプラーに回収されやすいと推察される。なお、両地点の間にトイレ排水を含む流入経路は含まれていない。また、地点④の回収は地点⑦の 30 分前に実施しているため、両者の結果が異なる可能性もある。

当該施設で 1 月 10 日(火)設置、11 日(水)回収(24 時間留置)で採取された地点④の検体では、新

¹¹⁾令和 3 年度厚生労働科学研究費「新型コロナウイルス感染症サーベイランス体制の抜本的拡充に向けた人材育成と感染症疫学的手法の開発研究」班分担研究「環境水を用いた新型コロナウイルス監視体制の構築に関する研究(分担研究者 吉田弘)「施設排水調査ガイドンス」

型コロナウイルスが検出されたのに対し、同日に地点⑦で採取された検体では、新型コロナウイルスが検出されなかった。また、1月26日(木)設置、27日(金)回収(24時間留置)においても同様の結果が見られた。以上の事例から、風呂水等の生活排水の影響を受けやすい採水地点で採取した検体は、新型コロナウイルスを含む下水が流入した場合でも、保持していた新型コロナウイルスが洗い流されてしまう可能性がある。また、地点④と地点⑦は、採水時間のずれがあるため、結果に影響した可能性も否定できない。以上より、下水検査を実施する採水地点の選択の際には、新型コロナウイルスが含まれると考えられるトイレやうがい液等の排水以外の生活排水(風呂水等)の影響を受けづらい地点を選択することが望ましい。

表 3-10 施設 U 採水実施概要

採水概要	施設種別	有料老人ホーム	
	施設規模	職員 36 名、利用者 54 名	
施設概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B
		実施時期	2022 年 8 月 30 日～2022 年 12 月 29 日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週 1 回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B(最終合流地点) 施設担当者(追加地点(生活排水の影響を排除))
		実施時期	2023 年 1 月 4 日～2023 年 3 月 1 日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週 4 回

b. 事例②施設 I グラブサンプリングの実施時間

施設 I では、汚水槽を持たない施設でのグラブサンプリングの有効性を検証するため、同一採水地点で 1 時間間隔で日中複数回グラブサンプリングによる採水を実施した。施設への事前ヒアリングの際には、職員は 11 時頃と昼食ケア後の 14 時～15 時頃に比較的業務状況が落ち着く時間があるため、職員がトイレを利用する可能性が高いのではないかとのコメントを受けた。

1 月に実施した検証では 8 時から 15 時まで 1 時間間隔で 2 地点(地点 1C,地点 2B)と最終合流地点 3B でのグラブサンプリングを実施した。1 月 5 日(木)と 1 月 6 日(金)に実施した採水では、地点 2B にて午前 11 時の検体のみから、新型コロナウイルスが検出(グレー判定)された。また、地点 3B では 1 月 6 日午前 10 時の検体のみから新型コロナウイルスが検出された。1 月 5 日(木)と 1 月 6 日(金)は、1 月 7 日(土)に陽性が判明した職員が施設に勤務しており、事前ヒアリングで得ていた 11 時頃の休憩時間と合致することから、職員の生活リズムと合致するタイミングでの採水により新型コロナウイルスを検出できた可能性がある。

表 3-11 施設 I 採水実施概要

施設概要	施設概要	施設種別	特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)
		施設規模	施設職員:69名(うち常勤41名) 施設利用者:100名
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B
		実施時期	2022年8月30日~2022年12月29日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 B 検査機関 A 検査機関 D
		採水担当	検査機関 B(集合地点でのトラップ(パッシブ)サンプリング) 採水機関 A (ゾーニング ¹² 地点でのトラップ(パッシブ)サンプリング) 検査機関 A(グラブサンプリング:1月実施分) 検査機関 D(グラブサンプリング:2月実施分)
		実施時期	2023年1月4日~2023年3月1日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週4回 グラブサンプリング:週35~40回(1日7~8回、週5日) ¹³

c. トラップ(パッシブ)サンプリングの留置時間別結果の不一致

本実証では、3施設において複数の留置時間を設定し検討を行った。その中で、全49回の採水のうち、留置時間により判定が異なっていたのは13回あった(表3-12)。施設や時間帯に着目しても、不一致となるケースの傾向は見られなかった。

本実証結果より、一概に「長時間留置すれば、より捕捉できる可能性が高まる」とは言えないことがわかった。採水地点に応じて、ウイルス排出が多いと考えられるタイミングをカバーできていれば、留置時間が短時間の場合でも検知できる可能性がある。また、長時間留置の場合、流量・流速によってはウイルスが洗い流されてしまう可能性もある。

事前のヒアリングにおいて、施設側の協力を得て、日常生活サイクル等をよく理解する等、感染状況を把握したい対象者の行動パターンをよく理解したうえで、採水地点の特性も踏まえて、条件設定することで検知への影響要因を少なくすることが可能となる。

¹² 本実証における「ゾーニング」は、院内感染対策で用いる用語とは異なる。感染状況を把握したい対象集団・エリアを絞り込み、職員・利用者別のトイレ等、それぞれの排水を検査するために適した採水地点(汚水枡あるいはマンホール)を区別・選定することを言う(p.5 参照)。

¹³ 別途グラブサンプリング結果の参照用として後半フェーズの2月より週5日のトラップ(パッシブ)サンプリングを実施

表 3-12 留置時間によって判定が異なるケース

施設名	検査機関	採水	①	②	③
		実施週	3/4時間	6/8時間	24時間
施設F	検査機関B	12/13	-	+	-
施設F		1/4	-	+	-
施設F		1/9	-	+	+
施設F		1/11	+	-	-
施設F		1/12	-	+	+
施設F		1/30	+	+	-
施設P		10/5	+	-	+
施設P		1/11	+	-	+
施設P		1/18	+	-	+
施設P		1/25	-	+	+
施設S		検査機関D	10/24	-	-
施設S	12/5		-	+	-

<結果のまとめ>

- 職員、利用者に回復者が存在する場合や、施設外からの一時的な訪問者が感染していた場合は下水検査でのウイルス検出に影響を及ぼす可能性がある。
- トラップ(パッシブ)サンプリングの場合、排水を吸着/付着回収するために用いるサンプラーの素材の違いによりウイルスの吸着/付着の度合いが異なる。
- トイレからの糞便を含んだ排水や上気道由来の排水以外の排水の流量の変動や採水量の影響を受ける。
- サンプラーの留置時間を変えることにより、人から排出された新型コロナウイルスが含まれると考えられるトイレやうがい液等の排水以外の生活排水(風呂水等)の影響を低減することができる。

<結果を受けた考察>

- 下水からの新型コロナウイルスの検出にあたっては、トイレ排水やうがい液に含まれるウイルスを捕捉できる時間帯を狙い採水を行う必要があり、一律に時間帯を決定することが困難である。
- 採水の時間帯の設定にあたっては、事前調査により施設の生活サイクルを把握しておくことが必須である。
- 界面活性剤等存在下ではウイルスは不活化され¹⁴、感染力を失ったウイルス由来のウイルスRNAが検出される¹⁵が、生活排水に含まれる界面活性剤や油等がウイルス検出反応を阻害す

¹⁴製品評価技術基盤機構 新型コロナウイルスに対する代替消毒方法の有効性評価に関する検討委員会「新型コロナウイルスに対する代替消毒方法の有効性評価」(最終報告)(令和2年6月)

¹⁵M. Kumar *et al.*, "Potential discharge, attenuation and exposure risk of SARS-COV-2 in natural water bodies receiving treated wastewater" *npj Clean Water* (2021)4:8

る可能性がある。

3.4 ウイルスの検出限界(検出下限値の取扱い)

(1) 下水検査結果が検出下限値未満の場合の解釈

各検査プロトコルにより検出下限値の設定・考え方は異なるため、一定の基準を定めることはできないが、施設において感染者がいる場合に、検出下限値未満で下水から検知された事例もあることから、検出下限値未満の場合の結果解釈について検討を行った。

表 3-13 下水陽性/陰性の定義(再掲)

検査事業者	陽性	グレー	陰性
検査機関 A	3 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限以上検出した場合は陽性 (検出下限値=25 Copies/L)	検出下限値以上の増幅は無いが、1 ウェル以上、検出下限値未満の増幅があったもの	1 ウェルも増幅が見られなかったもの
検査機関 B	Positive =検出(Ct 値が得られている)	—	Negative=検出せず
検査機関 D	2 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限値以上の場合は陽性 (検出下限値= 83 Copies/L)	検出下限値以上の増幅は無いが、1 ウェル以上、検出下限値未満の増幅があったもの	1 ウェルも増幅が見られなかったもの
検査機関 E	6 ウェル測定し、1 ウェルでも検出下限値以上の場合は陽性 (検出下限値 =200~400 Copies/L)	—	検出下限値未満のウェルのみ
	(参考)速報段階では、6 ウェル測定し、検出下限値以上が 1 ウェルあれば「疑わしき」として仮報告。 再分析でも同様に検出された場合「陽性」、検出されなかった場合「陰性」として報告。		

注)検査事業者ごとに異なる検体処理工程・検出プロトコルを用いているため、本実証では事業者間での数値の比較はしないこととする。
また、「検査機関 C」は検査を「検査機関 D」に外注しているため、検査機関 D の定義を本表に記載した。

本実証において、トラップ(パッシブ)サンプリングによる下水検査結果がグレーと判定されたケース¹⁶が全 29 回あった。各ケースについて、施設内の感染状況を考慮しながら結果の背景要因について考察を行ったところ、下水検査がグレー判定で、採水タイミングで施設内に感染者・有症状者がいたと確定できたのは 2 回のみであった。

¹⁶ 検査機関 E の場合は、速報段階での「疑わしき」を含む。

表 3-14 下水調査結果がグレーだった時の施設の状況

施設:検査事業者	採水日	状況
施設 K: 検査機関 D	9月12日	下水 9月5日×→9月12日▲→9月19日× 8月31日に抗原定性で陽性となった職員が9月10日に復帰
	12月19日	下水 12月10日×→12月19日▲→12月26日● 12月18日に発症の職員1名、利用者3名あり、その後クラスター化(図3-4参照)
施設 O: 検査機関 D	1月11日	下水 1月10日×→1月11日▲→1月14日× 1月13日に陽性となる園児が1名いるが、採水日には登園していない
	1月21日	下水 1月18日×→1月21日▲→1月24日× 施設内に感染者・有症状者なし
施設 B: 検査機関 D	1月11日	下水 1月10日×→1月11日▲→1月12日× 12月30日に PCR 陽性となった厨房職員が1月6日に復帰
施設 S: 検査機関 D	12月15日	下水 12月12日×→12月15日▲→12月19日● 12月16日 PCR 陽性の入居者1名 12月17日発症の職員1名が12月15日に出勤
	1月9日	下水 1月4日×→1月9日▲(8時間留置)→1月16日● 施設内に感染者・有症状者なし
	1月16日	下水 1月12日●→1月16日▲→1月17日× 施設内に感染者・有症状者なし
	1月24日	下水 1月23日×→1月24日▲→1月25日× 施設内に感染者・有症状者なし
施設 C: 検査機関 D	11月14日	下水 11月7日×→11月14日▲→11月21日● 11月25日に検体採取し PCR 陽性となった職員あり(▲判定の9日前)
施設 E: 検査機関 D	9月5日	下水 8月29日×→9月5日▲→9月12日× 8月27日に抗原陽性となった職員1名、8月28日に抗原陽性となった職員3名が採水当日に復帰
施設 A: 検査機関 D	1月16日	下水 1月11日●→1月16日▲→1月18日▲→1月23日×
	1月18日	1月14日まで療養中の陽性者(入居者)1名あり 1月21日に抗原陽性となる職員1名が、1月18日に出勤あり
施設 L: 検査機関 E	7月24日	下水 7月20日×→7月24日▲→7月27日× 施設内に感染者・有症状者なし 8月1日に陽性となる職員1名
	8月24日	下水 8月21日●→8月24日▲→8月28日● 8月22日に職員1名が陽性となり、8月23日より休み 8月28日に入居者1名が陽性
	11月23日	下水 11月20日×→11月23日▲→11月27日× 11月25日検体採取し11月26日 PCR 陽性となった職員(11月18日、21日、23日、24日に勤務)あり
施設 N: 検査機関 E	10月26日	下水 10月23日×→10月26日▲→10月30日▲→11月2日×
	10月30日	8月17日以降、1月3日まで職員の感染者、体調不良者は確認されていない 10月31日に職員・利用者全員に PCR 検査を実施し、全員陰性
施設 M: 検査機関 E	2月15日	下水 2月8日×→2月12日●→2月15日▲→2月19日× 職員の感染者なし 1月31日にコロナから回復(退院)し、2月15日に PCR 再陽性となった入居者1名が、2月11日~2月15日に施設滞在
	7月18日	下水 7月18日▲→7月24日× 7月20日、21日、22日に陽性となる職員各1名が採水日に出勤
	7月27日	下水 7月24日×→7月27日▲→7月31日× 施設内に感染者・有症状者なし 7月27日に職員・利用者全員に PCR 検査を実施し、全員陰性
施設 M: 検査機関 E	9月28日	下水 9月25日●→9月28日▲→10月2日× 施設内に感染者・有症状者なし 回復者多数(9月13日に7名、9月14日~16日に4名、9月17日に9名)

10月30日	10月23日～11月18日まで施設内に感染者・有症状者なし 10月26日には途中合流地点のうち1か所で下水陽性
12月11日 12月14日	下水12月7日●→12月11日▲→12月14日▲→12月18日× 12月7日施設内感染者3名 12月9日に隔離解除となった利用者3名、それ以降施設内に感染者・有症状者なし
2月8日 2月12日	下水2月5日●→2月8日▲→2月12日▲→2月15日× 施設内に感染者・有症状者なし 回復者多数(1月18日～24日で20名の入居者が回復)
2月12日 2月15日	下水2月8日×→2月12日▲→2月15日▲→2月19日● 施設内に感染者・有症状者なし 回復者多数(1月18日～24日で20名の入居者が回復) 2月6日に検体採取しPCR陽性となった職員が2月13日に復帰
2月22日 2月26日	下水2月19日●→2月22日▲→2月26日▲ 施設内に感染者・有症状者なし(2月27日に職員・入居者の全数PCR検査にて陰性を確認) 2月6日に検体採取しPCR陽性となった職員が2月13日に復帰

注)●:下水コロナ陽性、▲:下水コロナグレー、×:下水コロナ陰性とする

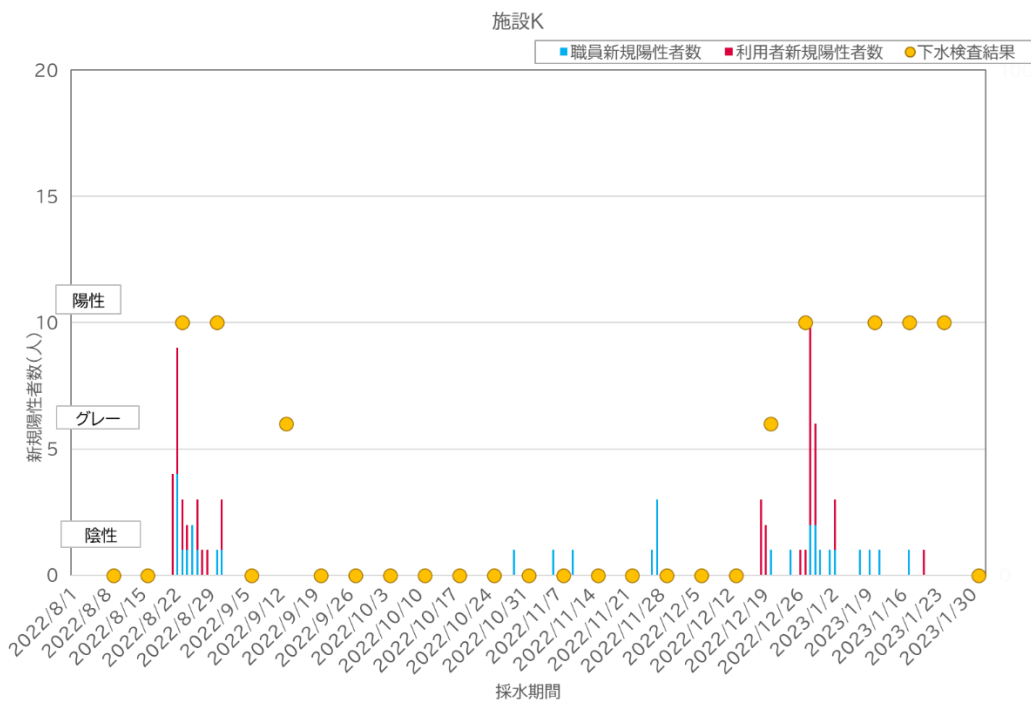


図 3-4 施設 K の下水検査結果と新規感染者数

施設 K の 12 月 19 日の例は、クラスターの早期検知とも考えられるが、本実証で確認できたのは施設 K の事例を含めて 2 事例のみであった。

全体で 1,035 回の陰性のうち、施設内感染者・有症状ありだったのは 136 回(13.1%)であるが、29 回のグレーのうちの 2 回(6.9%)について、定量的に評価するには、検体数が不足している。

グレーという情報を提供している事業者へのヒアリング結果からは、検出下限値未満は「陰性」である

が、「施設 K」のような事例もあり、特に陰性からグレーになった際には、施設内の状況確認も含め、施設とのコミュニケーションの必要性及びその後の対応にどう活かされるかが今後の課題であるとの認識が示された。

<まとめ>

- 下水検査でグレー判定となった場合には、大部分は施設内に感染者・有症状者がいない状態で確認された。
- ただし、感染拡大初期に「グレー判定」で陽性者が確認された事例があるため、早期検知を目的とする場合は、施設は特に留意して利用者・職員等の健康観察情報を確認するとともに、健康観察情報に基づきヒト検査を実施することが望ましい。
- グレーという情報を伝えるかどうかも含め、検査事業者が時系列な推移や施設とのコミュニケーションを通じて、施設状況等周辺情報を考慮した
- うえて、早期検知できている可能性も含めて結果を解釈し、その後の対応に活用していくことが求められる。

(2) 混合検体¹⁷の検査による検出可否

混合検体の活用は費用低減に資する一方で、希釈により検出下限値を下回り、陽性が含まれる検体が陰性と判断される可能性がある。ここでは、混合検体の検査に与える検体数、検体が捕捉している対象者数の影響を分析した。

混合前の検体に陽性検体が含まれていた全 132 回の検査のうち、混合前後の検査結果が一致していた回数は 107 回(81.1%)、一致していなかった回数は 25 回(18.9%)であった。

混合した検体数や当該検体がカバーしている職員・利用者の人数による傾向は特に見られず、混合前後で結果に違いが生じたケースのほとんどは、個別検体のウイルス濃度が低く、混合による希釈により検出下限値を下回る検体であった。このことから、結果の不一致は妥当であった。

上記の特徴と、混合検体の費用削減効果との兼ね合いにより、混合検体の検査の活用を検討する必要がある。混合検体は、1 検体あたりのウイルス濃度が低い場合には希釈による結果不一致が生じるが、ウイルス濃度が高い場合には、費用削減の面での有用性が考えられる。既に把握している感染者がおり、下水検査も陽性になることが明らかな施設においては、継続的に陽性が出てしまうが、施設内の感染が収束に向かう段階で、同一施設内の複数採水地点の検体を混合検体として検査することにより、施設内の大まかな収束傾向の把握への活用も可能であると考えられる。

<まとめ>

- 対象人数(これらの検体でカバーしている施設の人数合計)によって、混合前後の検体における結果の一致率が変わるわけではない。
- 混合する検体数の多寡ではなく、混合前検体のウイルス濃度が高い場合は混合後も検出可能

¹⁷ 陽性の有無を判定するため、複数の地点で採水した試料を混合した検体

であるし、濃度が低い場合は混合前後の不一致が生じ得る。

表 3-15 混合検体¹⁸の検査結果

個別施設の 各採水地点	コンポ ジット	比較	全体		内訳 (当該検体がカバーしている職員・利用者の全数)					
			回数	割合	施設 F/G/H/T 4検体 (670名)	施設 L/M/N 7検体 (441名)	施設 L/M/N 5検体 (441名)	施設 C/E/K 6検体 (490名)	施設B/S 4検体 (392名)	施設Q/R 2検体 (約60名)
					回数	回数	回数	回数	回数	回数
最低1検 体は 陽性	陽性	一致	107	81.1%	32	13	32	10	18	2
	陰性	不一致	25	18.9%	3	3	9	4	5	1
			132	100%	35	16	41	14	23	3

なお、混合前の検体が全て陰性であった 46 回については、混合前後の結果が全て陰性となり一致した。

¹⁸ 施設 F/G/H/T(4 検体)=(施設 F(職員 90 名、利用者 106 名(定員、ショートステイ 6 名を含む)))+(施設 G(職員 94 名、利用者 120 名(定員、ショートステイ 20 名を含む)))+(施設 H(職員 76 名、利用者 80 名(ショートステイ 20 名を含む)))+(施設 T(職員 44 名、利用者 60 名(定員、ショートステイ 6 名を含む))
 施設 L/M/N(5 検体/7 検体)=(施設 L(職員 55 名、利用者 103 名(通所 53 名含む)))+(施設 M(職員 77 名、利用者 140 名(通所 60 名を含む)))+(施設 N(職員 27 名、利用者 39 名(通所 10 名を含む))
 施設 C/E/K(6 検体)=(施設 E(職員 44 名+利用者 54 名)+(施設 K(職員 116 名、利用者 110 名)))+(施設 C(職員 66 名、利用者 100 名)、11 月 28 日より、施設 K+施設 C の 2 施設、4 検体混合に変更
 施設 B/S(4 検体)=(施設 B(職員 58 名、利用者 64 名))+(施設 S(職員 66 名、利用者 74 名))、12 月 26 日より 2 地点を追加し、6 検体混合に変更
 施設 Q/R(2 検体)=(施設 Q(職員 18 名))+施設 R(職員 8 名、利用者 30~45 名/日))

4. 信頼性のある下水検査の実施可能性

4.1 施設種別

下水サーベイランスをより効果的に活用するためには、下水サーベイランスに適した環境や周辺条件を明確化する必要がある。本項では、施設種別によって下水モニタリングを導入することの意義が異なるのではないかという仮説に基づき、施設種別ごとの下水モニタリングの活用目的を整理し、下水モニタリングの有用性を検討した。

本実証の協力施設は、以下の 6 種類に分けられる。各協力施設に対してヒアリングを実施し、下水サーベイランスを活用できると考える場面について施設種別ごとに整理した。

- 高齢者施設
 - ・ 特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)(10 施設)
 - ・ 介護老人保健施設(2 施設)
 - ・ 有料老人ホーム(1 施設)¹⁹
 - ・ リハビリテーション施設(1 施設)
 - ・ 訪問看護拠点(1 施設)
- 障がい者支援施設(3 施設)
- 医療施設(1 施設)
- 事業所(1 施設)
- 大学の学生寮(1 施設)
- 保育施設(1 施設)

(1) 高齢者施設、障がい者支援施設

特別養護老人ホームの場合、施設へのウイルスの持ち込みとして、最も高いと考えられているのは職員(厨房や清掃の委託事業者のうち、常駐している従業者を含む)であった。このため、職員由来の排水を検査して、早期検知したうえで、感染拡大防止に結び付けることが有用と考えられる。

特別養護老人ホームのうち、通所系のサービスが併設されている場合には、職員に加え、通所系サービスの利用者からウイルスが施設内に持ち込まれる可能性がある。このため、通所系サービス利用者への対応とともに、入居者が通所系サービスを利用するか、通所系サービスの職員の勤務エリア等を含めて、ウイルスの侵入経路を想定し、排水の検査や検査結果への対応を行うことが有用と考えられる。

介護老人保健施設では、特別養護老人ホームよりも入居者の出入りが多いと考えられるが、新規の入居者の感染状況の入り口管理をしっかり行うことができれば、特別養護老人ホームと同様の考え方ができると考えられる。

今回実証対象となった有料老人ホームは、通所系サービスが併設され、入居者の一部が通所系サービスを利用する状況であった。このため、職員による施設内へのウイルスの持ち込みへの対応とともに、

¹⁹ 本実証で対象とした有料老人ホームの利用者状況から、高齢者施設に含めた。

通所系サービス利用者によるウイルスの持ち込みを防ぐための対応を行っていた。想定されるウイルスの侵入経路を踏まえ、例えば、職員への対応として職員由来の排水を検査し、通所系サービス利用者については、利用の入り口管理を徹底することで、感染拡大予防に結び付けることが有用と考えられる。

一方、通所系サービス(リハビリテーションセンター)の場合には、職員と利用者からの持ち込みが考えられる。このうち、利用者は日々入れ替わるため、下水検査の結果を踏まえて迅速にヒト検査を実施し、感染している人を特定し、感染拡大予防の対策をとることが難しい面があると考えられる。

障がい者支援施設では、入居者の外部との交流の状況、あるいは、施設内での入居者や職員の交流の状況、ショートステイのような通所系サービスの有無により、ウイルスの持ち込み主体が異なる。このため、施設の職員や利用者の施設内部での動き方、外部との交流状況を踏まえて、例えば、職員への対応については職員由来の排水を検査し、その結果を踏まえて対策をとるといったことが有用な場合も考えられる。

<関連するヒアリング結果>
<ul style="list-style-type: none"> ● 職員による施設へのウイルスの持ち込みを、しっかりと把握し、対応していく。(施設 I;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)) ● 通いの方(デイ利用・ショートステイ利用)のモニタリングができると感染管理やヒト検査がしやすい。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)) ● デイサービス利用者の有無それぞれの日に採水することで、施設居住者の感染状況をモニタリングできる。(施設 L~M;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)・介護老人保健施設) ● 入居者のエリアと、デイサービスや短期入所サービスとは、利用者が交わらないように運用している。また、入居者は、コロナが始まって以降、外出は原則ない。ウイルスの持ち込みの可能性は、職員が高い。(施設 S;障がい者支援施設) ● 入居者の一部が、同一建物内のデイサービスの施設を利用している。このため、外部からのウイルスは、職員とデイサービス施設から入居者の2つの流れが考えられる。デイサービス施設では、利用者の迎え時に検温をして、体調不良者の利用をお断りするようにしている。(施設 U;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

(2) 医療施設(1施設)

医療施設では、感染者であっても、施設利用を受け入れざるを得ないことから、下水サーベイランス結果を用いて施設内での感染拡大を抑制する必要がある。

<関連するヒアリング結果>
<ul style="list-style-type: none"> ● コロナに感染している理由で、利用を断ることはできない。そのため、施設内での感染拡大が生じないようにすることが重要である。(施設 D;医療施設)

(3) 事業所(1施設)

事業所は、一部の外部来訪者を除き同一の利用者(職員)が繰り返し訪問(通勤)する施設であり、下水から陽性が検出した場合、ヒト検査を行うことで施設内感染者を検知し、特定することができる施設であると考えられる。

本実証では1,000名規模の大規模事業所(医療機関併設の研究棟)を対象に下水サーベイランス活用の可能性を検証したが、同施設にヒアリングを行ったところ、「下水から陽性が検知されたことを施設内に周知した場合、施設として何らかの対策を取ることが困難。その観点から、下水検査結果に基づくヒ

ト検査も難しい」との回答であった。

本実証における結果としては上記の通りであったが、ヒアリングにあたり、活用方法として「下水検査の結果を施設内で共有し、例えば病院との往来がある職員へのアラートとして活用する」「施設内の会議室等を利用する職員への中期換気に活用する」旨を提案した²⁰。事業所において下水検査に基づくヒト検査が困難である場合でも、事業所内でのアラート(例えば、マスク着用の推奨等)に下水サーベイランスを活用することが考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 下水から陽性が検知されたことを施設内に周知した場合、施設として対策を取ることが困難であるため、下水検査の結果を活用することも困難である。(施設 J;事業所)

(4) 訪問看護拠点(1 施設)

訪問看護拠点は職員のみが利用する施設で、下水の陰性は安心材料になるとの意見があった。

<関連するヒアリング結果>

- 訪問看護ステーションは職員のみが利用する施設であるため、下水陽性に関連してヒト検査を実施することで、職員のスクリーニング検査への活用ができれば有効と感じる。(施設 Q;訪問看護拠点)

(5) 大学の学生寮(1 施設)

規模が大きく全員に目を配ることが困難な施設として、学生寮が挙げられる。規模が大きく、また利用者の生活パターンがそれぞれに異なり全員に目を配ることが困難な施設、さらに、重症化する割合が低い年代が利用している施設である場合は、利用者の年齢層が入居者 1 人 1 人の状況把握は困難であったり、不要であったりする。このような場合、下水サーベイランスにより、施設内での感染者発生の有無を把握したり、初期の感染拡大傾向を把握したりできるようにすることで、入居者全体への注意喚起(マスク着用の推奨等)や施設内でのイベントの中止判断等、対策レベルを引き上げることができるため、モニタリングとして有用であると考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 施設規模が大きいいため、個別の感染者発見よりも、感染拡大の兆候を把握し、注意喚起に活用するには有効。(施設 P;大学の学生寮)

(6) 保育施設(1 施設)

保育施設では、職員から園児への感染拡大を特に恐れる観点から、職員による持ち込みを防ぐニーズが高く、そのために下水サーベイランスの利活用へのニーズがある。

また、保育施設を利用する園児は自身の体調を正しく伝えることが難しく、施設職員が 1 人 1 人の体調を把握することが困難である。このような場合でも、下水サーベイランスにより感染の有無の把握がで

²⁰ 事業所に対してこのような提案を行ったが、下水から陽性が検知されたことを施設内に周知した場合、当該施設においては、施設として対策を取ることが困難であるため、下水調査の結果を活用することもまた困難であるという回答を得た。

きるため有用であると考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 職員が起点となって、園内で感染が拡大することが最も懸念される。このため、職員は日頃から注意した生活を送ることになるが、下水検査の結果を聞くことで安心できる面がある。(施設 O;保育施設)
- 自分の体調を正しく伝えられない園児の健康状態を、下水検査で把握して保護者に伝えられるという点では非常に利点があると感じる。注意喚起として活用できる。(施設 O;保育施設)

(7) 施設種別によらない下水サーベイランスの活用

いずれの施設種別においても、下水サーベイランスの結果から「施設内にウイルスが持ち込まれたのかどうか」を判断できるため、有用であるとの意見が多く得られた。

<関連するヒアリング結果>

- 下水陽性時には、施設内に感染者がいるということがわかるため、結果を活用できる。職員の気の引き締めにもつながる。(施設 T;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- どうすれば病原体を持ち込まないようにできるか、という施策にシフトしている。掃除や手洗いエリアの検討等対策をしており、下水データはその結果であると捉えている。(施設 U;有料老人ホーム)

一部の施設からは、「陰性確認により安心感を得られる」という目的で下水サーベイランスの結果を解釈している、との意見もあった。しかしながら、下水検査が陰性であっても、感染者の排便状況や採水タイミング、排水量、採水量等、様々な要因により感染者が見逃されている可能性があるため、「陰性だから安全」と考えて各施設が感染対策を怠らないよう、留意する必要がある。一方で下水が陰性でも安心してはならないという認識を持っている施設もあることから、下水検査の結果の見方や、下水検査の結果感染者が存在する可能性がある場合、陰性時の考え方について、検査事業者と施設との事前・都度の適切なコミュニケーションにより、下水検査結果を施設での感染拡大防止対策につながると考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 下水検査で陰性であることは、施設に感染者がいないという安心感を得られる点が一番大きいし、有効だと感じる。地上のヒト検査と、下水検査の両方が問題ないと、職員も安心感を持っている。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- 下水検査の結果の受領は緊張感があるが、陰性であれば安心感がある。(施設 V;障がい者支援施設)
- 検査回数が多い場合、園内感染の状況を把握するための参考になり、安心にはつながる(ただし一つの参考というレベルだが)。(施設 O;保育施設)
- 職員の勤務形態は、1日4時間勤務や週3日勤務等多様である。その中でトイレを使い、糞便ともなると、下水でどこまでの人を捕捉できているのか、下水検査陰性であっても、安心できるのか悩ましい。(施設 B;障がい者支援施設)
- 下水で陽性が出ていれば感染者がいるというのは確認できているが、出ていないから感染者がいないとは言えないと感じている。小規模施設では、下水検査の結果を、陰性宣言に活用することは難しいと感じている。(施設 P;大学の学生寮)

下水検査により感染者の有無を把握するだけでなく、もし感染者がいる場合には「どの程度の規模で」「誰を対象に」対策を取るべきか判断したい、という施設側の意見が多く得られた。そのために、下水

検査後のヒト検査の対象範囲を特定するべく、効果的なゾーニング²¹に期待する声が多かった。

下水の検査結果から感染者を特定し対策を講じることへのニーズが高いことから、下水検査結果から感染者を含む集団をできるだけ絞り込むことが有用である。そのために、下水検査の事前計画段階において、施設の職員や利用者等の日常的な生活パターンの確認や行動エリアの確認を行い、排水の流路に紐づくゾーニングが可能なのか、職員や利用者の動線からゾーニングが有効であるのか、等を事前調査し、採水地点の検討が必要である。

<関連するヒアリング結果>

- 人の出入りの状況に応じて区分を作り、それぞれの状況が分かるような採水ができれば理想的ではないか。例えば、通所のリハビリテーションサービスを提供する部分であれば、職員、入居者、通いの利用者のそれぞれが使うところを分けて捉えると非常によい。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- ヒト検査を行う際、下水検査により対象を絞り込めるのであれば、全員ではなく絞り込んだヒトのみに実施すればよくなる。(施設 L~N;高齢者施設)
- ゾーニングを上手く活用できるとヒト検査の対象を絞り込めるので良い。(施設 F;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- ゾーニングにより下水検査をしたため、陽性が出た場合は早期にヒト検査を実施できると思う。陽性が出たところだけ隔離するような対応ができるので有効だと思う。(施設 H;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- ウイルスを持ち込むのは職員であるため、職員が利用するトイレに限定した検査は有効だと思われる。(施設 S;障がい者支援施設)
- ヒト検査対象となるヒトは、病棟単位まで絞り込めるとよい。それ以上は難しいと思うし、PCR 検査は必ず必要になる。(施設 D;医療施設)

下水サーベイランスを実施していることや、下水の検査結果に関する情報公開の範囲については、いくつかのパターンがあった。

情報公開の内容と範囲では、下水サーベイランスの実施は、職員や施設利用者、その家族等に伝えているものの、下水の検査結果については、職員のみとするケースが多かった。一方で、大学の学生寮等では、下水サーベイランスの実施と検査結果(陽性になった場合)を伝えていた。中には、下水サーベイランスを実施していることは施設職員にのみ伝え、ヒト検査が必要となった場合に入居者に伝えている施設もあった。

下水の検査結果を職員に伝えているケースでは、下水検査が陽性となった場合に、健康観察を日頃より強化することを伝えているケースがあった。

下水サーベイランスを実施していることに加え、その目的や効果、検査結果に対する対応等について、予め、職員や施設利用者、その家族等にも伝えるとともに、検査結果も適宜伝えていき、施設の関係者全員で下水検査とその結果を利活用していくといったことも考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 下水サーベイランスの実施が施設のアピールポイントになるかは今後検討するが、それを訴求することは考えていない。下水サーベイランスを実施していることは、施設の利用者、その家族、職員に伝えている。下水の検査結果は、職員のみ伝え、陽性の場合、健康観察を強化するように伝えている。(施設 U;有料老人ホーム)
- 下水サーベイランスを実施していることは、職員と保護者に伝えていた。しかし検査結果は伝えていない。下水検査で陽性が出た際には、保護者に伝えるか迷ったが伝えなかった。当初から検査結果を伝えていれば伝えやすかったと考えている。下水の検査結果が陽性になった際は、職員に、注意喚起を行った。(施設 O;保育

²¹ 本実証における「ゾーニング」は、院内感染対策で用いる用語とは異なる。感染状況を把握したい対象集団・エリアを絞り込み、職員・利用者別のトイレ等、それぞれの排水を検査するために適した採水地点(汚水枦あるいはマンホール)を区別・選定することを言う(p.5 参照)。

施設)
 下水検査の結果が陽性の場合、施設内にその旨を貼りだし、入居者に伝えている。(施設 P;大学の学生寮)

- 下水サーベイランスを行っていることは法人の事務局、施設の職員には伝えている。利用者には伝えていない。家族には、下水検査の陽性が出た際に、外部との遮断(外部の通所施設への通いの停止、ショートステイの停止)を行う際に報告を行った。(施設 B;障がい者支援施設)
- 施設の職員にのみ、下水サーベイランスの調査を実施していることを伝えている。下水検査が陽性となり、ヒト検査を実施する段階で、調査を実施していること、検査結果を伝えた。(施設 C:特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

<まとめ>

- 下水検査とヒト検査との組合せが可能な施設では、新規感染の早期検知と新規感染者の特定が可能となるため、感染拡大防止策に有用である。
- 下水検査とヒト検査との組合せをしない場合でも、感染状況のモニタリングに有効である。また、新規感染の早期検知により施設の感染対策の強化につなげることができると考えられる。
- 施設種別によらない活用としては、下記のように整理できた。
 - ・ 採水ポイントを分けることで新規感染者がどのエリアにいるかを絞り込み可能である。
 - ・ 「陰性確認による安心感を得られる」という意見あったが、下水が陰性であっても安心できないことに留意する必要がある。

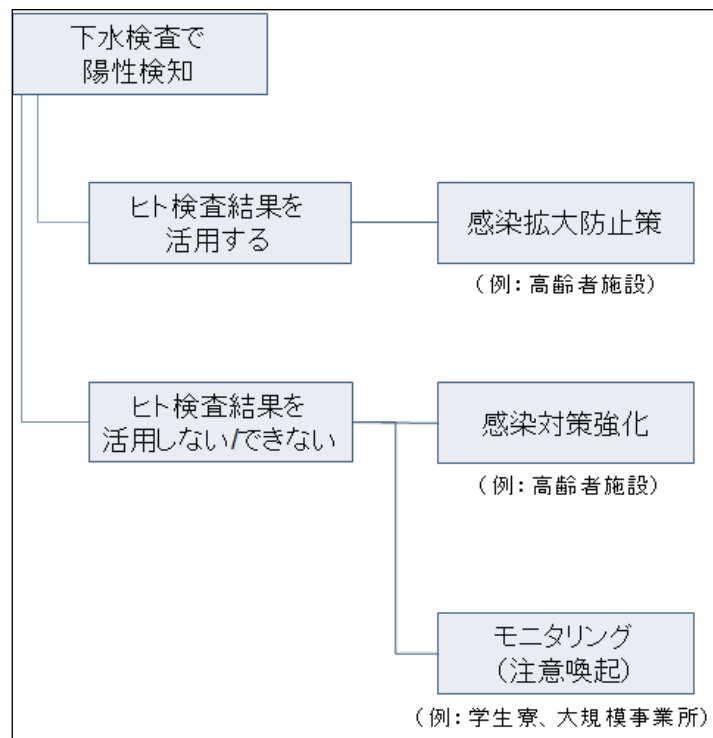


図 4-1 下水陽性検出時のフローと活用場面の関係

表 4-1 種別ごとの活用場面の例

施設の特徴	本実証で得られた特徴の例
下水調査とヒト検査の組合せによりヒト検査の結果の活用が可能な施設	施設内新規感染の早期検知と新規感染者の特定が可能となるため、感染拡大防止策につながる (例:特別養護老人ホーム、介護老人保健施設、有料老人ホーム、訪問看護拠点等)
下水調査と施設利用者の詳細な健康観察情報を活用可能な施設	施設内新規感染の早期検知により施設の感染対策の強化につながる(例:リハビリテーション施設等)
ヒト検査結果を活用しない/できない施設	施設内感染状況のモニタリング、注意喚起につながる(例:学生寮、保育移設、医療施設、大規模事業所等)
ヒトに着目した対策を実施しない/できない施設であるが同じ集団が定期的に利用する施設	

※例として挙げた施設種別は今回の実証結果に基づくものであり、必ずしも活用法を限定するものではない。

4.2 施設の状況に応じた採水・輸送・検査方法

(1) 施設における事前検討

ヒトの感染状況を下水で正しく捉える目的で、各施設の下水検査活用目的に応じた適切な採水方法を設計するために必要な、職員・利用者の特性、行動パターン、生活時間等の情報収集を重点的に行うことが必要である。

施設内のエリアに応じた採水地点の有無や採水の可否は、図面のみならず現地での排水経路の調査が必要である。現地調査においては、マンホール・汚水枡へのウイルス排出のソースとなるトイレや洗面台に加え、多様な排水経路がどのマンホール・汚水枡に接続されているかを明らかにする必要がある。施設構造や排水経路の確認は、排水経路を詰まらせない等採水事故防止の観点でも重要である。

現地調査のステップとして、少なくとも以下の項目について確認することが求められる。そのため、施設にも事前調査に協力いただく必要がある。

- 当該マンホール・汚水枡に負荷する排水のソース
- 丁寧な観察による思わぬ排水の流入の有無

(2) 最適な採水頻度について

毎日採水を行う等、採水頻度を高くすることで、施設利用者・職員の感染の検知の見落としが減り、早期検知の可能性が高まると考えられる。一方で、採水頻度は採水にかかる費用に直結するため、下水検査の普及に向けて、施設内にウイルスが持ち込まれる初期の段階での施設内感染状況と下水検査の関係を確保しつつどこまで採水頻度を下げることができるか検討した。

<本実証で得られた結果>

- データは多く取得できたが、採水頻度の変化による感染対策への影響は、各施設が自施設内の感染対策フローの中で下水検査をどのように位置づけているか、下水陽性の結果が出た後どのように対応しているか、日頃の健康観察をどの程度厳密に行っているか等、様々な要因によって変化することから、「最適な頻度」を試算するのは困難であった。

- 本実証期間内に確認された新規感染者について、日ごとに1施設あたりの平均新規感染者数を算出したところ、お盆前後、年末年始といった人流が多いシーズンに、新規感染者数が増える傾向が見られた。

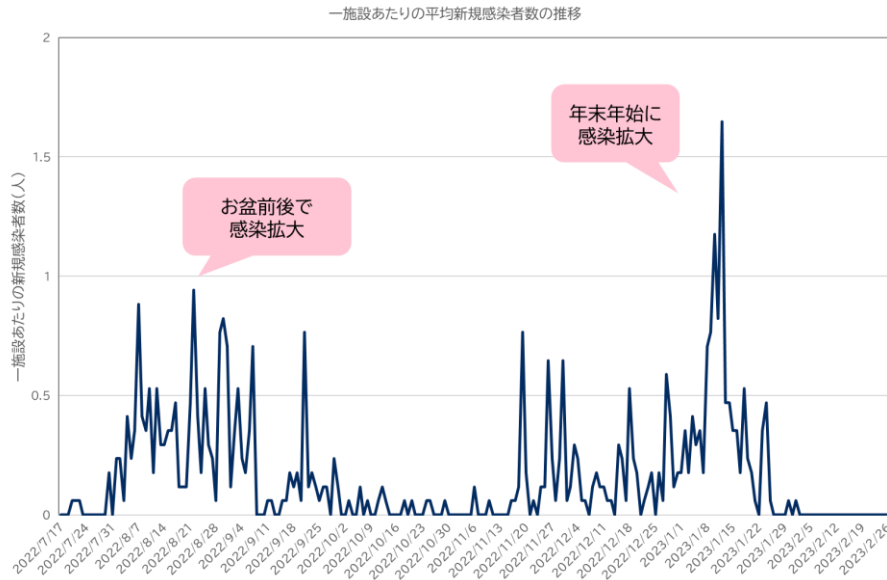


図 4-2 1 施設あたりの平均新規感染者数

※本実証期間中に判明した新規感染者について、各日ごとに全施設分を合計し、施設数で割ることで、「1日・1施設あたりの新規感染者数」を算出した。

<まとめ>

- 感染者の早期検知を目的として週4回の採水を実施し、下水検査で施設内のヒト陽性を検知できている施設においても、施設内の感染が広がっている事例がある。採水頻度は、下水検査と施設におけるヒト検査体制、感染拡大防止策の方針等を総合的に勘案して決定する必要がある。
- 立ち上がりを検知するという目的であれば、当然、毎日採水することがベストと言える。ただし、費用との兼ね合いがあるため、各施設において検知の確実性と費用のバランスを見て検討し、採水頻度を定める必要がある。
- 早期検知を目的とする場合
 - ・ 下水検査による検知とヒト検査による感染者特定のコラボレーションで施設内の感染拡大防止を図る施設では、早期探知を目的として下水検査が導入される。
 - ・ 施設内の感染状況が陰性の際には、施設外から施設内にウイルスを持ち込まれるリスクを重視して採水頻度を決定する。周囲の感染状況や、お盆や正月等感染拡大リスクが高まる時期の直後には、採水頻度を増やすことにより新規感染者の見逃しを低減できる可能性がある。その際、施設における感染拡大防止策の予算との兼ね合いで採水頻度を検討する必要がある。
 - ・ 施設内に把握している感染者がいる場合には下水検査も陽性になることが明らかのため、

下水検査にかかる費用低減のため、収束まで採水を中断することも選択肢となる。また、混合検体による検査を検討することも考えられる。ただしゾーニング等で感染者がいるエリアとないエリアが分けられる場合には、陰性の場合と同様に検討を行う。

- モニタリングを目的とする場合

- ・ 下水による感染者の有無の把握で施設内の注意喚起を図る施設では、モニタリングを目的として下水検査が導入される。
- ・ 定点観測的にデータを取得できれば良いことから、新規感染者の有無に関わらず一定頻度での下水検査を行えばよい。

(3) 適した採水時間帯

施設内感染状況と下水検査の関係を確保したうえで、下水検査の結果をできるだけ迅速に得るためには採水時間を短く設定することが選択肢の1つとして考えられ、その際、どのような時間帯を選択すればよいかを検証するため、本実証において、施設での生活サイクルの把握と下水検査の結果の突合による検討を実施した。

施設により生活サイクルが異なるため、採水に適した時間帯の検討には下水検査開始前に施設からの生活状況の聞き取りが必要であり、生活サイクルの把握にあたっては、曜日に依存したイベントの有無（入浴日、外部訪問者が多い日等）、1日の中でウイルス排出が多いと考えられる時間帯（スタッフの休憩時間、汚物の処理等）、等のポイントが挙げられる。

以下は実証の結果の一例であり、採水時間帯を検討するうえでの事例として記載した。

表4-2に施設Iにおける採水結果を示す。1月7日に陽性が判明した職員Aは1月5日と1月6日に当該施設に勤務していたところ、勤務していたエリアの排水地点である2Bにて11時に微量ではあるものの新型コロナウイルスが検出されている。当該施設では、勤務開始後昼食前の11時頃と、昼食等終了後の14時頃に職員が交代で休憩をとるため、1月5日と1月6日の11時に新型コロナウイルスが検出されている事象と符合する。

以上のことから、入浴等で大量の排水が流入する時間帯を避けること、また、職員がトイレを利用する可能性の高い時間帯を対象に採水を行うことで、施設内に感染者がいた場合に新型コロナウイルスを検出する可能性が高いと考えられた。

表 4-2 施設 I 早期検知時の下水コロナウイルス検知時間

		1月4日															1月5日															1月6日															1月7日														
		水															木															金															土														
採水時間		8	9	10	11	12	13	14	15	8	9	10	11	12	13	14	15	8	9	10	11	12	13	14	15	8	9	10	11	12	13	14	15																												
グラブ採水	3B	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×																																													
	2B	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	▲	×	×	×																																													
	1C	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×																																													
トラップ採水	3A								●								-																				-																								
	2A								×								-																				-																								
	1A								×								-																				-																								
	1B								×								-																				-																								
	感染者 勤務状況	職員A休暇					職員A勤務					職員A勤務					職員A陽性判明																																												

(注)×:陰性、●:陽性、▲:陰性だが増幅あり、-:採水無しを示す。

<関連するヒアリング結果>

施設外部と接触のある職員の下水を採水する場合、採水時間帯を絞るのであれば、朝一番(8:00 頃)は出勤してすぐトイレを使うわけではないので対象外としても良いのではないかと考える。11:00 頃、14:00 頃に休憩時間がありトイレの使用やうがいの可能性があるため、この時間帯を採水時間に含めるとよいのではないか。(施設 I;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

<まとめ>

- 実証結果の例では、職員の感染状況を把握したい場合は職員がトイレやうがいを行うと考えられる休憩時間を把握し、その時間帯を含めた採水時間帯を設定したところ、ヒトの感染を下水でも確認することができた。
- 施設により生活サイクルが異なるため、採水に適した各施設共通の時間帯設定は困難である。従って、ヒアリングにより施設特性の情報収集を十分行い、風呂水等の大量に水を使う時間帯を避けることで、できるだけ流量の変動等の影響を受けないようにしてウイルス検出を行う。

(4) 施設に応じた採水手法

採水手法には、大別してトラップ(パッシブ)サンプリングとグラブサンプリングがあり、流れが少ない(例えばトイレ等使用時のみ流れる)、もしくは停滞している場合にはトラップ(パッシブ)サンプリングが適しており、汚水槽のように下水が溜まっている場合には、グラブサンプリングを選択することも可能となる。グラブサンプリングとトラップ(パッシブ)サンプリングのメリット・デメリットを表 4-3 に整理した。

表 4-3 グラブサンプリング・トラップ(パッシブ)サンプリングのメリット・デメリット

	メリット	デメリット
グラブサンプリング	<ul style="list-style-type: none"> ・簡便 ・迅速に結果判定 ・費用減(サンプラー不要、作業者の拘束時間短い) 	<ul style="list-style-type: none"> ・流路での採水の場合にはある程度の水流があることが必要 ・一時点のみの状況把握のため、見逃しの可能性が高まる
トラップ(パッシブ)サンプリング	<ul style="list-style-type: none"> ・水流が少ない場所でも採水可能 ・幅広い時間帯をカバー 	<ul style="list-style-type: none"> ・設置、回収のため複数回の作業が必要 ・グラブサンプリングと比較して費用増

本実証では、グラブサンプリングとトラップ(パッシブ)サンプリングの比較に関して、以下の2つの検証を行った。

- 採水時間短縮の手法として、トラップ(パッシブ)サンプリング実施中の下水について、特定の時間帯におけるグラブサンプリングによるトラップ(パッシブ)サンプリングによる代替可能性
- 複数の下水が混入する汚水槽のある施設において、汚水槽におけるグラブサンプリングによる上流のトラップ(パッシブ)サンプリングの代替可能性

1) 特定の時間帯におけるグラブサンプリングによるトラップ(パッシブ)サンプリングの代替可能性

トラップ(パッシブ)サンプリングと比較して短時間で検体を採取可能であるグラブサンプリングの有効性の検証を行うため、同一の排水を含む経路内で、午前9時から午後3時まで1時間ごとで採水をした場合の新型コロナウイルス検出有無と、同一時間帯である午前9時から午後3時まで6時間サンプラーを留置させたトラップ(パッシブ)サンプリングでの新型コロナウイルス検出有無を比較した。なお、両検体は同一検査事業者による検査を実施した。なお、検証を実施した施設は汚水槽を持たない施設であり、グラブサンプリングは流路内の下水を一定時間かけて柄杓で掬い上げることで採取した。

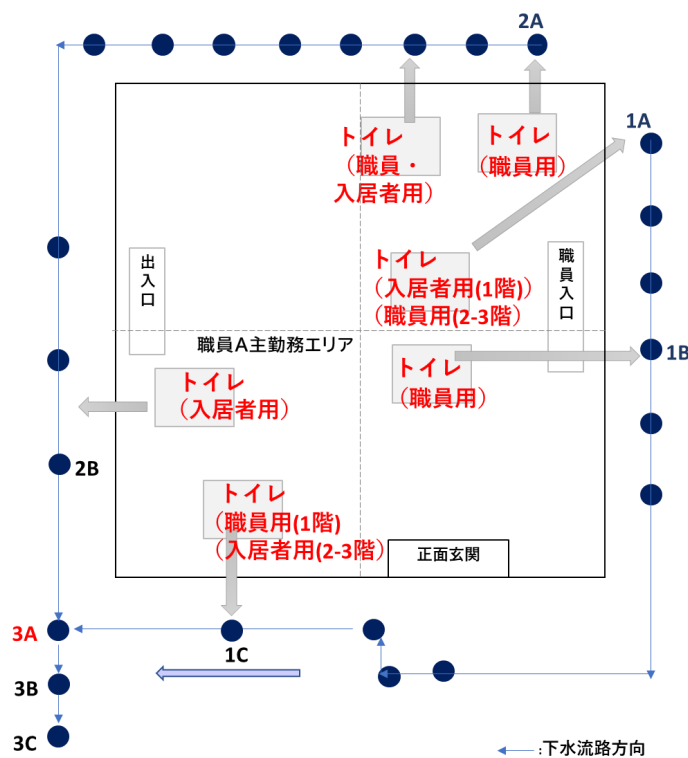


図 4-3 採水地点(上記のうち、2B、1C、3B、3C を比較)

表 4-4 に各日のグラブサンプリングとトラップ(パッシブ)サンプリングで新型コロナウイルスの検知状況を示す。

表 4-4 同一時間帯におけるグラブサンプリング(地点 3B)とトラップ(パッシブ)サンプリング(地点 3C)の比較

グラブ \ トラップ(パッシブ)	陰性	陽性
全て陰性	12 日	1 日(※)
いずれか陽性	0 日	5 日

(※)1 検体について微量な増幅を確認

グラブサンプリングでいずれかの時間帯に採取した検体から新型コロナウイルスが検出された場合は、経路が同一な採水口でトラップ(パッシブ)サンプリングにより採取した検体も新型コロナウイルス陽性となることを確認した。なお、トラップ(パッシブ)サンプリングが陽性であるが、グラブサンプリング全てが陰性となった日も 1 日含まれた。この日のグラブサンプリングの検体のうち、1 検体から増幅が確認された。

次に、同一施設におけるグラブサンプリング検体の陽性時間とトラップ(パッシブ)サンプリング陽性の結果を表 4-5 に示す。当該施設では、1 日の生活を同一としているが、グラブサンプリングの陽性検出時間帯は一定ではなく、ばらつきがみられたことから、汚水槽等を持たない施設でグラブサンプリングによる下水サーベイランスの実施は、頻度を高くとらない限り、トラップ(パッシブ)サンプリングと同等の結果を得られないことが明らかとなった。

一方で、採水頻度を高くすると費用増になり、汚水槽等がない施設において、グラブサンプリングでトラップ(パッシブ)サンプリングを代替するのは困難である。

表 4-5 グラブサンプリングにおける陽性検知時間の推移

採取日		2月17日							2月18日							2月19日							2月20日						
採取時間 (グラブ)		9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15
トラップ	3C				●							×							×							●			
グラブ	3B	×	×	●	●	×	●	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●
	2B	●	×	●	×	●	●	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	1C	×	×	×	×	×	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●	●	×	×	×	●

採取日		2月21日							2月22日							2月23日							2月24日						
採取時間 (グラブ)		9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15	9	10	11	12	13	14	15
トラップ	3C				●							●							●							●			
グラブ	3B	×	×	×	×	●	×	●	×	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	▲	×	×	×	×	×	●	●	×	●
	2B	●	×	×	×	×	●	×	×	×	×	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	●	×	×	×	×	×	×	×
	1C	×	×	×	●	●	●	×	×	×	×	●	×	●	×	×	●	×	×	×	×	×	×	×	●	●	×	×	

(注)×:陰性、●:陽性、▲:陰性だが増幅ありを示す。

<まとめ>

- 生活時間が一定の施設であっても、グラブサンプリングで陽性が検出される時間帯は日によってばらつきが大きいいため、ある1時点でのグラブサンプリングでトラップ(パッシブ)サンプリングを代替することは困難である。
- いずれかの時間帯かでグラブサンプリングで陽性を検知した場合に、トラップ(パッシブ)サンプリングは陽性を検知可能であった。
- 汚水槽を持たない施設の場合は、特定の1時点でのグラブサンプリングでトラップ(パッシブ)サンプリングを代替するのは困難である。

2) 汚水槽におけるグラブサンプリングによる上流のトラップ(パッシブ)サンプリングの代替可能性

汚水槽がある施設で上流の施設別の排水状況が分かるトラップ(パッシブ)サンプリングをそれらが合流する汚水槽のグラブサンプリングで代替できるかを検証した。

具体的には、以下の図において、それぞれの施設からの排水である MH1~MH3 のトラップ(パッシブ)サンプリングと、それらが合流する汚水槽(MH6)のグラブサンプリングの比較を行った。

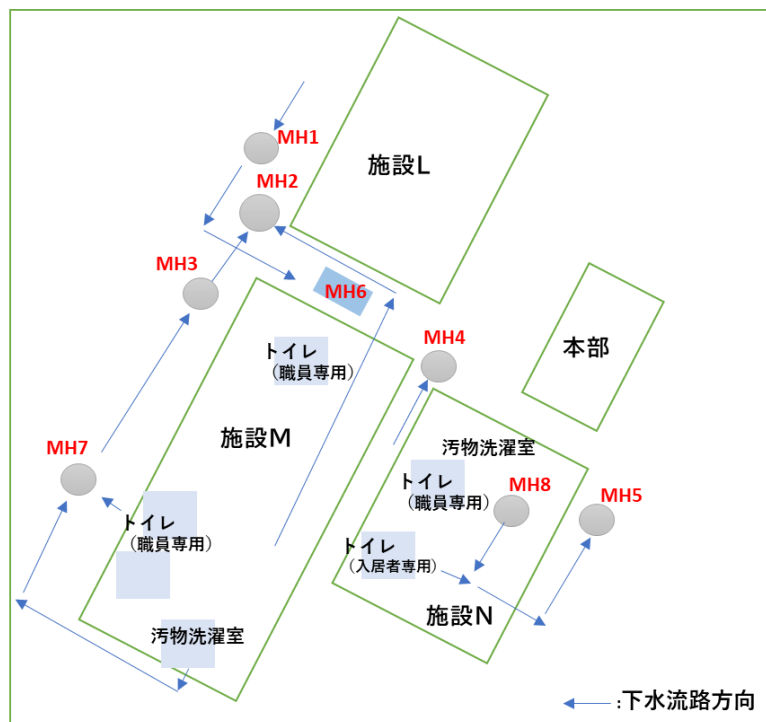


図 4-4 採水地点(上記のうち、MH1、MH2、MH3、MH6 を比較)

以下に各日のトラップ(パッシブ)サンプリングとグラブサンプリングで新型コロナウイルスの検知状況を示す。

上流の MH1～MH3 のいずれかで採取した検体から新型コロナウイルスが検出された 36 日のうち、30 日では汚水槽(MH6)でも陽性が検出された一方、6 日は陰性となった。逆に MH1～3 のいずれも陰性の 15 日のうち、11 日では汚水槽(MH6)でも陰性であった一方、4 日は陽性となった。

汚水槽の下水の状況を確認すると、通常 4 時間程度で入れ替わり、早い場合には 1 時間程度で入れ替わることがあるということが判明した。

このことより、不一致の原因としては、以下のようなことが考えられる。

- MH1～3 のいずれかが陽性であるのに、汚水槽(MH6)が陰性であるのは、混合検体と同様、薄まった可能性
- MH1～3 で検出した新型コロナウイルスが汚水槽に一度流入したものの、下水の入れ替わりにより、陰性となった可能性
- MH1～3 のいずれも陰性であるのに、汚水槽(MH6)が陽性であるのは、グラブサンプリングの直前に新型コロナウイルスの排出がなされた可能性及び下水中濃度が高く、長時間に汚水槽に滞留している可能性

表 4-6 MH1～3 のトラップ(パッシブ)サンプリングと汚水槽(MH6)のGrabサンプリングの比較

MH6(Grab) MH1～3 (トラップ(パッシブ))	陰性	陽性
全て陰性	11日	4日(※)
いずれか陽性	6日	30日

(※)1日については1検体について微量な増幅を確認

<まとめ>

- 施設に汚水槽があったとしても、滞留時間によっては、新型コロナウイルスの排水を見逃してしまう(当該施設の場合には約17%)可能性はある。
- 施設の状況を把握し、検知目的(費用面を考慮した平時のモニタリング等)を明確にしたうえでの活用が考えられる。

(5) 輸送方法

宅配便もしくは検査事業者の物流を利用して施設から検査実施場所への検体輸送を実施した。なお、施設と検査場所とが近隣であり、採水当日中の検査結果受領を施設が希望する場合には、バイク便の使用の可能性も示唆された。

輸送にあたってのバイオセーフティ対策として、各検査事業者とも、「施設排水調査ガイダンス²²」に従って実施していることを確認した。また、実証における輸送中の漏出事故は発生しなかった。

(6) 検査方法

本実証における検査方法は検査事業者ごとに異なる方法で実施したが、各社とも、本実証への参加応募時に事業管理者による採水検体の分析結果を一定の基準の下で評価した「基礎調査」に合格しているほか、各社の検査手順の提出を受け、品質管理ができていることを事業管理者にて確認した。また、特定の事業者がウイルスを検知できなかった等の事象は発生しなかった。

²² 「施設排水調査ガイダンス」(令和3年度厚生労働科学研究費「新型コロナウイルス感染症等の感染症サーベイランス体制の抜本的拡充に向けた人材育成と感染症疫学的手法の開発研究」班(研究代表者 鈴木基)の分担研究「環境水を用いた新型コロナウイルス監視体制の構築に関する研究」(分担研究者 吉田弘))

5. 対策への活用可能性

5.1 感染拡大防止の観点から見た実証結果の整理

下水検査により、特定の施設における感染有無の探知等を行い、施設において効果的・効率的感染拡大防止対策につなげられる可能性がある。

本項では、下水検査による施設内感染の早期検知を目的とした場合²³、下水検査の普及に向けて考えられる課題を整理し、示唆を得ることを目的として、本実証を通じ、下水検査が施設内の感染拡大に防止につながった事例、感染拡大を防止できなかった事例を抽出した。

なお、事例の抽出にあたっては、下水検査により、施設内感染の早期検知を達成し、感染拡大防止を実現した事例と、早期検知は実現したものの、感染拡大防止に至らなかった事例、下水検査による早期検知を実現できなかった事例を抽出し、その要因や課題を整理した。

(1) 感染拡大防止事例① 施設 F

最終合流地点と宿直室トイレ、職員トイレ、職員と厨房職員が利用するトイレの計 4 か所で採水を実施した。最終合流地点では、24 時間留置に加えて 3 時間留置と 6 時間留置の採水も実施した。

- 1 月 X 日に実施した 6 時間留置の検体から陽性が検出された。なお、同じ時刻に設置した 3 時間留置並びに 24 時間留置の検体は陰性であった。1 月 X+1 日夕刻に陽性連絡を受けたことから当該施設では職員を対象とした抗原定性検査による全数検査を実施し、感染者 1 名（以降職員 A と記載する）を特定した。職員 A は同居家族に感染者がいたものの、下水検査後のヒト検査実施時は無症状であった。なお、感染確認後に発熱が確認された。また、職員 A は 1 月 X 日の 17 時 30 分まで勤務していた。
- ・ 職員 A の発症直前の全勤務時間帯を含む 6 時間留置の検体から新型コロナウイルスのゲノムが検出されたと考えられる。なお、同時間帯に設置をしていた 24 時間留置検体から新型コロナウイルスが検出されなかった理由として、当該検体は最終合流地点に設置していたことから、トイレ等排水以外の影響によるウォッシュアウトが発生した可能性があるが、断定はできない。

²³ 4.1 で整理したように、活用目的には、早期検知以外にモニタリング目的も存在するが、モニタリング目的においては、感染者を特定して隔離する、といった対策ではなく、感染者の存在を施設内の対象者に知らせるといった注意喚起等にとどまり、その効果が明確でないため、本章における事例としては取扱っていない。

—: サンプラー留置時間

		X日	X+1日	X+2日	X+3日
感染状況	職員 A	施設勤務 (無症状)	出勤無し 在宅検査陽性	施設外療養	施設外療養
	その他	体調不良者無し	全数検査陰性	感染者無し	感染者無し
下水検査	最終合流	陰性 9:00 12:00 陽性 9:00 15:00	陰性 9:00 12:00 陰性 9:00 15:00	採水無し	採水無し
	トイレ3地点	陰性 9:00	陰性 9:00	9:00	
		陰性 9:10-9:30	陰性 9:10-9:30	9:10-9:30	

図 5-1 感染拡大防止事例① タイムライン

表 5-1 施設 F 採水実施概要

施設概要	施設種別	特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)	
	施設規模	施設職員:90名(うち常勤50名) 施設利用者:100名	
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B
		実施時期	2022年8月30日~2022年12月29日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週2回(24時間留置) 週1回(3時間留置、6時間留置)
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B(最終合流地点) 採水機関 A(ゾーニング地点)
		実施時期	2023年1月4日~2023年2月28日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週4回(最終合流地点:3時間留置、6時間留置、24時間留置) トラップ(パッシブ)サンプリング:週4回(ゾーニング地点:24時間留置)

(2) 感染拡大防止事例②、感染拡大事例① 施設 C

当該施設では、当該施設からの排水の経路である施設の南側に位置する地点と、北側に位置する地点2地点でのトラップ(パッシブ)サンプリングによる採水を実施した。

- 12月X日~X+1日の採水(24時間留置)において、下水から新型コロナウイルスが検出された。下水陽性の結果を受け、防護服を着る等の感染防止レベルの強化を行った。また、感染した利用者に対しては行政との連携により派遣を受けた医療スタッフによる点滴等の治療を行い、感染した職員は出勤停止としたことで、その後の感染は拡大しなかった。

さらに12月Y日～Y+1日の採水(24時間留置)においても陽性が検出され、利用者1名から陽性が検出された。しかしながら、施設ヒアリングによると陽性発覚が年末であったため、12月X日～X+1日に派遣を受けた際と同様の行政との連携による医療スタッフ派遣が得られなかったことを一因とし、施設内でクラスターが発生したとのことであった。

12月X日～X+1日の結果より、下水陽性の結果を受領後、迅速なヒト検査による感染者の特定だけでなく、施設内の感染対策レベルを上げることによる感染拡大防止が有効であるといえる。また、12月X日～X+1日及び12月Y日～Y+1日の2つの事例より、施設内での感染拡大を防ぐためには、早期に感染者を特定するだけでなく、感染者の対応のための医療スタッフの確保等、適切な医療資源へのアクセスが必要であるといえる。



図 5-2 感染拡大防止事例② タイムライン



図 5-3 感染拡大事例① タイムライン

表 5-2 施設 C 採水実施概要

施設概要	施設種別		特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)
	施設規模		施設職員:66名(うち常勤50名) 施設利用者:100名
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	検査機関 D
		実施時期	2022年8月8日~2022年12月28日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	検査機関 D
		実施時期	2023年1月9日~2023年1月31日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回

(3) 感染拡大防止事例③ 施設 I

最終合流地点でのトラップ(パッシブ)サンプリングと 3 地点でのトラップ(パッシブ)サンプリングによるゾーニング採水(留置時間:24 時間)を実施した。加えて 2 地点でのGrabサンプリングによるゾーニング採水(1 時間ごと、7~8 回/日)と最終合流地点でのGrabサンプリング(1 時間ごと、8 回/日)を実施した。

- 1月 X 日設置、1月 X+1 日回収(24 時間留置)の最終合流地点の検体から陽性が検出され、また 1月 X+1 日(木)に地点 2B で採取されたGrabサンプリングの検体からグレーが検出された。両者はそれぞれ 1月 X+2 日夕刻に結果の報告がなされた。また、1月 X+2 に地点 2B で採取されたGrabの検体でもグレーが検出された。翌日 1月 X+3 日(土)に職員 A が医療機関を受診し、陽性が確認された。職員 A は 1月 X+1 日、1月 X+2 日に当該施設の 2B 側 2 階のユニットと、一部 2B 側 1 階のユニットに勤務しており、手洗い等を実施した可能性がある。なお、当該施設では、1C 側または 2B 側で勤務する場合、原則 1C 側のトイレを利用することとなっている。
- 2 階に勤務している場合は、トイレ利用は 1C 側を利用するが想定され、1 階に勤務している場合は 2B 側のトイレを利用する可能性も考えられるが、当該期間に職員 A のトイレ利用の有無の特定には至らなかった。
- 本事例より、職員 A が新型コロナウイルスに感染していると自覚する以前に下水で新型コロナウイルスの検出を実現した。また、当該職員の排便の有無の特定には至らなかったが、手洗いやトイレ利用の可能性が高いエリアの下水からグレー判定が得られたことを確認した。

—: サンプラー留置時間 ●: グラブサンプリング(陰性/検出)

		X日	X+1日	X+2日	X+3日
感染状況	職員A	勤務無し	施設勤務 咽頭痛	施設勤務 咽頭痛	抗原検査 陽性
	その他	体調不良者無し			
下水検査	最終合流3A			採水無し	採水無し
	1A・2B・3C			採水無し	採水無し
	2B				
	1C				

図 5-4 感染拡大防止事例② タイムライン²⁴

表 5-3 施設 I 採水実施概要(再掲)

施設概要	施設種別	特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)	
	施設規模	施設職員:69名(うち常勤41名) 施設利用者:100名	
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B
		実施時期	2022年8月30日~2022年12月29日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 B 検査機関 A 検査機関 D
		採水担当	検査機関 B(集合地点でのトラップ(パッシブ)サンプリング) 採水機関 A(ゾーニング地点でのトラップ(パッシブ)サンプリング) 検査機関 A(グラブサンプリング:1月実施分) 検査機関 D(集合地点でのトラップ(パッシブ)サンプリング及びグラブサンプリング:2月実施分)
		実施時期	2023年1月4日~2023年3月1日
採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週4回 グラブサンプリング:週35~40回(1日7~8回、週5日) ²⁵		

²⁴ 地点 1C,2B は 1 時間おきにグラブサンプリングを実施

²⁵ 別途グラブサンプリング結果の参照用として後半フェーズの 2 月より週 5 日のトラップ(パッシブ)サンプリングを実施

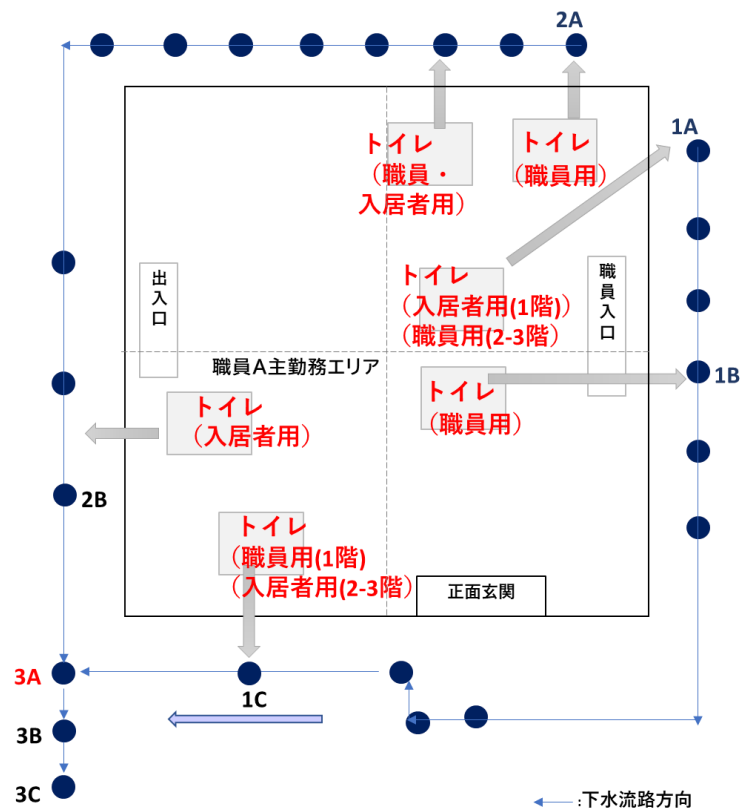


図 5-5 施設 I 採水地点模式図(再掲)

(4) 感染拡大事例②③ 施設 A

当該施設では、最終合流地点 1 か所のみで採水を実施した。

- 8 月 X 日～X+1 日の採水(24 時間留置)で新型コロナウイルスが検出された。下水陽性の結果は 8 月 X+2 日に届き、施設内全数検査(PCR 検査)を開始したが、その結果受領は 8 月 X+5 日以降となった。PCR 検査結果受領前に、既に施設内で感染拡大の兆候が見られたため、PCR 検査結果受領前に改めて検査を実施する必要性が生じた。

当該事例では、下水の採水開始から検査結果受領まで X+1 日、ヒト検査検体提出から結果受領まで X+1 日を要したため、感染拡大の防止ができなかった。

- 下水の検査結果を迅速に受領するには、輸送時間を短縮する必要があるため、下水検査を施設近傍の検査機関で実施することで、より迅速に結果を得て、ヒト検査につなげることが必要である。クラスター発生時の施設内全数検査(PCR 検査)の実施時、陽性であった職員が、2 か月後下水サーベイランスが陰性化した後の、再度の施設内全数検査(PCR 検査)でも陽性を示しており、下水サーベイランスの検出限界には注意が必要である。また、抗原定性検査は PCR 検査よりも多くのウイルス量を含む検体でないと陽性とならないため、検査実施の際は留意が必要であると考えられる。

以上より、下水陽性後に実施するヒト検査は、迅速に結果が得られる手法を選択することが重要であるが、十分な精度がある検査手法を選択しなかった場合は適切に感染者を特定できない可能性がある

ことに留意が必要である。

- 12月Y-7日～Y-6日の採水(24時間留置)で新型コロナウイルス陰性ののち、12月Y日～Y+1日の採水(24時間留置)で陽性となった。
- 施設内ではこの2回の採水の間感染者が発生したことから、週1回の採水では下水による施設内感染者の早期検知に至らなかった事例である。以上のことから、施設内で発生する感染者を下水サーベイランスにより早期に検知するには、適切な検査頻度の選択が重要であるといえる。

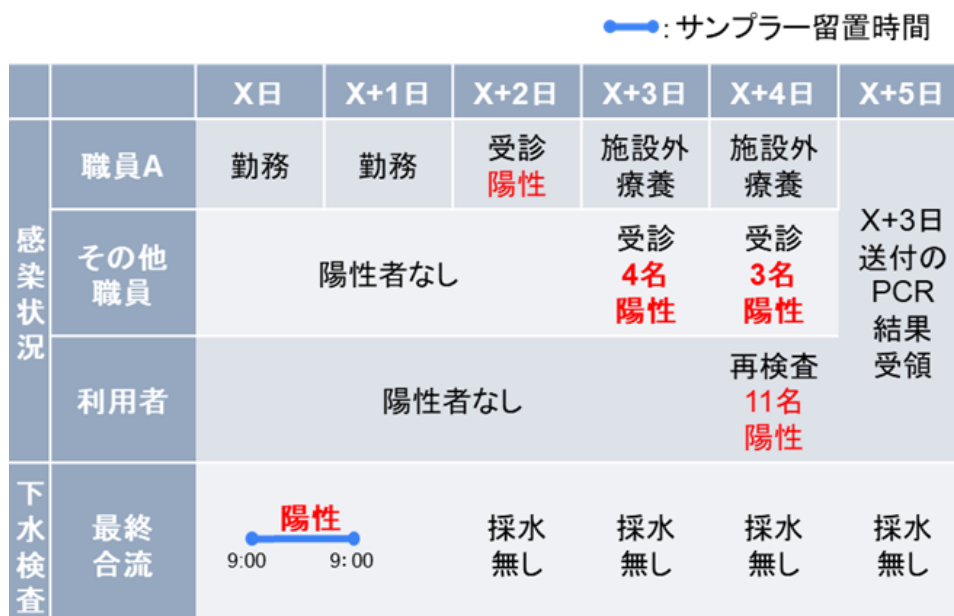


図 5-6 感染拡大事例② タイムライン



図 5-7 感染拡大事例③ 事例タイムライン

表 5-4 施設 A 採水実施概要

施設概要	施設種別	介護老人保健施設	
	施設規模	施設職員:72名(うち常勤60名) 施設利用者:95名	
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	施設管理担当者
		実施時期	2022年8月30日~2022年12月18日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	施設管理担当者
		実施時期	2022年12月19日~2023年1月31日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週2回

(5) 感染拡大事例④ 施設 M

当該施設では、前半フェーズでは、2 地点に分かれた最終合流地点での採水を行った。後半フェーズでは前半フェーズの 2 地点に加え、職員トイレ・汚物洗い・洗濯機の排水が含まれる地点での採水も実施した。採水は前半フェーズ・後半フェーズ共に週 2 回実施した。

当該施設では、最終合流地点の 1 つである地点③での 8 月 X-3 日設置、X-2 日回収の採水(24 時間留置)の検体が陰性であり、同地点での 8 月 X 日設置、X+1 日回収の採水(24 時間留置)で新型コロナウイルスが検出され、8 月 X+2 日に結果の報告がされた。その後、8 月 X+5 日に職員 2 名と利用者 10 名の陽性が確認された。その後も感染が拡大し、大規模なクラスターに発展した。

当該感染事例は、下水陰性が陽性に転じた際に施設内の感染対策の強化や、施設内のヒト検査による感染者の特定等の感染対策により、拡大を小規模に抑えられた可能性がある。よって、下水陰性が陽性に変化した際は、速やかに感染対策を強化することが重要である。なお、本事例に関しては、8 月 X 日の陽性以前にも、施設内に陽性者が含まれないにも関わらず下水陽性が出る場合があり、ヒト全数検査の判断が難しい状況であったことも感染拡大の要因の 1 つである。

また、8 月 X 日設置、X+1 日回収(24 時間留置)から、約 1 か月後の 9 月 Y 日設置、Y+1 日回収(24 時間留置)まで、当該施設のいずれかの採水地点で陽性が継続して検出された。9 月 Y-18 日に確認された 9 名の利用者と 1 名の職員の陽性を最後に、施設内では新規の感染者が発生していないにも関わらず、下水の陽性は 1 か月程度継続した。よって、感染者が回復後も一定期間ウイルスを排出し続ける可能性を否定できないといえる。

—: サンプラー留置時間

		X-2日	X-1日	X日	X+1日	X+2日
感染状況	職員		1名発症※	4名陽性	1名陽性	陽性確定※
	利用者	利用者 4名発症	→ 陽性確定	利用者 5名陽性	利用者 5名陽性	利用者 1名陽性
下水検査	北側			陰性 9:30 — 9:30		
	合流			陽性 9:30 — 9:30		

※は同一人物

図 5-8 感染拡大事例④ タイムライン

表 5-5 施設 M 採水実施概要

施設概要	施設種別		特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)
	施設規模		施設職員:77名(うち常勤59名) 施設利用者:140名
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 E
		採水担当	検査機関 E
		実施時期	2022年8月30日~2022年12月29日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週2回 Grabサンプリング:週2回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 E
		採水担当	検査機関 E
		実施時期	2023年1月4日~2023年2月28日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週2回 Grabサンプリング:週2回

施設内感染収束後に新規感染者を検出するには、一時下水検査結果が陰性になったのちに陽性となる必要があるが、当該事例のような場合は、回復者による継続的なウイルス排出か、新たな感染者が発生したことによるウイルス排出かの判断ができない。以上より、一部の感染者は回復後も一定期間ウイルスの排出が継続してしまうことが、下水サーベイランスによる新規感染者検出の課題の1つであるといえる。

(6) 感染拡大事例⑤ 施設 K

当該施設では、前半フェーズでは週1回採水を実施していたが、8月X日設置、X+1日回収の検体(24時間留置)の検体が陽性となった時点では既に複数の職員・入居者の感染者が確認されていた。これらの感染者は同時期に複数確認されていることから、8月中旬のお盆の時期の人流増加をきっかけとした感染リスクの上昇が要因の1つと考えられる。

このように、施設職員の感染リスクが高くなる年末年始、お盆等の長期休暇の後には頻度を上げた下水検査を実施することで、感染拡大前に感染者の特定を実現できる可能性が高い。



図 5-9 感染拡大事例⑤ タイムライン²⁶

表 5-6 施設 K 採水実施概要

施設概要	施設種別	特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)	
	施設規模	職員:116名、利用者:110名	
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	検査機関 D
		実施時期	2022年8月22日~2022年12月20日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 D
		採水担当	検査機関 D
		実施時期	2022年12月26日~2023年1月31日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週1回

(7) 感染拡大事例⑥ 施設 G

本実証では、年始は1月X日設置から検査を開始した。当該検査機関の検査・輸送体制では、検体回収日の当日または翌日に原則結果返却がなされているため、1月X日設置、X+1日回収の検査結果はX+2日に返却された。なお、本実証の試みとして週4回の検体採取・検査を実施した影響により、土日祝日については現在の検査機関での検査体制で対応可能とするために、一時的に施設内で冷蔵庫に保管したうえで、土日祝日にかかわらず検査ができるように調整を行った。その影響により、1月X+1日

²⁶ ※は同一人物

設置、1月 X+2 日回収の検体は、1月 X+6 日に返却された。

当該施設では、年内最終回の検体は陰性であった。その後、1月 X+1 日設置 1月 X+2 日回収の検体から陽性が検出されたが、祝日対応のため、結果返却が 1月 X+6 日のため感染対策に活かすことができなかった。以上より、年末年始や祝祭日等の直後に感染者が発生する可能性が高いため、検査頻度を上げる等の対策をとることで、平時より感染状況を注視する必要があるといえる。



図 5-10 感染拡大事例⑥ 事例タイムライン

表 5-7 施設 G 採水実施概要

施設概要	施設種別	特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)	
	施設規模	施設職員:44 名(うち常勤 29 名) 施設利用者:54 名	
採水概要	前半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B
		実施時期	2022 年 8 月 30 日~2022 年 12 月 29 日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週 2 回(24 時間留置)
	後半フェーズ	検査担当	検査機関 B
		採水担当	検査機関 B(最終合流地点) 採水機関 A(ゾーニング地点)
		実施時期	2023 年 1 月 4 日~2023 年 2 月 28 日
		採水方法・頻度	トラップ(パッシブ)サンプリング:週 4 回(最終合流地点:24 時間留置) 週 4 回(ゾーニング地点: 24 時間留置)

5.2 事例から得られる示唆

(1) 感染拡大防止に適した下水検査の頻度・時期を検討する必要あり

今回の実証において採水頻度が低かった場合(週 1 回)の下水検査では、感染者の早期検知に至らず、施設内で感染が広がってしまった事例も見られた。検査頻度は費用に直結するため、施設内で許容できる範囲を考慮する必要があるが、十分な検査頻度を確保できない場合は、下水検査を有効に活用

できない可能性がある。なお、十分な下水の検査頻度を確保したとしても、その後のヒト検査が遅れると感染拡大を防止できない例があったことから、下水検査とヒト検査の両面での迅速性が重要である。

なお、感染者によっては、回復後も一定期間ウイルス排出が継続していると思われる事例が見られたことから、施設内に感染者が含まれていなくても下水検査の陽性が継続する場合がある。一度施設内に感染者が発生し、下水検査結果が陽性となった場合は、一度下水検査結果が陰性に転じるまでは新規感染者の検出には活用が難しい可能性がある。

(2) 無症状感染者の検知により感染拡大防止に寄与できる

本実証で得られた事例から、下水サーベイランスでは発症前または無症状の感染者も検知できる可能性があることが明らかとなった。なお、ウイルスの排出量や感染後の排出時期は変異株の特性によって変化することから、例えば感染から発症までの期間が短いウイルスに感染した場合は早期検知が難しい可能性がある。よって、市中に感染が広がっているウイルスの特性を踏まえ、下水検査結果を適切に評価したうえで施設内感染対策に活用することが重要である。

(3) 下水検査実施後の対応方針・対応フローを事前に定める必要あり

下水陽性となった後に実施されたヒト検査で陽性を検出した後、医療スタッフによる適切な処置が行われた場合は感染拡大が防止できたが、処置が行われなかった際には感染が拡大してしまった事例も見られた。また、下水検査での陽性判明後、ヒト検査はせずに施設内の感染対策を強化することで、新たな感染者が確認されなかった事例も見られた。

よって、下水検査を契機に新規感染者を発見できても、施設内で適切な対策が取れない場合は感染拡大につながってしまうことが明らかとなった。また、ヒト検査以外の下水検査結果を感染対策に活用し、感染拡大防止に活用できた事例も見られた。以上より、下水陽性後にどのような対策を進めていく必要があるか、事前に体制を構築しておく必要があるといえる。

図 5-11 に、下水検査での陽性検知後のヒト検査の流れの例を示した。なお、下水陽性検知後に実施するヒト検査は、施設利用者または職員の家族や周囲の感染状況を踏まえ、施設と検査事業者または専門家との協議により設定することが望ましい。

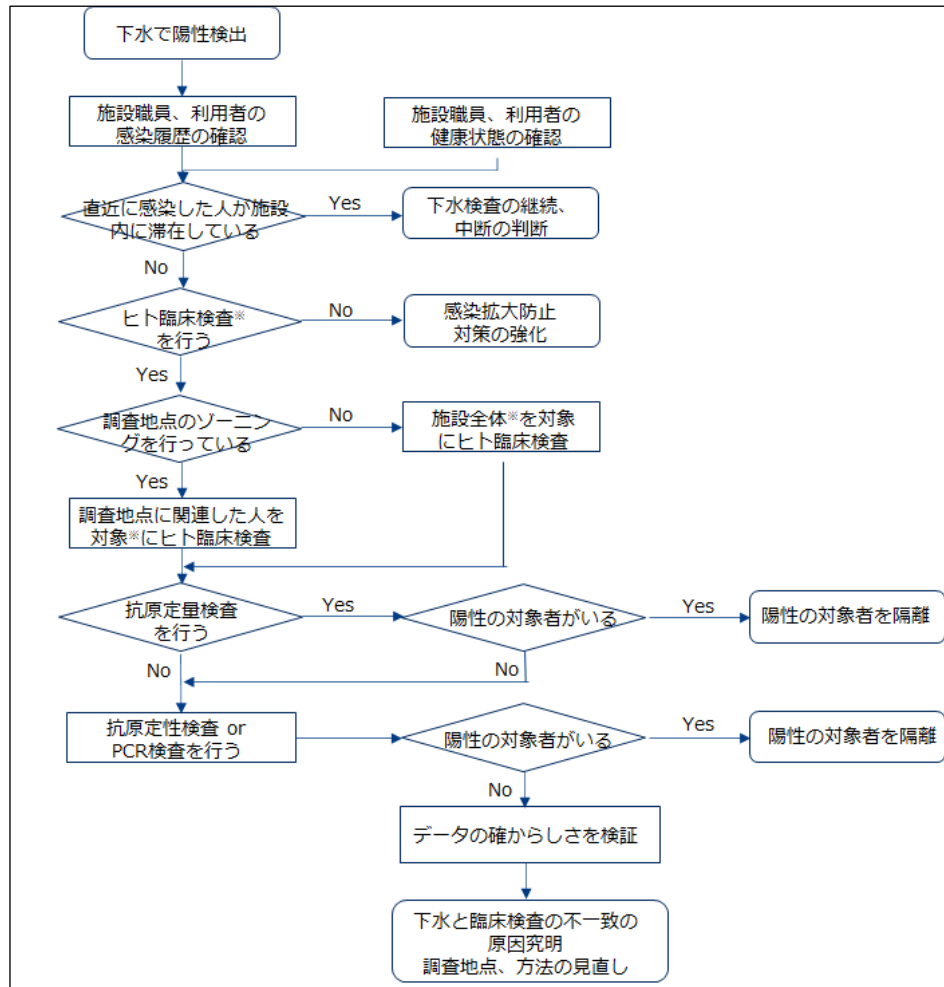


図 5-11 下水陽性検出時のヒト検査の流れ²⁷

(4) 感染拡大防止のためには検査・対応の迅速性を高める必要あり

本実証全体を通じて、クラスターが発生した施設・発生しなかった施設があった。クラスターが発生した施設について、下水検査とクラスター発生のタイミングを下表に整理した。なお、ここでのクラスターの定義は、「同一施設において、同時期に 5 人以上の感染者が連続して発生しており、一連の感染拡大事例である可能性が高いもの」とし、確実な接触履歴の確認まで行っているものではない。

²⁷ 検査対象者は、職員または利用者の家族や周囲の感染状況を加味したうえで、施設担当者、検査事業者、専門家等との協議により設定する必要がある。

表 5-8 本実証内で確認されたクラスター発生事例

施設名	1 人目の発症日 (無症状の場合は 検体採取日)	5 人目の発症日 (無症状の場合は 検体採取日)	下水検査で捕捉し た日(採水日 ※サ ンプラー回収日)	下水検査で捕捉し た日(結果通知日)	クラスターの原因 (持ち込みルート)
施設 A	8 月 3 日(水)	8 月 4 日(木)	8 月 2 日(火)	8 月 3 日(水)	職員起点で拡大
施設 K	8 月 20 日(土)	8 月 21 日(土)	8 月 23 日(火)	8 月 23 日(火)	1 人目は入居者
施設 L	8 月 28 日(日)	9 月 6 日(火)	8 月 25 日(木)	8 月 26 日(金)	1 人目は入居者
施設 M	8 月 29 日(月)	8 月 29 日(月)	8 月 29 日(月)	8 月 30 日(火)	1 日で職員 2 人、 入居者 10 名が陽 性
施設 G*	9 月 11 日(日)	9 月 15 日(木)	9 月 28 日(火)	9 月 29 日(木)	新規入居者の 感染
施設 B	11 月 15 日(火)	11 月 18 日(金)	11 月 18 日(金)	11 月 18 日(金)	1 人目は入居者
施設 U	11 月 29 日(火)	11 月 30 日(水)	11 月 29 日(火)	11 月 30 日(水)	
施設 A	12 月 10 日(土)	12 月 12 日(月)	12 月 13 日(火)	12 月 14 日(水)	リハビリテーション 施設職員起点で 拡大
施設 K	12 月 18 日(日)	12 月 19 日(月)	12 月 20 日(火)	12 月 20 日(火)	
施設 C	12 月 29 日 (木)	1 月 1 日(日)	12 月 27 日(火)	12 月 28 日(水)	
施設 M	1 月 1 日(日)	1 月 8 日(日)	1 月 5 日(木)	1 月 6 日(金)	1 人目は職員
施設 G	1 月 5 日(木)	1 月 11 日(水)	1 月 6 日(金)	1 月 11 日(水)	1 人目は職員
施設 F	1 月 8 日(日)	1 月 11 日(水)	1 月 9 日(月)	1 月 10 日(火)	
施設 T	1 月 11 日(水)	1 月 11 日(水)	1 月 9 日(月)	1 月 11 日(水)	

※初発例が実証開始前の事例は除外した。

※施設 G は、施設の採水口の制約のため、職員トイレを含まない地点での採水のみ実施し、最終合流地点での採水ができていない。よって、職員の陽性を検知できない等、下水での捕捉まで時間を要する場合がある。

クラスターの発生状況は表 5-8 の通りであった。クラスターの特徴を整理すると、以下の要点が得られた。

- クラスターの 1 例目から 5 例目までの時間が短く、同日～翌日のケースが多かった。
- ヒトの発症による探知が先行したクラスターが多かった。採水日が先行したのは 4 事例、結果通知まで先行したのが 2 事例であった。その 2 事例のうち、1 事例は 5 例が報告されるまで 1 日しかなかったが、他の事例では 11 日後に 5 例を超えた。
- 職員によるウイルス持ち込みを起点として拡大したケースだけでなく、入居者が 1 例目となっているケースも複数存在した。

以上のことから、下水検査で感染後、無症状の間に早期検知することでクラスターが防止できた可能性がある。早期検知後のヒト検査も抗原定性検査や抗原定量検査等の迅速な対応が必要である。

一方、クラスターが起こらなかった施設も 5 施設あった。その中で、施設 N、施設 O、施設 Q、施設 R の 4 施設は、規模が比較的小さく、各職員・利用者の体調等を把握・管理しやすかった可能性が考えら

れる。

<まとめ>

以上の事例から、対策への活用可能性として、次のようにまとめた(図 5-12)。

- 早期検知による感染拡大防止策に活用可能な場合
 - ・ 下水検査陽性の際にヒト検査が可能であり、新規感染者の特定が可能である施設
 - ✓ 早期検知できた事例、できなかった事例があった
 - ✓ 下水とヒトの検査で陽性を検知できた場合でも、適切な措置が取れなかった場合は感染が拡大したことから、施設内の感染防止体制の構築が必須であった
- 早期検知による感染対策強化に可能な場合
 - ・ 下水検査陽性後、ヒト検査を活用しないが、適切な医療資源へのアクセスが可能である施設
 - ✓ 下水陽性後に施設内の感染対策レベルを上げる(職員が防護服を着用等)ことで新たな陽性者が確認されなかったという事例があった
- モニタリング(注意喚起)に活用可能な場合
 - ・ 対象者数が多い、人の出入りが頻繁、重症化するリスクが低い方が利用する施設等、ヒトに着目した対策を重要としない施設

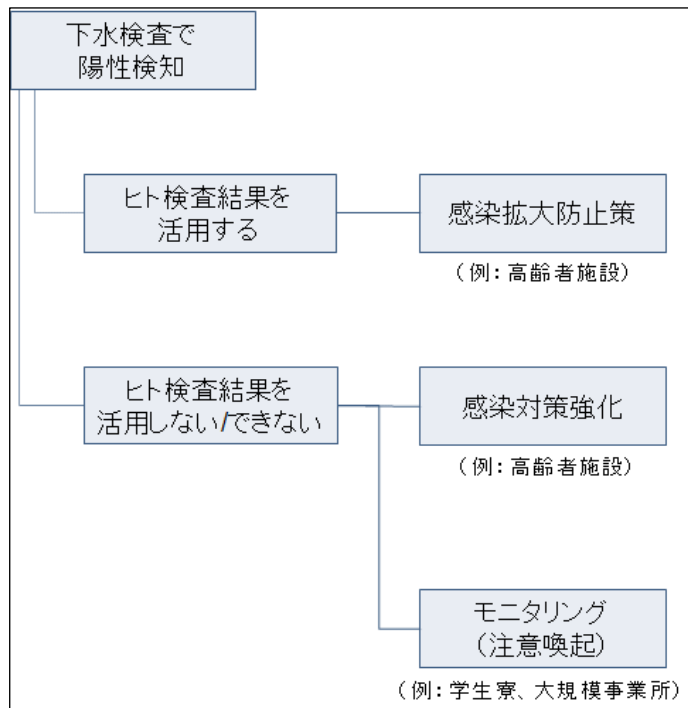


図 5-12 下水陽性検出時のフローと活用場面の関係(再掲)

6. 普及にあたっての課題と対応の可能性

6.1 施設の活用ニーズ(感染拡大防止、体制整備)

(1) 検査結果報告に係るニーズ

各施設に対する下水検査結果の通知の在り方によって、結果の理解や施設における対策への活用可能性に影響があると考え、検査結果の内容(様式)、報告タイミング、感染防止対策レコメンデーション等について検討を行った。実証前半は、下水検査結果を受けたヒト検査実施要否の判断を事業管理者で行ったうえで施設に報告をするため、下水検査結果を事業管理者が受領したうえで、ヒト検査結果の要否を含めて施設に検査結果を返却していた。しかし、迅速な感染対策へ移行するには、より早期に下水検査結果を受領することが必要であるとの示唆が前半実証で得られたことから、後半実証においては検査結果から施設に直接結果を返却し、実証内でのヒト検査は別途事業管理者から依頼する流れに変更した。この変更により、後半実証から可能な限り速やかに下水検査結果を施設に届ける体制となった。

また、検査結果確定に時間を要する場合には、下水検査結果を検査事業者から速報として電話(もしくは施設の希望による連絡手段)で伝え、後日、結果の詳細を施設に伝達するという2段階の報告様式についても試行した。

各施設にヒアリングを実施したところ、速報と詳細の2回に分けた報告について、肯定的な意見が多く得られた。特に早期探知目的の場合には、速報のみを活用し、迅速な対応を取ることを優先している施設もあった。

詳細な検査結果の通知内容については、解釈が困難な場合があり、専門的知識が無いスタッフでも容易に理解できる工夫(色や時系列表示等)、もしくは感染症専門家や検査事業者による結果解釈のサポート等があると、対策に活かしやすいようであった。

<関連するヒアリング結果>

- 検査結果は回収日の翌日に受領しており、わかりやすく対応しやすい。(施設 A;介護老人保健施設)
- 速報はわかりやすく活用している。職員にも通知がしやすい。経時的な変化についても、解釈は難しいが参考にしている。(施設 S;障がい者支援施設)
- 検査の速報は非常にありがたい。翌日からすぐに対応できる。数値の見方も教えてもらってよかった。(施設 B;障がい者支援施設)
- 翌日の夕方に速報、翌々日に詳細版を受領し、院内で院長を含めて確認している。速報値を院長に報告している。頻度が高くリアルタイムに情報が得られる方がありがたい。詳細版は一日遅れるので、速報値を基準に対策を進めている。(施設 D;医療施設)
- 速報の信号方式があるため、事務担当でも理解しやすい。詳細な結果報告よりも信号マークの方が役に立つ。(施設 D;医療施設)
- 報告書に記載されている内容や信号マーク等は理解しやすい。情報が蓄積されていくことも利点である。(施設 O;保育施設)
- 下水検査で陽性が出た場合に、ヒトの状況を踏まえて、どのような対应对策(ヒト検査を実施するのか等)を行うことが望ましいのか、わかるとよい。(施設 O;保育施設)
- 結果は分かりやすい。検査事業者の担当者にも質問して教えてもらった。(施設 U;有料老人ホーム)
- 第一報が電話でもらえたのはありがたかった。(施設 F;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- 検査事業者への問い合わせはしなかった。報告自体はわかりやすかったため。しかし、下水の結果とヒト検査結果について考察等があるとよいかもしれない。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- 視覚的にわかりやすい結果報告が良い。メル文面等の場合、見間違ふこと等があるため。(施設 I;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

結果通知への意見を得る中で、結果の解釈について誤解が生じているケースが見出された。本実証において、Ct 値の大小と感染者数の多寡は必ずしも関連していない、との結果が出ている(※)。しかし、「Ct 値の推移と感染拡大規模の変化は一致している」と考える施設が多いため、結果の見せ方に注意が必要である。同様に、下水検査の結果が陰性＝施設内に感染者がいないということではないので、その点についても十分に理解を得ることが必要である。

<関連するヒアリング結果>

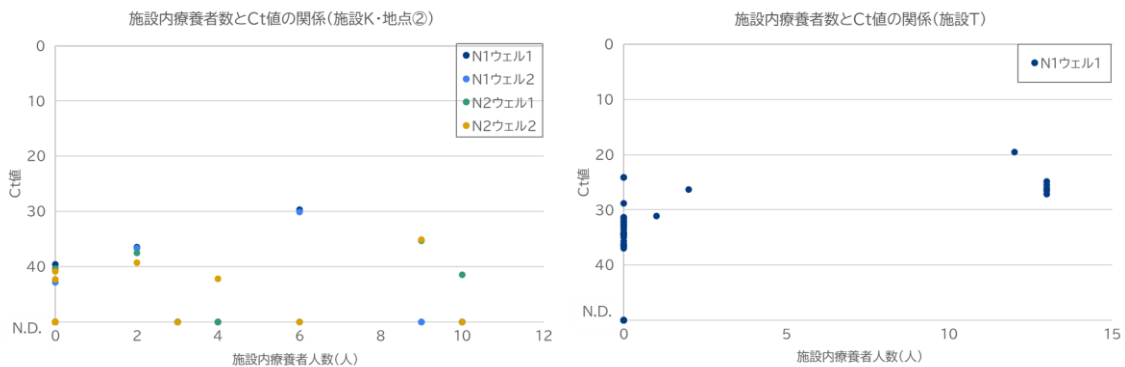
- 数値の変化(前日比較した上下)を見ている。収束/増大の傾向が下水検査で分かるのはありがたい。陽性と陰性は頻繁に変わるため、どう対応すべきか迷う。(施設 D;医療施設)
- 施設内感染者の減少と下水の数値の減少に連動性を感じた。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- 検査事業者への問い合わせは特にしていない。陽性が続いた場合に、時系列での変化を見ている。下水検査の結果が数値で出てくるため、経時的な変化が分かりやすい。提供されているエクセルデータの結果の部分は、該当する部分を取りだして、前回と比較できるようにして上席に資料として見せている。(施設 L~M;老人ホーム・リハビリテーション施設)
- 下水の検査結果(Ct 値)が大きくなってきた場合は、感染が収束傾向になっているという判断に使っている。(施設 L~M;老人ホーム・リハビリテーション施設)

※Ct 値と感染者数の関連

Ct 値に基づいた感染者数の推定可能性を検証するために、下水中の新型コロナウイルスの Ct 値と、下水検査を行った日に施設内で療養中の感染者数をプロットした(下図)。

感染者数の多寡を比較できるよう、実証期間中に施設内で 10 名以上の感染が起こった 2 施設(施設 T、施設 K)を選定した。同一施設であっても、各採水地点の状況によって Ct 値の出方は異なることから、同一採水地点での Ct 値の経時変化を確認することとした。最終合流地点での採水結果と、施設内で療養中の全新規感染者数の対応を確認した。

いずれの施設においても、感染者数に依存して Ct 値が増減する傾向は認められなかった。このことから、Ct 値から施設内に存在する感染者数を推定することは困難だと考えられる。



また、下水の検査結果を踏まえ、感染対策をいつどのように実施することが適切なのか、施設の責任者や担当者が迷うケースもあるため、下水検査の結果を踏まえた、感染症専門家や検査事業者等と施設とのコミュニケーションが重要と考えられる。

<関連するヒアリング結果>

- 施設内に感染が発生した後新規の発生者が無くなり、感染者が回復しても、下水検査は陽性がだらだらと続く。このような場合に、下水検査の結果と、人の状況をどのように考察するのか難しい。(施設 K;特別養護老

人ホーム(介護老人福祉施設)

- クラスタが収束した後に、下水検査では、陽性が続いた。過去の感染者から、ウイルスが排出されていると考えた。一方で、地うえでの感染者がいないにも関わらず、下水検査が陽性になることに対し、理解を十分にできない職員もいた。(施設 B;障がい者支援施設)
- 下水検査の結果を、時系列でみていた面がある。例えば、Ct 値をみて、高い値が続くと新規感染者がいるのではないかと、値が下がってくると収束の方向にあるのではないかと。(施設 L~M;老人ホーム・リハビリテーション施設)

<関連するヒアリング結果>

- ヒトの新規発生がおさまり、回復しているにも関わらず、下水検査の結果が、陽性で続いている。このような場合の考察について教えていただけるとよい。(施設 K;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
- 下水検査の結果を踏まえて、施設としての感染予防をどのように行うか施設の責任者の判断になるが、悩ましい場合がある。経験を積むことで、すぐに、予防対策をとれるようになったりもする。(施設 O;保育施設)
- 下水検査で陽性が続く中で、ヒト検査をどのように行うべきか、看護師と相談して決めた。(施設 B;障がい者支援施設)

以上より、検査結果報告に関するニーズについては、以下のようにまとめられる。

- 早期検知目的の場合には、対策への活用を意識しているため、施設の希望する連絡手段による迅速な報告が求められる。検査結果確定まで時間がかかる場合には、速報を結果判明当時、詳細を翌日のように分けて連絡することも有効である。詳細な検査結果の通知内容については、専門的知識が無いスタッフでも容易に理解できる工夫(色や時系列表示等)、もしくは感染症専門家や検査事業者による結果解釈のサポート等に対するニーズがある。さらに、下水の検査結果を踏まえた感染対策に関する相談等のコミュニケーションに対するニーズがある。
- モニタリング目的の場合は、それほど迅速性に対するニーズは強くないと考えられるが、詳細な検査結果の通知内容については、早期検知目的と同様、わかりやすい工夫や結果解釈のサポート等に対するニーズがある。

(2) 時間・費用に関する施設のニーズ

施設における下水検査の時間に関するニーズとして、下水の採水から検査結果が出るまでの時間をより短くすることが挙げられた。理由は、下水検査の結果を踏まえて、必要な感染拡大予防のための対策を早く実施し、感染の広がりを抑えるためである。

今回の実証では、採水後、検査事業者と施設が近い場合には、当日、あるいは同日中の採水検体の検査結果取得が難しい場合でも翌日には結果が得られていたが、翌日ではなく、当日に結果を得たいという意見があった。そのためには、採水から検査までの輸送にかかる時間、検査時間の短縮が求められる。実際、施設と検査事業者が遠方であることや、検体発送のタイミングの都合により分析開始が遅れ、施設への下水検査結果の連絡が翌日以降になった事例があり、このような場合、万が一陽性が検出されると感染拡大防止の遅れにつながる。輸送にかかる時間については、例えば、検査ができる体制を全国的に充実させることによる改善が期待される。

また、輸送や検査が週末や祭日にかかる場合の取扱いについても、下水検査の普及にあたり検討が必要と考えられる。現在のところ検査事業者の週末の分析が困難であるため、結果判明が翌週になるケースがある。週末に祭日が入ると、結果の判明までに数日かかるケースも発生する。なお、施設では、

週末であっても、対策をとることができるのでより早く結果を求める場合と、時間外や週末に検査結果が伝えられても対策が取れないといった場合が見られた。

輸送や検査に要する時間のほか、週末や祭日等も考慮した採水から検査までのスケジュールの作成を、検査事業者は施設とコミュニケーションをとりつつ、採水のタイミングを柔軟に変更する等の対策も検討していくことが考えられる。

下水検査に関する費用は、採水、輸送、検査の各工程に要する費用からなる。合計の費用について、実証で用いられていた費用に対し、施設が希望する費用にはかなりの違いがみられた。その中で、コロナ対策としての行政からの助成の規模やヒト検査に要する費用と、下水検査の費用を比較し、利活用を検討したいといったニーズがあった。また、採水の頻度や採水地点数が、費用とのトレードオフになることから、例えば、週 2 回程度の採水が良いといったニーズがあったほか、全体とゾーニングの適切な組合せ等も考えられる。

また、行政等の支援により実施ができるヒト検査がある場合、下水検査とヒト検査を適切に組み合わせることにより、全体の費用を施設が対応可能な水準にしていくこと等も考えられる。さらには、地域の感染状況や施設内での感染状況を見ながら、下水検査の頻度をコントロールすることにより、施設が負担可能な費用を目指す方法等も考えられる。

さらに、時間短縮と費用低減の方法として、採水や検査の自動化も考えられる。費用低減の方法としては、施設担当者による採水、施設の設備管理等定期的な訪問業務等のある事業者の活用、留置時間の工夫、トラップ(パッシブ)サンプリングによる設置と回収の訪問回数の削減(例えば、設置と回収を常に一体的に実施する等)、近隣の施設と同日に実施することによる採水の効率化等も検討していく必要があると考えられる。

時間短縮に関するニーズは、早期検知目的の場合に特に強いと考えられ、費用低減に対するニーズは、いずれの目的についてもニーズが強い。

時間や費用について、各施設から得られた具体的なニーズは以下の通りである。

<p><時間について></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 感染拡大防止のためには、下水検査も、その後のヒト検査も、少しでも早く(回収した当日等)検査結果を得たい。それにより、より早く、拡大防止策を講じることができる。そのためには、輸送時間の短縮が一つの方法であり、検査ができる拠点が近くに整備されることが望ましい。(施設 A;介護老人保健施設) ● 下水検査の結果が早くわかることで、検査の翌日から対策を講じることができるので良い。(施設 B;障がい者支援施設) ● 下水検査の結果により、電話で第一報があることはよかった。(施設 I:特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)、施設 F:特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))
<p><費用について></p> <ul style="list-style-type: none"> ● コロナ対策として行政から補助が行われている。その金額と比較して、支払うことができる費用かどうかを判断することができるのではないかと。(施設 O:保育施設) ● 下水検査の頻度は多いに越したことはないが、費用を考えると、週 2 回程度が適切ではないか。その場合、週の前半と後半ということとなり、週の後半は検査のタイミングが週末にかかることとなるが、週末の検査体制の確保が難しいといった問題もある。(施設 A;介護老人保健施設) ● 施設内で感染が広がれば、衛生費用等様々な費用が掛かることになるので、それを減らすことができると考えると、下水検査にかけられる費用の規模感がみえてくる。(施設 B;障がい者支援施設) ● 行政から無償で提供される検査キットがあるので、定期的なヒト検査等ができるが、自己負担となったら、同様にはできない。ヒト検査と下水検査の費用を比較しながら、検討することになるのではないかと。(施設 F;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

(3) ヒト検査に関するニーズ

下水から陽性が検出された場合、特に早期検知目的の場合には、ヒト検査等により施設内の感染者を迅速に特定し、隔離する等の対策が必要となる。

本実証においては、上記の通り感染者を迅速に特定する目的のほか、感染者を下水で検知できているかを検証する目的で、下水の検査が、陰性継続から陽性が検出された場合に、施設の利用者・職員等に対するヒト検査を実施した。また、ヒト検査方法としては、PCR 検査のほか、抗原定性検査、抗原定量検査があり、それぞれの特徴を表 6-1 に整理した。

各検査手法の特性を施設に説明したうえで、施設にとって使いやすい検査方法を選択していただき、事業管理者から検査キットを施設に送付する方法(PCR 検査の場合)、もしくは、事業管理者の費用負担のうえで、施設が検査キットや検査に必要な試薬を購入する方法で検査を実施した。

表 6-1 新型コロナウイルスの各種検査法の比較

検査種類	RT-PCR検査	LAMP法	抗原定量検査	抗原定性検査 (イムノクロマトグラフィ)
検出対象	ウイルスの遺伝子(核酸)を特異的に増幅させてウイルス量を定量的に測定		ウイルスのたんぱく質(抗原)	ウイルスのたんぱく質(抗原)
検査場所	検体を検査機関に搬送して実施			検体採取場所でも実施可能
測定時間	約2~4時間 (+検査機関への搬送時間)	約1時間 (+検査機関への搬送時間)	約15~30分 (+検査機関への搬送時間)	約5~30分
目的	陽性者(無症状者含む)・陰性者の確定診断			発症初日から9日目の有症状者の確定診断(陰性の確定診断には用いられない)
精度(検出に必要なウイルス量の目安)	約10コピー	約100コピー (RT-PCRの10倍程度のウイルス量がなければ検出できない)		約1000コピー (RT-PCRの100倍程度のウイルス量がなければ検出できない)

施設でヒト検査を行う場合、自己採取が難しい場合はどの検査法においても職員が検体採取を行う必要があり、これが医療職員の負担になるという意見や、濃厚接触者に該当しない場合・無症状である場合にもヒト検査を行うことを利用者・家族に説明する必要があること等がヒト検査を実施するうえでの課題として挙げられた。このように、施設によっては利用者の臨床検査の実施が困難な場合もあり、例えば、日頃健康観察を実施している種別の施設では、下水サーベイランス陽性検出時には検査対象となる利用者等を健康情報で絞り、近隣の医療機関の医師の支援を受けて検査を実施する等も考えられる。

また、ヒトに対する検査は行わず、例えばゾーニングできている場合には、陽性が検出された排水エリアの対象者の感染対策を強化する、等の活用方法も考えられる。

ヒト検査の実施にあたっては、下水検査で陽性が検出された後、ヒト検査(PCR)の検体採取を行ったものの、施設からPCR分析を実施する検査場所への距離が遠く輸送に時間を要し(検体送付後結果報告まで3日を要した)、そのために感染が拡大してしまった施設があった(5.1(4))。このため、感染拡大防止の観点では①ヒト検査結果を施設が迅速に得ること(図 6-2)、②ヒト検査検体採取のための施設の負担を軽減すること、が求められる。なお、ヒト検査には迅速性が求められることから、時間を要するPCR検査ではなく抗原定量検査(難しい場合は抗原定性検査)が適していると考えられた。

施設職員がヒト検査の検体採取を行う場合には、②を実現するために、例えば外部と接触がある者

(職員等)が活動するエリアのみを対象とした採水地点の設定を行う等の対応が望ましいと考えられる。

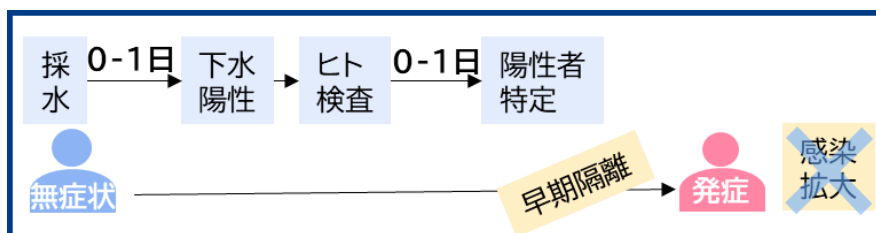


図 6-1 施設内感染拡大防止のための採水から感染者特定のタイムライン例

<p><関連するヒアリング結果></p> <p>【ヒト検査の難しさに関する意見】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● ヒト検査について、知的障害がない利用者には説明すれば必要性を理解してもらえるが、知的障害がある利用者では検査を受けていただくのも大変な場合がある。PCR 検査でも抗原定性検査でも、検体を取るのには医療職が全て行うため、負担になっている。(施設 S;障がい者支援施設) ● 下水陽性時に職員の全数検査を実施したが、感染者は検出されなかった。ヒト検体の採取方法が妥当であったかが疑問である。(施設 V;障がい者支援施設) <p>一斉検査が難しい場合がある。(施設 H;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設)、施設 O;保育施設)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 職員のヒト検査を実施する場合、3 交代等の勤務体制のため、全員検査には数日を要する。(施設 I;特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設) ほか) <p>【下水検査の結果に基づくヒト検査の実施について】</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 土曜日に採水した下水検査結果からは陽性が検出され、火曜日に採水した結果からは検出されなかった。土曜日の登園者、火曜日の登園者のどちらをヒト検査の対象範囲としたらよいのか迷ったが、結果的にヒト検査結果の入手が遅れ、迷わずにヒト検査を実施した方が良かった。(施設 O;保育施設) ● PCR 検査結果は、ヒト PCR 検査会社のオンラインうえで表示するのを待つしかなく、結局検体送付から 3 日目の深夜しか結果が見られず、正確性に疑いがないが、迅速性には大いに問題があり、クラスター対応に利用できなかった。

なお、今回の実証においてはヒト検査キットの調達に事業管理者が関与していたこと、また、地域によっては、施設が自治体から定期的に無料の検査キットを受領していたことから、施設において検査キットを常時保有している状態であった。医療機関や高齢者施設においては、実証後もヒト検査キットを常に施設において保持していることが考えられるものの、今後、新型コロナウイルスの感染症分類により自治体からのキット送付が終了する可能性もある。下水検査からの陽性検出時に迅速にヒト検査を行えるよう、下水検査の事業者が検査キットの調達の補助を行う、もしくは事業者自身がヒト検査も提供できるようにすれば、下水検査とヒト検査のスムーズな連携が図れるものと考えられる。

6.2 費用低減、時間短縮

(1) 現在の費用構造・時間構造

1) 費用構造

各事業者の価格設定方法は異なるため一概には言えないが、内訳として以下の費目が含まれていた。

- 人件費

- 実費

- ・ サンプラー費用
- ・ 安全対策費
- ・ 交通費・宿泊費
- ・ 分析費用
- ・ 検体輸送費

検査事業者ごとに個別の費目の詳細な内訳を公開しているわけではなく、サービスパッケージ全体を一括して費用設定している場合が多いため、詳細な費用構造を把握することは困難であった。

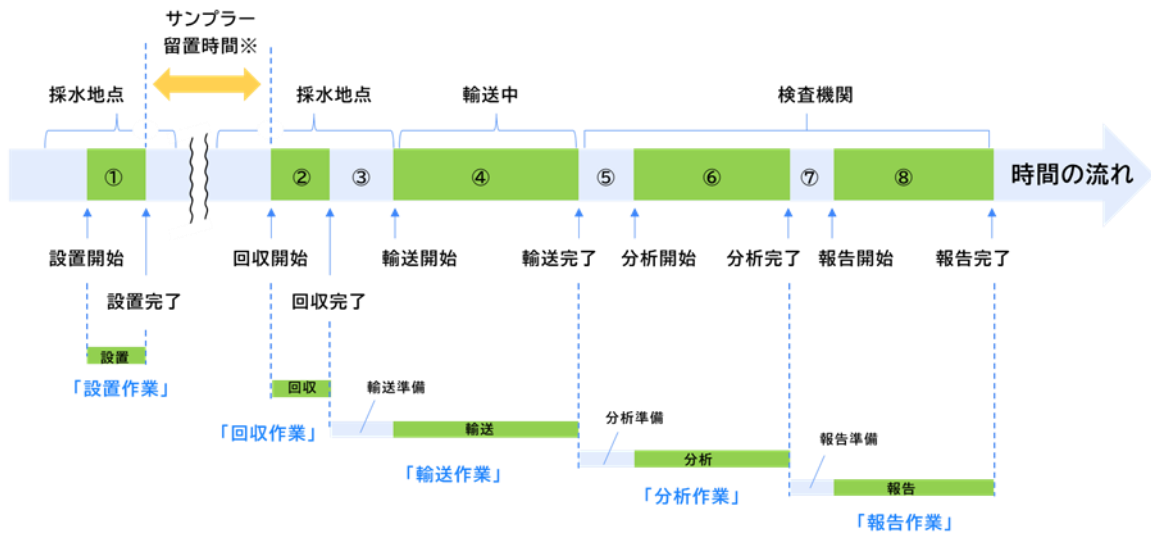
費目の中には、事前調査費用のように初回のみ計上される費用と、採水・輸送・分析にかかる費用のように採水の度に計上される費用が存在した。

費目	①人件費		②材料費	③機械経費	④直接経費				⑤分析費	⑥諸経費
	技師A	...			旅費	運搬費用	安全費	その他		
1.計画準備										
2.打合せ										
3.事前踏査	初回のみ費用はここで計上								専門業者に外注する場合	
4.採水										
準備・養生・撤収										
サンブラ設置										
サンブラ回収										
検体固定等 (輸送準備)										
グラブ採水										
5.輸送	ルーチン業務として計上									
(距離/移動速度)										
6.分析										
7.とりまとめ報告										
速報										
データファイル										

図 6-2 費用構造の整理

2) 時間構造

本実証の開始時～12月までの作業記録をもとに、各作業工程にかかる時間を施設別に整理した。採水から結果報告までのステップを下図のように細分化し、各ステップに要した時間を施設ごとに算出した。



※同一地点で滞留時間を複数比較する場合において、先に回収した(滞留時間が短い)検体は回収作業後、残りの滞留時間分の検体が揃うまで一時保管される場合がある。ここでは、これらの保管時間も輸送準備時間としてカウントしている。すなわち、このような検体は輸送時間が長く集計される傾向にある。

図 6-3 時間構造の整理



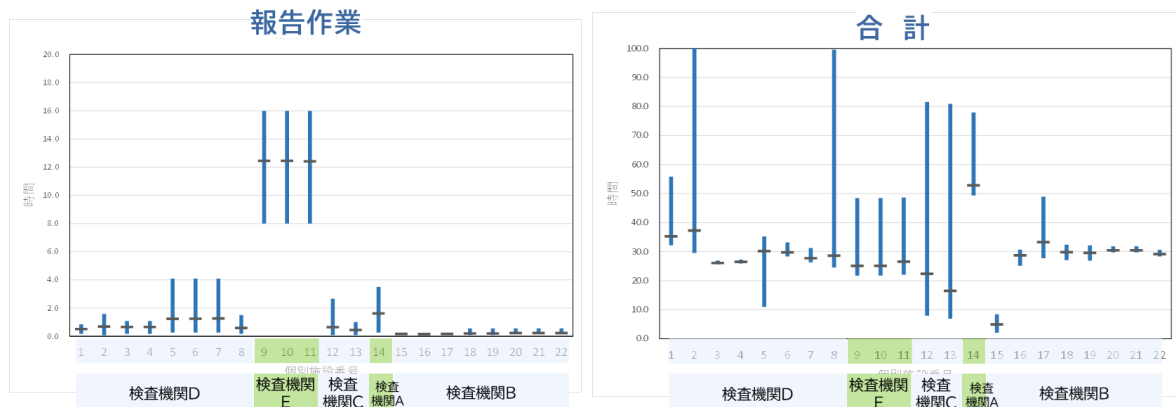


図 6-4 所要時間の整理(施設別)

※上図横軸の番号は、各事業者が担当した施設を表す。事業者から提出された作業報告書の記録時間をもとに、各段階に要した時間の最大・最小・平均を整理した。

以上の整理から、以下のことが明らかとなった。

- 設置・回収作業:両作業ともに、平均時間は 0.1～0.2 時間(6～12 分)前後
- 輸送作業:所要時間は、施設位置と分析施設との距離に依存する
 ※採水地→分析地は、NO.1・2:福岡→京都、NO.3・4:兵庫→京都、NO.14:東京→京都、NO.16～22:東北・東海→東京。
- 分析作業:PEG 沈による濃縮を行っている検査機関 A のみ 20 時間を超え、他は 10 時間以内でおさまっている。
- 報告作業は概ね 1 時間未満。検査機関 E のみ、夜に作成して翌朝報告するため長時間になっている。
- 各工程の所要時間合計の平均は 30 時間程度(留置時間含まず)。
 ※合計の最大値は、夏期休業等に伴う分析・報告の待ち時間が含まれるレコードがあるため、最大値が大きくなっている。

(2) 費用低減・時間短縮方策

採水工程及び検査工程の費用や時間構造は(1)で示した通りであり、このうち輸送工程に関しては、時間・費用(輸送費)ともに施設と採水検体を検査する機関との距離に応じて規定される。そのため、できるだけこれらが近い組合せで下水サーベイランスを実施することが望ましい。

また、検査工程に関しては、時間・費用ともに検査法に応じて決まる(用いるキットによりプロトコルや価格が予め決まっている)ために、現状では時間短縮・費用低減が難しい工程であるが、検査回数を減らす工夫により費用を抑えることができる。

一方で、下水サーベイランスにおいて時間、費用への影響が大きい工程は採水工程であり、その要因は人工であるが、人工・実費ともに施設における検査対象や検査頻度のニーズに応じて低減を図れる可能性がある工程である。

具体的な方策としては、次のような内容が考えられる。

1) 費用低減方策

a. 採水工程に係る方策

上記の通り、採水工程における費用への影響が大きい要因としては採水に係る人工が挙げられ、これを低減する方策を下記の通り考察した。採水にあたっては、適正な作業員、施設職員や施設を管理する事業者による採水の、実態に即した、適正な積算に基づく価格の確認等により低減できる可能性があると考えられた。

- 下水サーベイランスを実施する施設の担当者(営繕担当等)による採水を行う。
- 施設外の担当者が採水を実施する場合には、採水にあたる人数を減らす。なお、「施設排水調査マニュアル Ver1.0」(2022年3月、国立感染症研究所)の「2.1.5 人員の確保・養成」では「採水作業は1か所あたり2名以上で実施することが望ましい」とあるが、推奨事項であり、マンホール周辺の構造を理解し、バイオセーフティ対策を含めた採水操作に熟練している採水者であれば必ずしも2名でなくともよいと考えられる。
- 採水頻度を調整することも費用低減につながる。例えば、年末年始、お盆休み、ゴールデンウィークや、人と接触することが増加すると考えられるイベントの後、また施設近隣地域での感染が増加している場合等は採水頻度を増やし、それ以外の期間は採水頻度を下げることで採水に係る費用の低減を図ることが考えられる。さらに、下水陽性検知後、施設内にウイルス排出を継続している感染者がいることが明らかかな場合には、一定期間、下水検査を停止することも費用の低減に資することとなる。
- 同日に複数施設を採水して1日あたりの採水件数を増やすことで、1検査あたりの採水にかかる人工を低減することも可能である。例えば同一法人(近隣にある場合)と組んで採水を実施することが考えられる。
- 採水にかかる時間あたりの人工を低減する。具体的には、例えば施設に出入りの排水管清掃事業者や施設の営繕等担当者に対する採水の技術指導やバイオセーフティ対策指導等の実施により、専門事業者でなくても採水が可能となるようにする。
- 採水地点を絞る。具体的には、居住型施設であれば、施設外との接触により施設にウイルスを持ち込む可能性がある職員等が使用するトイレ排水のみを検査する等、検査対象を明確にする。
- 普及に応じた適正な価格設定が肝要である。
- 各ケースの費用低減効果
 - ・ 同一施設内の複数地点において、24時間留置のトラップ(パッシブ)サンプリングを行うケースが最も多いが、この場合の1回採水あたりの金額は7~20万円程度であった。そのうち、採水費用が6万円前後、検査費用が7万円前後のケースが多かったが、検査事業者によりばらつきが大きいため、詳細な試算は困難であった。
 - ・ 施設スタッフが採水を行った場合、検査事業者によっては1回採水あたり6万円程度が削減できる可能性がある。
 - ・ 近隣の複数施設を回る形式にした場合、複数施設分を一括して「1回分の採水」とみなして費用設定する事業者が存在した。この場合、1施設ごとに採水費用が計上される場合と

比べて、1 施設あたりの費用が下がる。(例:採水費用が 6 万円の場合、近隣 2 施設を同日に回って採水すると、2 施設で 6 万円となり、1 施設あたりの採水費用が 1/2 になる)

b. 採水検体検査工程に係る方策

一定の検査数を確保することで、1 検査あたりの人工を低減することが可能であるため、例えば、同一法人(近隣にある場合)や近隣施設と組んで採水を実施することが考えられる。

既に感染者がいることが明らかな施設においては、施設内の感染が収束に向かう段階で、同一施設内の複数採水地点の検体を混合検査することで検査数を低減することができる。この方法による検査で、施設内の大まかな感染傾向の把握に資する可能性がある。

プロセスコントロールとしての PMMoV(トウガラシ微斑ウイルス)の検査について、下記の理由から、毎回の検査は実施せず、初回及び必要に応じた検査を実施して検査回数を低減することが可能であると考えられる。

- 本実証開始時には、下水中の新型コロナウイルスは糞便由来と考えていたが、上気道由来も含まれるため、必ずしも腸管由来のウイルスをプロセスコントロールとする必要がないこと。
- PMMoV は糞便由来に極めて高濃度に存在すると考えられるが、検査法によっては、新型コロナウイルスの方が検出感度が高い場合があること。

2) 時間短縮方策

施設近隣で下水検体の検査をできれば輸送時間を短縮でき、採水日当日に結果受領が可能である。今後、下水検査がより普及し、検査事業者が増加して施設近隣でも検査可能となることで、検体輸送の時間短縮が期待できる。現在は検査可能な事業者が少なく、新規参入が必要である。

サンプラーの浸漬時間の短縮や、近くの検査事業者の選択(ローカル化等)、バイク便等のチャーター便の利用により時間短縮が可能だが、精度や費用とのトレードオフの関係があり、施設のニーズに応じた選択が必要である。

採水検体の分析時間短縮には、更なる技術開発と導入が必要な側面がある(前処理を含む時間短縮・精度等)。

<関連するヒアリング結果>

- 施設担当者が採水を行うことはできる。ただし、法人や施設内に環境管理関連等の部署がないと難しいのではないかと。(施設 A:介護老人保健施設)
- 施設担当者(事務担当職員)が、1 か月実施した。1 人で採水を試行もしてみた。技術指導等を行うことで、品質確保等の観点では問題はないが、定常的にずっと続けることは、他の業務との関連の調整があり難しい面がある。(施設 U:特別養護老人ホーム(介護老人福祉施設))

結果の迅速把握の観点から、下水検体を自施設で検査したいというニーズがあり、分析作業においては感染性のあるウイルスを取扱う可能性があることから、バイオセーフティに配慮した対応が望ましい。

6.3 他の感染症等の同時検査の可能性

下水サーベイランス普及の観点から、より多くの施設において下水サーベイランスを活用可能とするために施設の感染症対策における有用性を高めることを目的に、新型コロナウイルス以外の複数病原体

の検出の実行可能性について検証した。

検査対象とする病原体としては施設のニーズを踏まえて決定する必要があり、本実証においては、採水を実施した施設(介護老人保健施設)のニーズを踏まえてノロウイルス(GⅠ、GⅡ)、インフルエンザ(A、B)、結核、レジオネラ、MRSA、肺炎球菌を検査対象の候補とした。なお、検査対象として適切と考えられる病原体は、検査を実施する時期や施設の特性(利用者の年齢層)等を踏まえて決定する必要がある。また、モニタリング検査である場合には必ずしも遺伝子検査である必要はなく、病原体によっては微生物学的検査でも良いと考えられる。

表 6-2 同時検査における検証項目

(有効性)下水から採取した試料に対するマルチプレックス検査の有効性 (検査の実現可能性と検査手法の比較)マルチプレックス検査手法の比較 (感染対策への寄与)感染者検出時の施設における感染対策に対する寄与

6.3.1 実施概要

(1) 複数病原体検査の実施施設

複数病原体検査は、施設 A(介護老人保健施設)において実施した。施設 A の施設概要は、表 6-3 の通りである。

表 6-3 複数病原体検査の実施施設「施設 A」概要

項目	施設概要
施設特性(種別)	介護施設(入居・通所)
利用者数	施設利用者【定員:入所 100 名、通所 43 名/日】 ベッド数:2 階 40 床、3 階 40 床、4 階 20 床
おむつ利用状況	昼間:トイレ 107 名、おむつ 13 名 夜間:トイレ 40 名、おむつ 40 名
従業員数	常勤職員:60 名、非常勤職員:12 名

(2) 複数病原体検査の実施方法

複数病原体検査は、施設 A において、2022 年 12 月 6 日から 2023 年 1 月 25 日まで採水した試料(8 検体)を冷凍保管後、検査事業社に冷凍輸送し検査を実施した。各検査事業者における検査対象、検査分析方法、1 検査あたりの経費及び検査を実施した試料等は表 6-4 の通りである。当初、検査対象候補としたレジオネラ、MRSA、肺炎球菌は実証事業期間内に検査事業者側の準備が間に合わない等の理由から検査対象外とした。

表 6-4 複数病原体検査を実施した検査事業社の概要

項目	検査機関 A	検査機関 B
検査対象	新型コロナウイルス、ノロウイルス (GI,GII) 計 2 種	新型コロナウイルス、ノロウイルス (GI、GII)、インフルエンザ (A、B)、結核菌群、MAC (アビウム、イントラセラー) 計 5 種
検査分析方法	RNA 検出は、QIAGEN 社 (QIAamp Viral RNA Mini Kit)、PCR 定量は、東洋紡株式会社製 (ノロウイルス定量キット) を利用	コロナ、ノロウイルス、インフルエンザは、RT-PCR 法。結核菌群、MAC (アビウム、イントラセラー) は TRC (結核菌群核酸同定) 法 (使用製品キット名非公開)。
その他	2022 年 12 月 6 日から 2023 年 1 月 9 日に採水した 4 試料を検査	2023 年 1 月 11 日から 2023 年 1 月 25 日に採水した 4 試料を検査

6.3.2 結果

検査機関 A が実施した複数病原体検査は、新型コロナウイルスは実証事業で他検査事業者が実施した検査結果と一致。ノロウイルス検査は全て陰性となった。

検査機関 B が実施した複数病原体検査は、新型コロナウイルスは実証事業で他検査事業者が実施した検査結果と一致。ノロウイルス、インフルエンザ、結核菌群は検出されず、MAC (アビウム、イントラセラー) は全て陽性となった。

複数病原体検査で実施対象とした疾病は各々症状、潜伏期間及び罹患者発見時の対応等が異なる (例、ノロウイルス 1~2 日間、レジオネラ症 2~10 日間、結核菌群半年~2 年)。このため、下水による複数病原体検査は、早期発見を主な目的とする新型コロナウイルスとは異なり、定期的にモニタリングをすることにより、施設内に潜伏している罹患者を把握することが目的として適していると考えられる。

施設とのヒアリングでは、例として、1 か月に 1 回程度のモニタリングが望ましいとの発言があった。今回の実証において技術的に下水を対象に複数病原体検査によって病原体検出の可能性があると判明した一方、検査費用が、施設経営上の負担になることが懸念され、社会的な普及に向けては、検査費用の低減を進めるほか、個々の疾病ごとの費用対効果を検証することが必要であることが考えられた。

6.4 施設における下水検査の導入・運用

本実証では、最適な検査パッケージの検討を目的としていたが、施設のニーズや施設構造、対象とする人の種類や行動パターン等によって、検査パッケージは多様である。また、有用性と費用のトレードオフの関係から、どのような検査パッケージが最適であるかは施設と事業者間のコミュニケーションの下で多様な選択肢の中から選択されることが望ましいことが明らかになった。

下水検査では、採水~輸送~検査の工程が存在する。本実証では、検査事業者主導で、調査設計~実施を行ったが、今後の社会実装を考えた場合、「採水事業者主導で実施する場合」、「検査事業者主導で実施する場合」、「施設が施設管理事業者と組んで、検査のみを実施する事業者を活用する場合」等、多様な広がりを見込める必要がある。

一般的には、下水検査の導入・運用にあたっては以下の図 6-5 の(1)~(5)のようなフローが必要と考えられる。

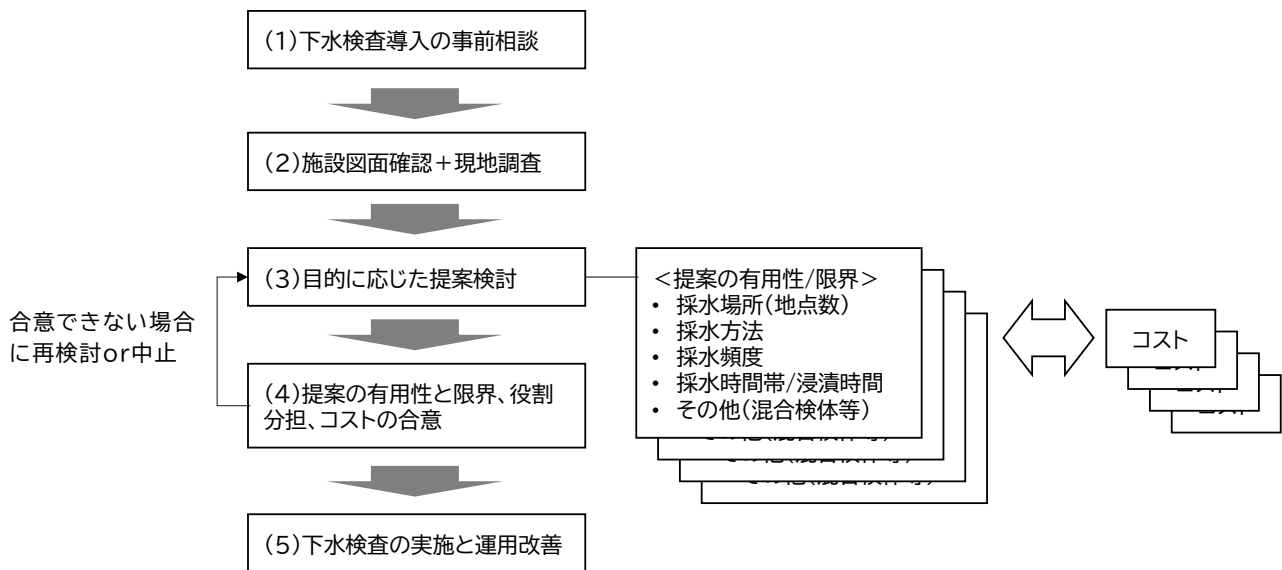


図 6-5 下水検査導入・運用フロー

(1) 下水検査導入の事前相談

下水検査は、施設の個性が強く、下水検査導入の目的や、施設の状況、施設構造によって、有用性と限界が異なることとなる。早期検知による感染対策を目的とする場合には、得られた下水検査結果を施設側に提示するだけでなく、結果の解釈とその後の対応について、検査事業者側と施設側でともに考え、効果的な対策を通じて感染拡大防止に寄与してはじめて有用となる。

従って、検査事業者と施設側は、密に情報交換を行うことが望ましく、中でも下水検査開始前のコミュニケーションが極めて重要である。例えば、施設に関連する人の動きや施設内の状況を正確に把握できていないと結果を正しく解釈することが困難となり、下水検査結果を受けた適切な対応ができなかったことで初動が遅れ、最悪の場合クラスターにまで発展するケースも考えられることから、下水検査開始前の事前相談を十分に行う必要がある。

そのために、事業者側は、施設側に下水検査の特性や限界について説明し、十分な理解を得るとともに、構造上や運用うえで下水検査を有効に活用できる施設であるかどうか、以下のような項目のヒアリングが必要である。

<施設に対するヒアリング項目例>

- 下水検査の(特性と限界の説明の後の)理解度
- 下水検査導入の目的
- 施設に関わるヒトの種類(職員、利用者(在住、通い、通いの頻度等)、定期的な外部来訪者等)と行動パターン(動線、風呂、排泄の多い時間帯等)、下水に流れるウイルスの状況、ウイルスが施設内に持ち込まれるルート等
- 現在の感染対策(健康観察、感染者発見後の対応等)
- 施設の構造、図面、その後の改築状況

施設側では、下水検査の特性や限界について、不明な点は事業者側に確認するとともに、施設の感染対策の状況(定期的なヒト検査実施の有無や頻度等を含む)や導入目的(早期検知かモニタリングか、ヒト検査との組合せをどのように考えるか等)について、できるだけ明確に伝達し、問題意識を共有することが求められる。

(2) 施設図面確認+現地調査

施設の下水検査導入目的に応じて、必要な採水を適切な場所での確に実施することが求められる。このためには、施設における採水の設計(採水地点、採水頻度、採水方法等)を適切に行うことが必要であり、加えて、排水経路を詰まらせない等採水に伴う事故防止のため、以下のように施設図面を活用しつつ、現地調査の際に合わせて確認することが望ましい。

基本的には事業者側が実施することとなるが、施設側でも現地調査への協力や、(1)を補足するヒアリングへの対応等が必要となる。

<施設図面確認+現地調査での確認事項例>

- 施設における排水経路の確認:施設図面(建物、配管)を活用しつつ、トイレや洗面所(利用者属性別)、風呂、厨房等の排水経路を確認。確認にあたっては、例えば、色水を流す等の方法を用いて実施。
- 排水経路の確認においては、流れの状況(滞留の有無等)、汚水槽の有無等を確認。歴史のある枦の場合、不明な汚水の流入が認められる場合もあり、枦内部の構造を入念に調査が必要。
- 採水地点近傍の管内をカメラ等で確認し、木の根等、流れの妨げになる可能性がある障害物を確認(下水の管内の流れの調査)

(3) 目的に応じた提案検討

施設の下水サーベイランス導入目的及び現地調査による確認を経て、誰を対象に、どのような目的で実施するかを検討し、採水地点(目的に応じてゾーニング)や採水方法、採水頻度、採水時間帯/留置時間等の検査パッケージ案の検討²⁸を行う。

例えば、高齢者施設における施設内の感染拡大防止策、感染対策強化には、下水検査における早期検知が有用であると考えられ、パッケージ案としては以下のようなものが挙げられる。

- 採水地点:職員トイレに対応するゾーニングが可能であれば、当該地点を選定、難しい場合には職員トイレを含む採水地点を選定
- 採水方法:採水地点に応じた採水方法を選択。本実証のケースでは 24 時間のトラップ(パッシブ)サンプリングとなることが多い。
- 採水頻度:施設におけるヒト検査と相互補完的に組合せる。定期的にヒト検査を実施しており、周囲の感染状況が落ち着いている場合には週 1 回~2 週に 1 回程度、お盆や正月等人流が増加すると考えられる時期等の直後には、週 2 回以上とすることが見逃し防止の観点からは望ま

²⁸ 基本的には、知見や経験を有する事業者が提案を検討するケースを想定しているが、施設側が主体的に検討する場合には(3)と(4)を合わせて実施することとなる。

しい。一方で、施設内に把握している感染者がいることが確実で、排出物が採水地点の下水に含まれる場合には、下水検査を一時休止することも考えられる。

- 下水検査で陽性が検知された場合、施設内の状況から、速やかにヒト検査、感染対策強化等の施策を実行することが重要である。
- 施設内の感染拡大防止策、感染対策強化には、下水検査における早期検知が有用である

また、病院や学校、寮等で、施設内の感染状況のモニタリング目的の場合のパッケージとしては以下のようなものが挙げられる。

- 採水地点:施設全体を網羅する採水地点を選定
- 採水方法:採水地点に応じた採水方法を選択。本実証のケースでは 24 時間のトラップ(パッシブ)サンプリングとなることが多い。
- 採水頻度:モニタリングの目的によるが、週 1 回~2 週に 1 回程度を設定し、新規感染者の有無に関わらず、継続することとなる。本実証では実施していないが、24 時間以上(2 日とか 3 日とか)の留置時間とすることも考えられる。

提案の際には、下水検査を単体で提案するのではなく、施設の感染対策あるいは事業継続計画(BCP)の一環としてどのように位置づけられるかを考慮すると、有効性が高まると考えられる。

また、検査パッケージ案は、例えば、採水頻度を上げれば、早期検知できる可能性が高まる一方、費用は高くなる等、一般に有用性は費用とトレードオフの関係にあるため、検査パッケージの項目をどのようにバランスさせるかに留意が必要である。

採水事業者が提案する場合には、検査事業者をどうするのか、必要な感度、施設からの距離、検査時間、週末・祝日等の対応も考慮して提案することとなり、検査事業者が提案する場合には、採水の担い手をどうするのか、検査事業者の採水事業者、施設に関連のある事業者(能力の確認が必要)、施設職員による採水(可能な場合)の選択肢も考慮して提案することとなる(表 6-5)。

表 6-5 下水検査における選択項目

項目	選択項目	選択項目による違い
採水地点	対象とする採水の種類、ゾーニングに関連	地点数は、費用と対象者の絞り込みのトレードオフ 下水検査の目的や把握したい内容の明確化、排水の流路調査結果が影響
採水方法	グラブサンプリングあるいはトラップ(パッシブ)サンプリングからの選択	マンホールや汚水枘の形状、深さ、流量、流速、配管の太さが影響 採取したい排水の特性(例えば、汚水槽の有無、入替時間。排水経路で常に流れるかトイレを利用した場合しか流れないか等)
採水頻度	1 週間の回数	費用に影響 頻度が多いほど、早期検知につながる 地域や施設内の感染状況に応じて柔軟な設定が可能
採水時間帯 浸漬時間	グラブサンプリング: 採水時間帯 トラップ(パッシブ) サンプリング:	グラブサンプリング:採水時間の設定の影響大 トラップ(パッシブ)サンプリング:検査結果の提供時期に影響 時間等に厳密さは求められない 把握したい内容を踏まえた対象者等の生活パターンが影響(例:職員)

	浸漬開始・終了時間	を対象とした場合、職員の休憩時間や生活リズムを考慮)
その他	混合検体	分析対象の検体数が減るため費用に影響 下水のエリアが増えるためヒト検査の絞り込みに影響

(4) 提案の有用性と限界、役割分担、費用の合意

提案の有用性と限界、施設側と事業者側の役割分担²⁹、費用を含めた協議を行い、共通認識を得ることが必要である。さらに、下水で陽性となった場合の対応(対象となるエリア、ヒト検査の方法や範囲)等の認識を一致させておくことが望ましい。

合意できない場合には、その点について(3)の提案に戻って再検討となり、合意できる余地がない場合には、下水検査の導入は中止されることとなる。

(5) 下水検査の実施と運用改善

下水検査は導入すれば終わりということではない。個々の下水検査の結果と施設の感染状況を考慮して、必要な感染防止対策を迅速に実施することはもちろんのこと、下水検査と施設の感染状況が整合しない場合には、施設における日々の健康観察の状況や外部訪問者の動向等、その原因を明らかにし、必要に応じ、採水地点や採水時間の再検討を実施することが必要である。

また、下水検査で陽性が検知された際の感染対策の効果についても、施設と事業者でコミュニケーションを行い、もし、クラスター化してしまった際には、何が原因だったか、どのような改善が可能かという協議を経て、運用の改善を行っていくことで、下水検査を活用した感染対策の高度化が進んでいくこととなる。

²⁹ 例えば、下水陽性時にその解釈や対策の要否について事業者側にコンサルテーションを求めるのか、施設が独自に判断するのか等が挙げられる。

6.5 個別施設への導入拡大と社会全体への普及に向けて

下水検査は、前項で述べたように個別施設のニーズや施設構造、対象とするヒトの種類や行動パターン等によってカスタマイズされて設計・実施されることとなるが、本実証での検討結果より表 6-6 のような課題と対応の方向性が挙げられた。

表 6-6 下水検査の普及に向けた課題と対応の方向性

課題	対応の方向性
適切な検査	<ul style="list-style-type: none"> ● 事前調査を含む下水検査パッケージの設計 ● 施設との合意、コミュニケーション
適切な報告	<ul style="list-style-type: none"> ● わかりやすく誤解のない表現 ● (必要に応じ)下水結果の解釈・コンサルテーションの実施 ● 下水検査と施設の感染状況の不整合の解釈
費用削減	<ul style="list-style-type: none"> ● 採水の人件費削減 <ul style="list-style-type: none"> - 実態に即した適正な積算に基づく価格の確認等 - 採水者へのトレーニング・育成 - 高度な技術の不要な採水機材 - 採水自動化 ● ガイドラインの見直し <ul style="list-style-type: none"> - 1名でも採水可能なケースの明確化 - PMMoV 不要なケース明確化 ● 下水検査の普及 <ul style="list-style-type: none"> - 検査費用の低減 - 複数施設の採水機会の増大

さらに、下水検査が社会に普及していくための課題とその対応としては、以下の3つが挙げられる。

(1) 導入対象候補となる施設の理解の増進

下水検査が社会に普及していくためには、導入対象候補となる施設側の理解の増進が必要である。そのためには、施設の特徴に応じて、下水検査の有用性と限界について、わかりやすい形で取りまとめ、施設側への説明資料とできることが求められる。

さらに、活用目的に応じた下水検査の活用事例を蓄積し、施設や検査事業者間で共有できるようにしていくことで、普及のための素地が拡大していくものと考えられる。

(2) 下水検査の魅力度向上

下水検査が社会に普及していくためには、一層の魅力度向上が必要である。

4.5.3 でも述べたように、下水を用いて、新型コロナ以外の感染症を含めた検査により、施設ニーズへの対応の幅が広がり、下水検査の魅力度向上につながる事が期待される。さらに、下水検査だけでなく、施設が抱える課題(例えば、下水検査結果に応じたシームレスなヒト検査や施設内の衛生管理等)に対して他のサービスも含めたパッケージを提供することでも下水検査の魅力度が向上すると考えられる。

(3) 質を確保したうえでの採水、検査の必要能力の増加

(1)、(2)が実現し、下水検査の需要が増加したとしても、それを実施する事業者の能力が不足しては、

普及にブレーキがかかることになる。逆に事業者が増加し、地域的な空白地域がなくなってくれば、施設の近隣の事業者を活用することで、下水検査の時間短縮も可能となってくる。

従って、採水、検査の両面で、新規参入業者増やすことが必要である。同時に、品質確保(含:事故防止)に向けた人材育成や技術トレーニングも業界として必要となる。人材という観点では、下水検査結果を解釈し、疫学的観点、公衆衛生的観点から施設に対してコンサルテーションをする人材が不足している点も課題である。

さらに、将来的には、下水検査でも臨床検査で求められるような精度管理、精度保証についても課題となると考えられる。

また、下水サーベイランスは感染状況や季節によって需要が大きく変動することから、事業者間の協力・連携等により、採水・輸送・検査の各段階において需要変動への対応可能性を高めることが望まれる。

付 録

1. (付録)事前調査について

1.1 施設における事前検討

現地調査はヒトの感染状況を下水で正確に捉えるために非常に重要であり、個別施設での下水検査を十分に理解している人員がこれを行う必要がある。さらに、あらゆる手段をもってしても排水のソースが発見できない場合も想定されるが、その場合には、施設側と十分に協議し、必ずしも下水とヒト検査結果が合致しない事を事前に合意しておくか、代替地点がない場合は調査を断念する判断も必要になると考えられる。

以上を踏まえ、施設での現地調査を含む採水地点の事前検討にあたっては、下記のような流れを踏むことが必要である。

- 施設における下水調査の目的、結果の活用方法等について、施設ニーズを確認するとともに、下水検査の特性や限界等を説明。
- 施設に関わる方のうち職員(職員と同様に施設内に勤務する厨房や清掃等の外部事業者のうち常駐する職員も含めて検討が必要)、利用者(入居者)について、利用特性(在住、通い、通いの頻度等)、その他出入りの人の有無を確認する。また、その方々の行動パターン(動線等)や施設内における生活時間、ウイルスが施設内に持ち込まれるルート等を確認する。
 - ・ 注意事項:職員や利用者が利用するトイレ、洗面所等の情報に加え、職員の休憩時間(職員がトイレを利用しやすい時間帯 等)や勤務動線等を確認。
- 施設における排水経路の確認:施設図面(建物、配管)を活用しつつ、トイレや洗面所(利用者属性別)、風呂、厨房等の排水経路を確認。確認にあたっては、例えば、色水を流す等の方法を用いて実施する。排水経路の確認においては、流水の多寡や遅速の状況(滞留の有無等)、汚水槽の有無、歴史のある施設の枡の場合、不明な汚水の流入が認められる場合(図 2)もあり、枡内部の構造を入念に調査する。
 - ・ 注意事項 1:図面と現況が異なる場合があることから、踏査によって視認する事が重要
 - ・ 注意事項 2:マンホール・汚水枡の蓋は、必ずしも容易に開けることができない場合もあり、様々なタイプの蓋の開封に対応できる装備で臨む必要
- 施設に関わるヒトに関する情報と排水経路の情報を確認したうえ、誰を対象に、どのような目的で実施するかを再検討し、施設と協議。そのうえで、採水地点や採水頻度(コストも考慮)を決定する。この際、市中の感染状況も配慮した柔軟な採水頻度の設定も検討が必要である。また、下水で陽性が検出された場合の対応を予め決めておくことは施設内の感染拡大防止対策に直結するために上に重要であり、採水地点に基づくヒト検査の範囲を事前に詰めておく必要がある。

なお、施設における排水経路の確認においては、下記のような点もあわせて確認することが重要である。

- 採水地点近傍の管内をカメラ等で確認し、木の根等、流れの妨げになる可能性がある障害物を確認(下水の管内の流れの調査)し、必要に応じて障害物を取り除く等の措置を行う(図 1)
 - ・ 障害物が確認された場合、サンプラーの設置により下水管が詰まり逆流することは避けなくてはならない。ただし、瞬間的に水位が上がったとしても流れが確保されている場合は特別な対応なしで採水ポイントとできる場合もあり、適宜判断する。
- 下水の汚水槽の有無や汚水槽からの排水の頻度、およその時間帯、排水量

【事例 1】

- 施設におけるトラップ(パッシブ)サンプリングについて、施設から提供された図面情報をもとにサンプラーを設置したところ、図面の数値と実際の高さの数値が異なり、サンプラーを固定するロープが長すぎたため、サンプラーが汚水槽内のポンプに巻き込まれポンプ設備を破損した。

【事例 2】

- 施設でのトラップ(パッシブ)サンプリングについて、一昼夜のサンプラー留置中に、サンプラーを固定するロープが断裂しており、サンプラーが流出した(最終的な原因は不明)。施設設備への影響はなかったものの、公共下水道に流出しており、ポンプ場や下水処理場への負荷となったと考えられるため、流出防止対策については入念に行う必要がある。

【事例 3】

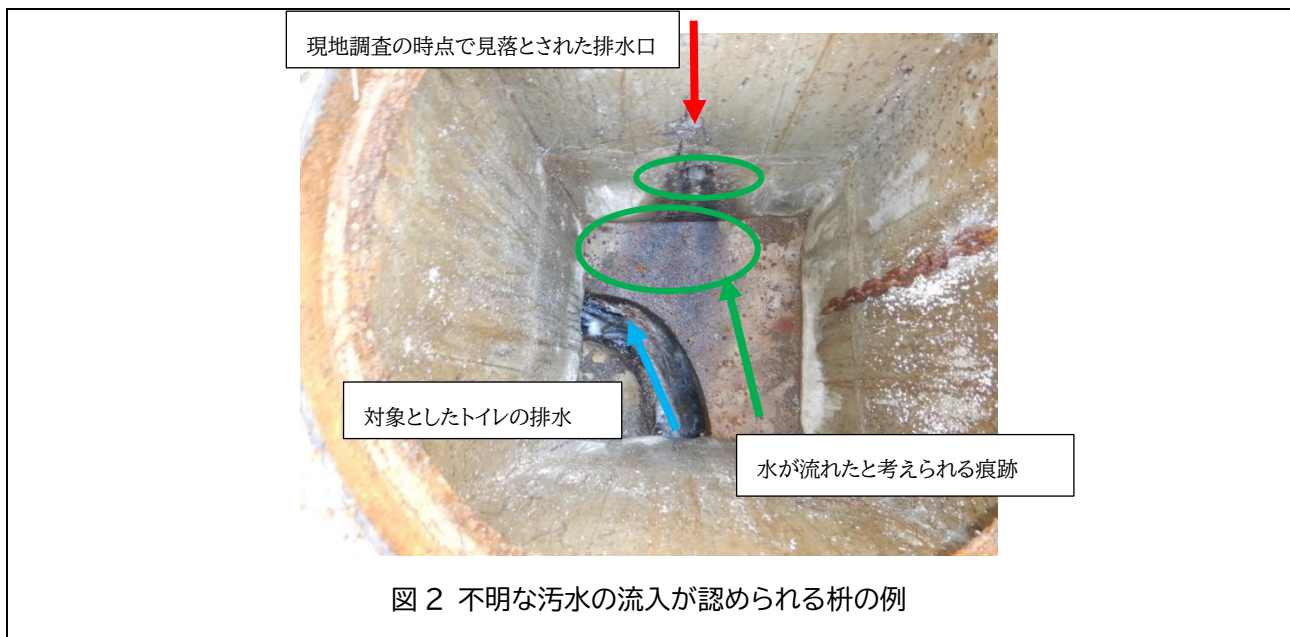
- 施設でのトラップ(パッシブ)サンプリングについて、サンプラー設置時にサンプラーを設置している流路の水位上昇、滞留が複数回発生。管路内をカメラで確認したところ、排水管を貫いた状態で木の根が入り込んで管路が狭窄されていた。施設設備への影響はなかった。



図 1 木の根が管路を狭窄している例

【事例 4】

- 本実証において、事前の施設調査での確認漏れにより次のような事例が発生している。
- 調理室からのトイレ排水のみを受けていると認識していた採水ポイントについて、ゾーニングの目的で調査対象としたが、この採水ポイントにおける下水での検出状況とヒト検査結果の不一致が複数回確認された。現地で撮影した汚水枘を確認したところ、事前調査では見落とされた排水溝が存在し、また、その採水口から排水があった痕跡があった。この排水の由来は不明であるが、これが下水とヒト検査の不一致の要因となったことが考えられた。



さらに、大型施設等の汚水槽を有するような大型のマンホールの場合は、過剰な装備により周辺住民に不安を与えないように配慮する必要があるが、作業員及び周辺の者の安全確保のため、特に下記の点に留意する必要がある。

- 事前調査や採水にあたっては、関係者以外の接近を防ぐためのバリケードや三角コーン等の設置、マンホールに落下防止の防護器具を設置する等、汚水槽への落下事故防止に努める必要がある。また、万が一、事故が発生した場合に備えて、作業にあたっては 2 人以上で実施する必要がある
- 汚水槽の近傍でマンホール内の調査を行う場合には、酸素欠乏症及び硫化水素中毒にかかるおそれがあるので酸素及び硫化水素濃度を測定する。また、作業中は常に換気を行う。具体的には、労働安全衛生法の「酸素欠乏症等防止規則」の内容をよく確認し、安全確保対策を必ず講じる。

1.2 地域特性に応じた採水における考慮事項

降雪量の多い地域では、採水地点が除雪対象外となることもあるし、マンホールの場所が融雪水の影響を受けることがある(図 3)等、地域的な特性にも留意が必要である。

雪の多い地域における採水地点の選定にあたり考慮すべきこととしては、以下のような点が考えられる。

- 雪が堆積する場所(排雪場所、屋根等から雪が落ちる場所等)
- 雪深い地域で除雪が入らない場所(採水地点まで移動が困難な場所)
- 車両等の駐車場所(冬季に通常駐車場所と異なる場合)
- 消雪パイプ等の状況(作業時に止める等の対応が可能か)

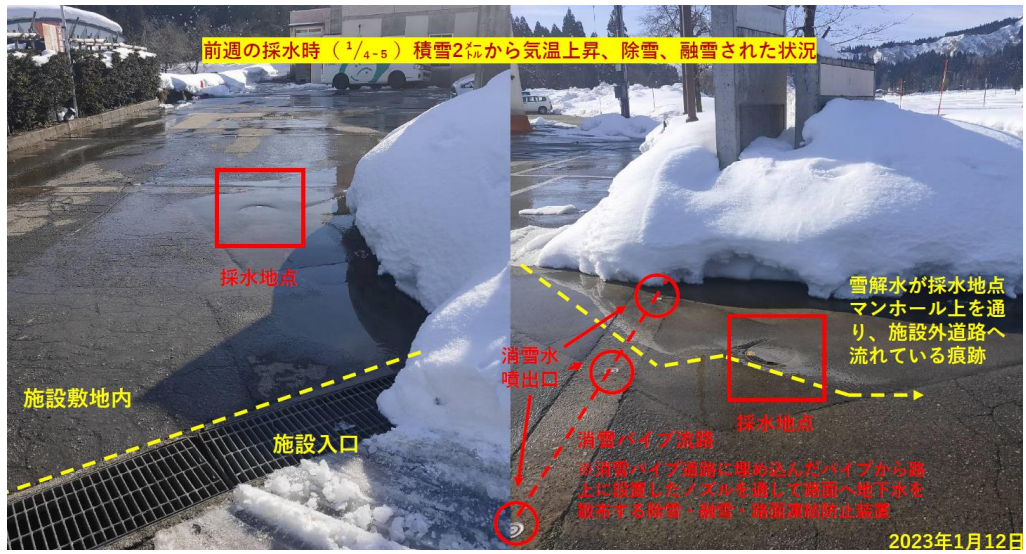


図3 降雪量の多い地域での採水地点例(施設V)