

下水汚泥の肥料利用拡大に向けた 成分分析調査結果について

国土交通省水管理・国土保全局
上下水道企画課
令和6年4月

成分分析調査の目的・概要・分析手法

目的・概要

- ◆ 国土交通省では、**2030年までに下水汚泥資源の肥料としての使用量を倍増する目標**（令和4年12月 食料安全保障強化政策大綱決定）を達成すべく、**肥料利用の拡大に向けた取組を推進**。
- ◆ 今般、計108の下水処理場の下水汚泥を対象に、肥料等試験法に定める分析法による分析調査を行うことで、**下水汚泥の肥料としての適否や成分の傾向について確認するとともに、下水汚泥の肥料利用拡大を検討する各主体の参考となる情報として整理**。

分析手法

- ◆ 下水汚泥の肥料化を検討する地方公共団体の協力を得て、右表のとおり、**肥料原料評価項目である肥料成分3項目及び重金属有害成分6項目について、成分分析を実施した**。
- ◆ 分析用試料は各地方公共団体にて分析可能な汚泥性状となるまで乾燥処理を実施した。
- ◆ **焼却灰（焼却灰）については、く溶性[※]りん酸についても分析を行った**。

※ 植物が吸収利用できる肥料成分の保証形態の一つであり、現在、りん酸、加里、苦土、マンガン及びほう素について肥料公定規格の主成分に指定されている。それぞれ2%のくえん酸水溶液に可溶の成分をいい、水溶性成分に比較して一般にやや緩効性と考えられている。
 （出典：肥料要覧-2021/2022-、一般財団法人 農林統計協会）

下水汚泥の重金属・肥料成分の成分分析調査概要

種別	脱水汚泥等	焼却灰
調査処理場数	77処理場	36処理場
分析対象	<input type="checkbox"/> 濃縮汚泥 : 1処理場 <input type="checkbox"/> 消化汚泥 : 6処理場 <input type="checkbox"/> 脱水汚泥 : 65処理場 <input type="checkbox"/> 乾燥汚泥 : 5処理場	<input type="checkbox"/> 焼却灰
採取頻度 ^{※1}	年3回（夏～冬） : 23処理場 ^{※2} 年4回（春～冬） : 54処理場 ^{※4}	年1回（冬） : 33処理場 ^{※3} 年4回（春～冬） : 3処理場 ^{※5}
分析方法	「肥料等試験法（2022）」 ※ 独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC） [http://www.famic.go.jp/ffis/fert/bunseki/sub9_shiken2022.html]	
分析項目	肥料成分	<input type="checkbox"/> 窒素全量（N）、 <input type="checkbox"/> りん酸全量（P ₂ O ₅ ）、 <input type="checkbox"/> 加里全量（K ₂ O）、 <input type="checkbox"/> く溶性りん酸 ^{※6}
	重金属	<input type="checkbox"/> 砒素（As）、 <input type="checkbox"/> ガドミウム（Cd）、 <input type="checkbox"/> ニッケル（Ni）、 <input type="checkbox"/> クロム（Cr）、 <input type="checkbox"/> 水銀（Hg）、 <input type="checkbox"/> 鉛（Pb）

※1 サンプルの採取時期は 春：令和5年5月23日～6月6日、夏7月3日～11日、秋：10月2日～25日、冬：11月1日～令和6年1月5日。
 ※2 うち、濃縮汚泥1処理場、消化汚泥3処理場、脱水汚泥19処理場
 ※3 うち、流動床炉の焼却灰31処理場、階段ストーカ炉の焼却灰1処理場、残り1処理場については流動床炉の焼却灰と階段ストーカ炉の焼却灰の両方を分析
 ※4 うち、消化汚泥3処理場、脱水汚泥46処理場、乾燥汚泥5処理場
 ※5 うち、流動床炉の焼却灰3処理場
 ※6 焼却灰についてのみ分析

〔分析結果1-1〕 肥料成分含有量(脱水汚泥等)

- ◆ 脱水汚泥等についての肥料成分の分析結果は以下のとおり。
- ◆ 77の全調査処理場のいずれの季節の分析においても、公定規格「菌体りん酸肥料」への登録条件である、りん酸全量 (P₂O₅) 含有量1.0%以上の基準を満足することが確認された。

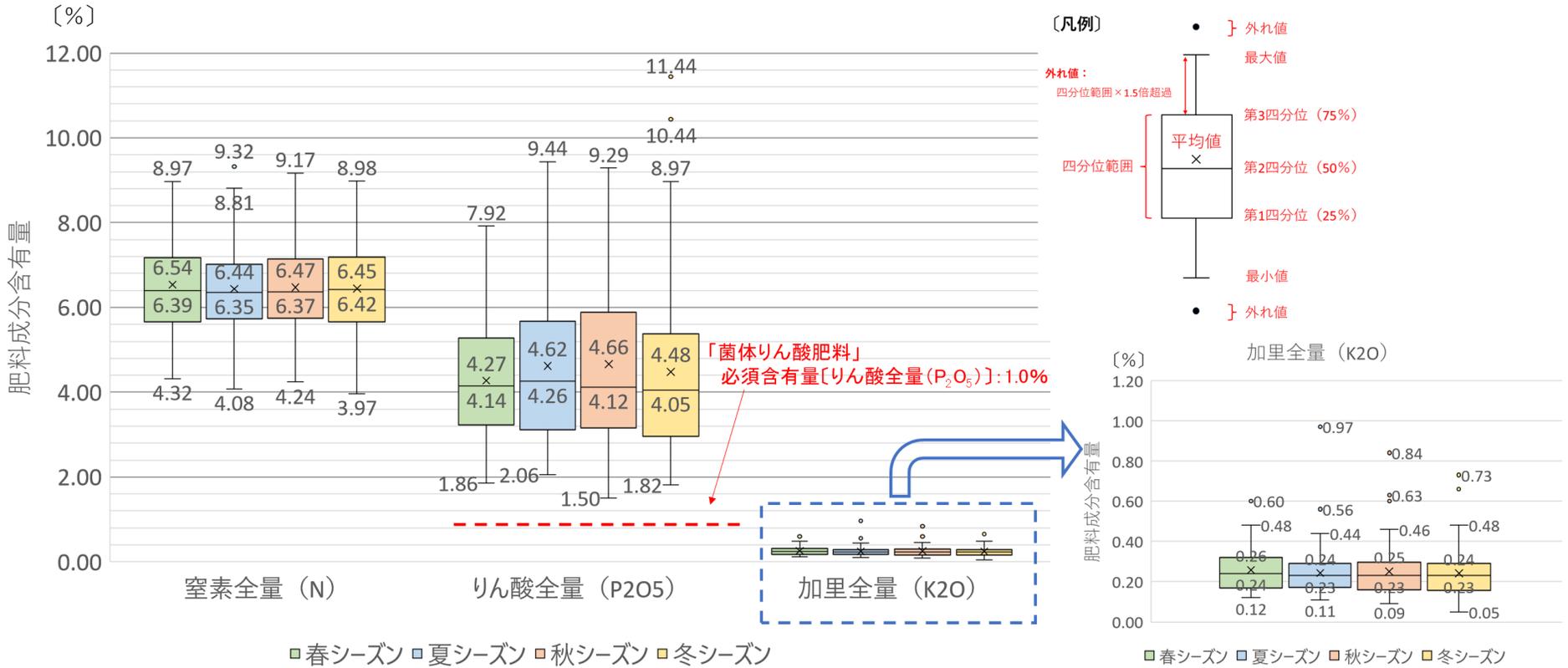


図1 調査処理場における季節別肥料成分含有量 (乾物当たり)

※ 上図が示す肥料成分含有量(%)については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた肥料成分含有量(現物値)を乾燥試料中の含有量に換算(乾物換算)している。換算式は以下のとおり。

$$\text{乾物当たりの分析値(\%)} = \text{試料の分析値(現物値)} \times 100 / [100 - \text{試料の水分含有率(\%)}]$$

※ 検体数については、春シーズン54検体、夏～冬シーズン77検体の合計285検体。

〔分析結果1-2〕 重金属含有量(脱水汚泥等)

◆ 脱水汚泥等についての重金属の分析結果は以下のとおり。

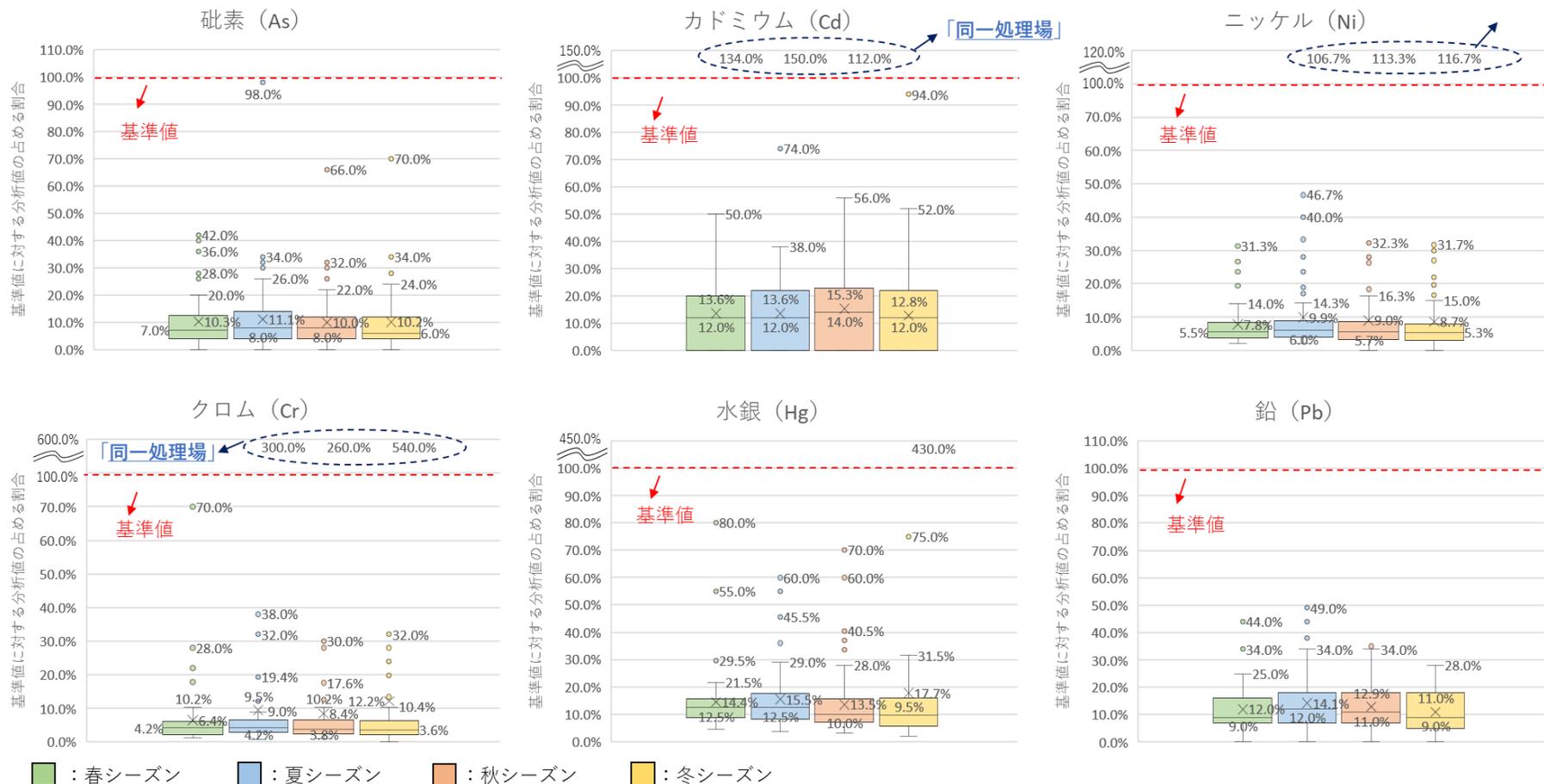


図2 調査処理場における季節別重金属含有量 (乾物当たり)

※ **基準値** : 「肥料の品質の確保等に関する法律」に定める含有を許される有害成分の最大量。

※ 上図が示す重金属含有量(%)については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた重金属含有量(現物値)を乾燥試料中の含有量に換算(乾物換算)している。換算式は以下のとおり。

$$\text{乾物当たりの分析値(\%)} = \text{試料の分析値(現物値)} \times 100 / [100 - \text{試料の水分含有率(\%)}]$$

※ 検体数については、春シーズン54検体、夏～冬シーズン77検体の合計285検体。

● 汚泥肥料中の有害成分(重金属)含有量の基準値(肥料の品質の確保等に関する法律)

有害成分項目	砒素	カドミウム	ニッケル	クロム	水銀	鉛
含有を許される有害成分の最大量(%)	0.005	0.0005	0.03	0.05	0.0002	0.01
含有を許される有害成分の最大量(mg/kg)	50	5	300	500	2	100

〔分析結果1-3〕 重金属最大含有量(脱水汚泥等)

◆ 全調査処理場77のうち73処理場（約95%）で、「肥料の品質の確保等に関する法律」（肥料法）に定める基準値以下であることが確認された。

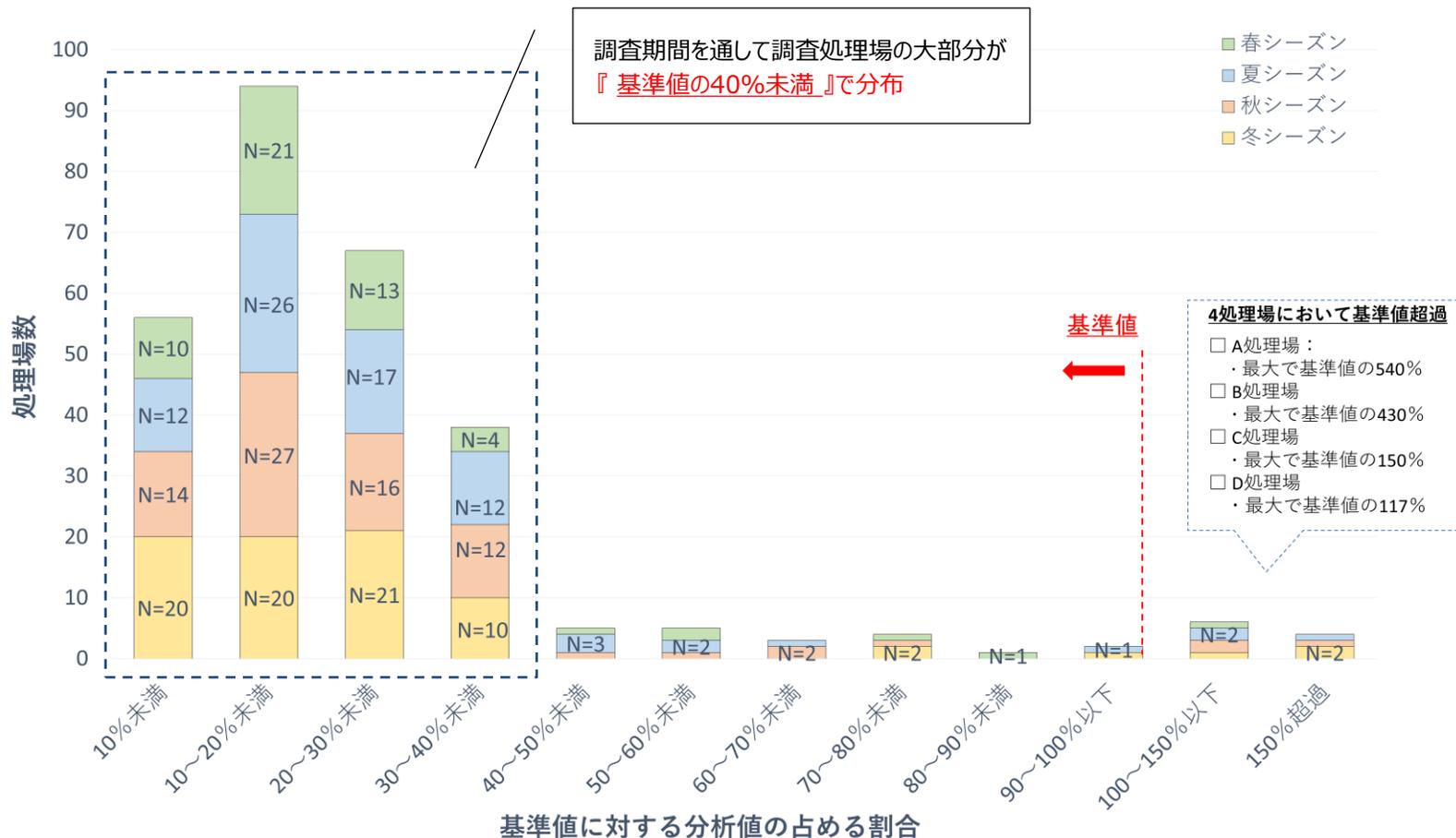


図3 調査処理場における季節別重金属最大含有量 (乾物当たり)

※ **基準値**：「肥料の品質の確保等に関する法律」に定める含有を許される有害成分の最大量。

※ 上図が示す重金属含有量(%)については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた重金属含有量(現物値)を乾燥試料中の含有量に換算(乾物換算)している。換算式は以下のとおり。

$$\text{乾物当たりの分析値}(\%) = \text{試料の分析値(現物値)} \times 100 / [100 - \text{試料の水分含有率}(\%)]$$

※ 検体数については、春シーズン54検体、夏～冬シーズン77検体の合計285検体。

〔分析結果2-1〕 肥料成分含有量(燃焼灰)

- ◆ 燃焼灰についての肥料成分の分析結果は以下のとおり。
- ◆ 窒素については焼却により含有量が大きく低下し、りん酸・カリウムについては濃縮されることが確認された。

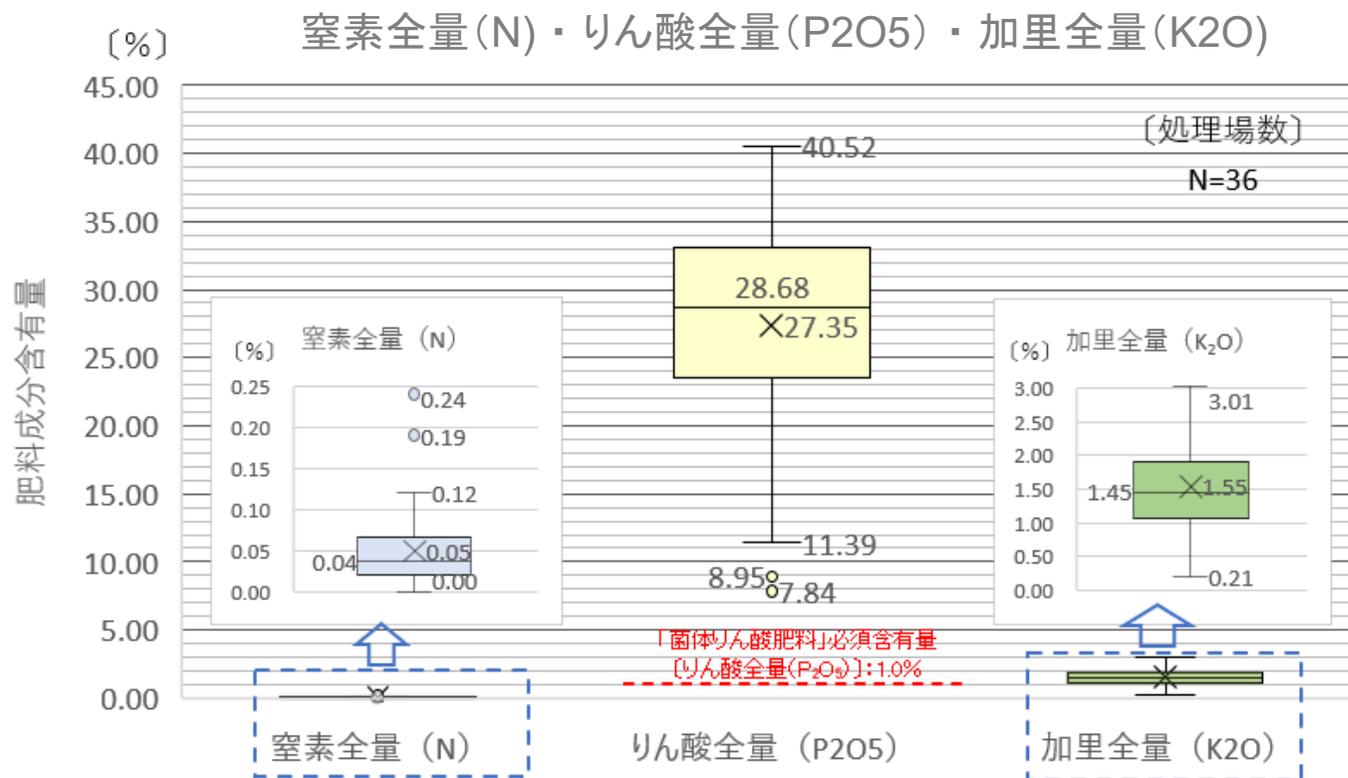


図4 調査処理場における肥料成分含有量 (乾物当たり)

※ 上図が示す肥料成分含有量〔%〕については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた肥料成分含有量(現物値)を乾燥試料中の含有量に換算(乾物換算)している。換算式は以下のとおり。

乾物当たりの分析値〔%〕 = 試料の分析値(現物値) × 100 / [100 - 試料の水分含有率(%)]

※ 年4回分析を行った3処理場については分析値の平均を代表値とし、冬に1度のみ分析を行った33処理場の分析値と合わせて上図を作成。

※ 流動床炉の燃焼灰と階段ストーカ炉の燃焼灰の両方を分析した1処理場については、成分それぞれの平均を代表値とし、上図を作成。

〔分析結果2-2〕 く溶性りん酸について(燃焼灰)

◆ 燃焼灰についてのりん酸（全量、く溶性）の分析結果は以下のとおり。

- ・全調査処理場のうち約40%以上の処理場において、く溶性りん酸の含有量が12%以上*と高濃度に含有されていることが確認された。
- ・全調査処理場のく溶性（く溶性りん酸量／りん酸全量）については、平均約47%の割合であった。

* 熔成複合肥料（複合肥料）の肥料原料としての基準値

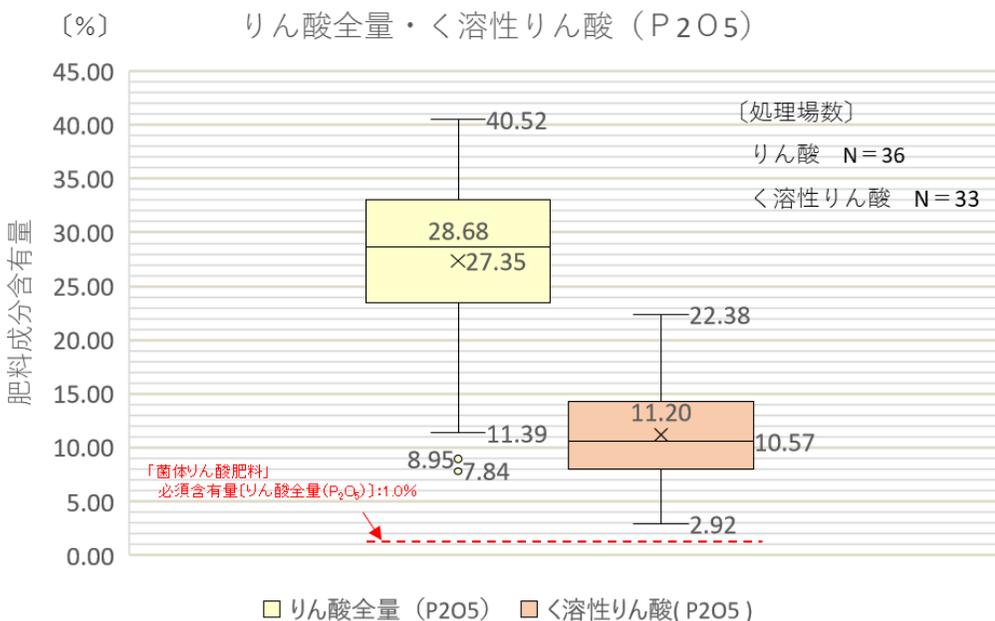


図. 調査処理場におけるりん酸（全量、く溶性）含有量（乾物当たり）

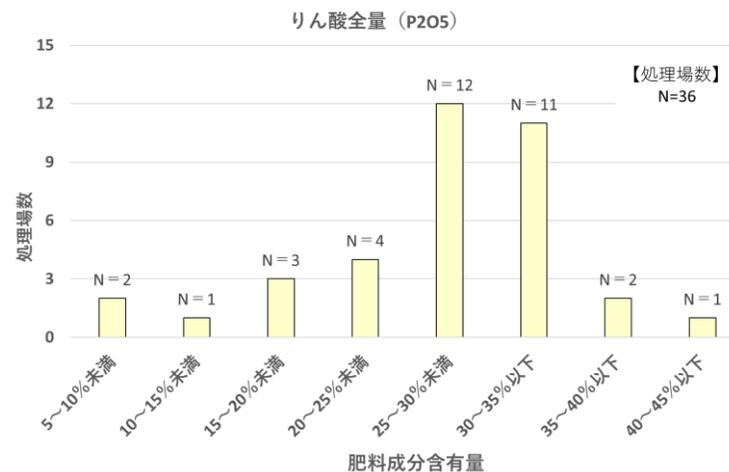


図. りん酸全量の含有量別処理場数（乾物当たり）

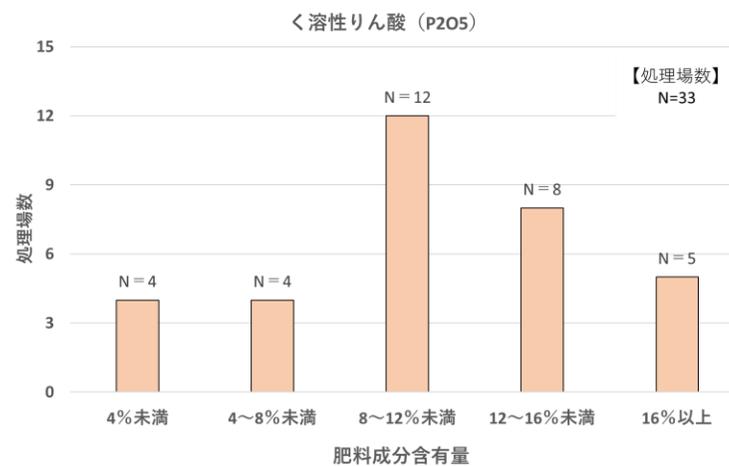


図. く溶性りん酸の含有量別処理場数（乾物当たり）

※ 上図が示す肥料成分含有量〔%〕については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた重金属含有量〔現物値〕を乾燥試料中の含有量に換算（乾物換算）している。換算式は以下のとおり。

乾物当たりの分析値〔%〕 = 試料の分析値（現物値） × 100 / [100 - 試料の水分含有率（%）]

※ りん酸全量：年4回分析を行った3処理場については分析値の平均を代表値とし、冬に1度のみ分析を行った33処理場の分析値と合わせて図を作成。

※ 流動床炉の燃焼灰と階段ストーカ炉の燃焼灰の両方を分析した1処理場については、成分それぞれの平均を代表値とし、上図を作成。

※ く溶性りん酸：冬に1度のみ分析を行った33処理場の分析値により図を作成。

〔分析結果2-3〕 重金属含有量(燃烧灰)

- ◆ 燃烧灰についての重金属の分析結果は以下のとおり。
- ◆ 全調査処理場36のうち27処理場（約75%）で、肥料法に定める基準値以下であることが確認された。

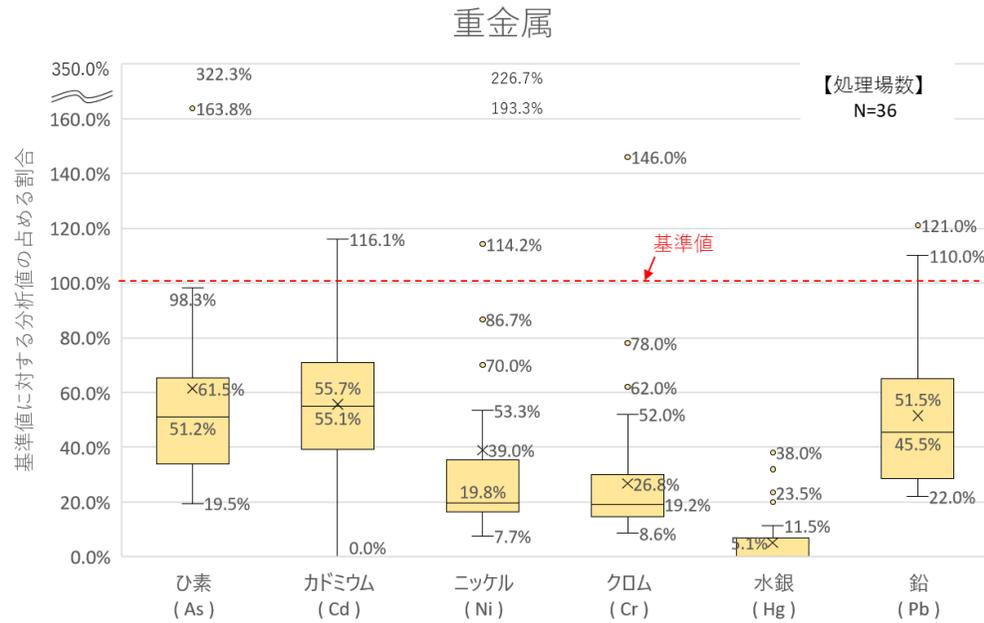


図5 調査処理場における重金属含有量（乾物当たり）

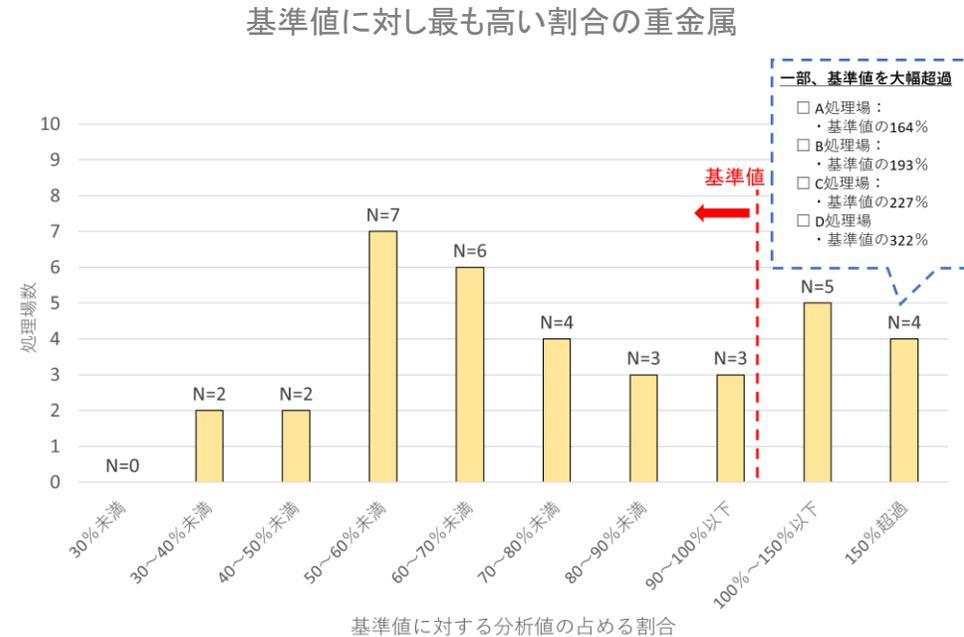


図6 調査処理場における重金属最大含有量（乾物当たり）

● 汚泥肥料中の有害成分（重金属）含有量の基準値（肥料の品質の確保等に関する法律）

有害成分項目	砒素	カドミウム	ニッケル	クロム	水銀	鉛
含有を許される有害成分の最大量 (%)	0.005	0.0005	0.03	0.05	0.0002	0.01
含有を許される有害成分の最大量 (mg/kg)	50	5	300	500	2	100

- ※ **基準値**：「肥料の品質の確保等に関する法律」に定める含有を許される有害成分の最大量。
- ※ 上図が示す重金属含有量(%)については、FAMICの定める「肥料等試験法」により試料中の水分を同時に測定し、分析して得られた重金属含有量〔現物値〕を乾燥試料中の含有量に換算（乾物換算）している。換算式は以下のとおり。

$$\text{乾物当たりの分析値(\%)} = \text{試料の分析値(現物値)} \times 100 / [100 - \text{試料の水分含有率(\%)}]$$

※ 年4回分析を行った3処理場については分析値の平均を代表値とし、冬に1度のみ分析を行った33処理場の分析値と合わせて上図を作成。

※ 流動床炉の燃烧灰と階段ストーカ炉の燃烧灰の両方を分析した1処理場については、成分それぞれの平均を代表値とし、上図を作成。

下水汚泥の重金属・肥料成分の成分分析結果について

結果

◆ 脱水汚泥等（54処理場について年4回、23処理場について年3回、合計77処理場で分析を実施）

- ・ 年間の肥料成分割合の変動は軽微であり、概ね窒素全量については5～8%前後、りん酸全量については3～8%前後、加里全量については0.2～0.4%前後であった。
- ・ 年間の重金属割合の変動は軽微であった。また、特定の重金属について、肥料法の基準値を超える値が4処理場で確認された一方、73処理場（全体の約95%）については、年間を通じた4回程度の調査のいずれにおいても肥料法における基準値以下であった。

◆ 燃焼灰（3処理場について年4回、33処理場について年1回、合計36処理場で分析を実施）

- ・ 肥料成分については、概ね窒素全量については0～0.1%前後、りん酸全量については20～35%前後、加里全量については1～2%前後であった。
- ・ 重金属については、27処理場（全体の約75%）において肥料法の基準値以下、21処理場（全体の約60%）において基準値の8割未満であった。

考察

◆ 脱水汚泥等

- ・ 脱水汚泥等の肥料成分については、窒素、りんが多く含まれる一方、カリウムについてはほとんど含有されていないことが明らかになった。りん酸全量については「菌体りん酸肥料」の基準値を上回ることが基本的に期待されることから、他の肥料と混合可能である「菌体りん酸肥料」の規格に登録し、カリウムを補う肥料と混合することが、有効な活用方法の一つと考えられる。
- ・ 重金属については基準値を下回る場合がほとんどであり、季節変動も軽微であると考えられることから、肥料原料としての適否に関しては問題がない場合が多いと考えられる。一方で、年間を通して特定の重金属について高い値の出る場合も有るため、適否を考えるにあたっては、実際に分析を行うこと、適切な下水処理場の汚泥を選定することが重要である。
- ・ 季節変動については軽微であるが、通常低い割合であった重金属についても高い値が検出される場合が稀に有ることや、分析データの蓄積により肥料原料としての性質把握を確実にしていくための観点から、継続的なモニタリングの実施が重要である。

◆ 燃焼灰

- ・ 燃焼灰の肥料成分については、りんが多く含まれ、カリウムについても一定程度含まれ、窒素についてはほとんど含まれないことが明らかになった。「菌体りん酸肥料」の規格に登録し、りん酸の豊富な肥料として、他の肥料と混合することが、有効な活用方法の一つと考えられる。
- ・ 脱水汚泥等の結果と比較すると、りん・カリウムについては濃縮され、窒素については大きく低減することが明らかになった。これは、燃焼により、汚泥の大部分を占める有機成分が分解・気化する過程で、窒素については炭素等同様に低分子化して揮発する一方、りん・カリウムについては酸化しても燃焼灰へ残るためと考えられる。また、重金属についてもりん・カリウム同様に濃縮されることが改めて明らかになった。なお、水銀については揮発し、ほとんど含まれなくなると考えられる。
- ・ 重金属については、基準値を下回る場合、上回る場合、どちらも十分に考えられることから、肥料原料としての適否を考えるにあたっては、実際に分析を行うこと、適切な下水処理場の燃焼灰を選定することが重要であり、また、脱水汚泥等と同様に、継続的なモニタリングの実施も重要である。

【参考】 調査対象処理場について

◆ 全国の下水処理場と脱水汚泥等の成分分析調査の対象となった下処理場について、処理規模ごとの分布は以下のとおり。すべての処理規模（晴天時日平均下水量）に対して、累計割合が0~10%の範囲に分布している。

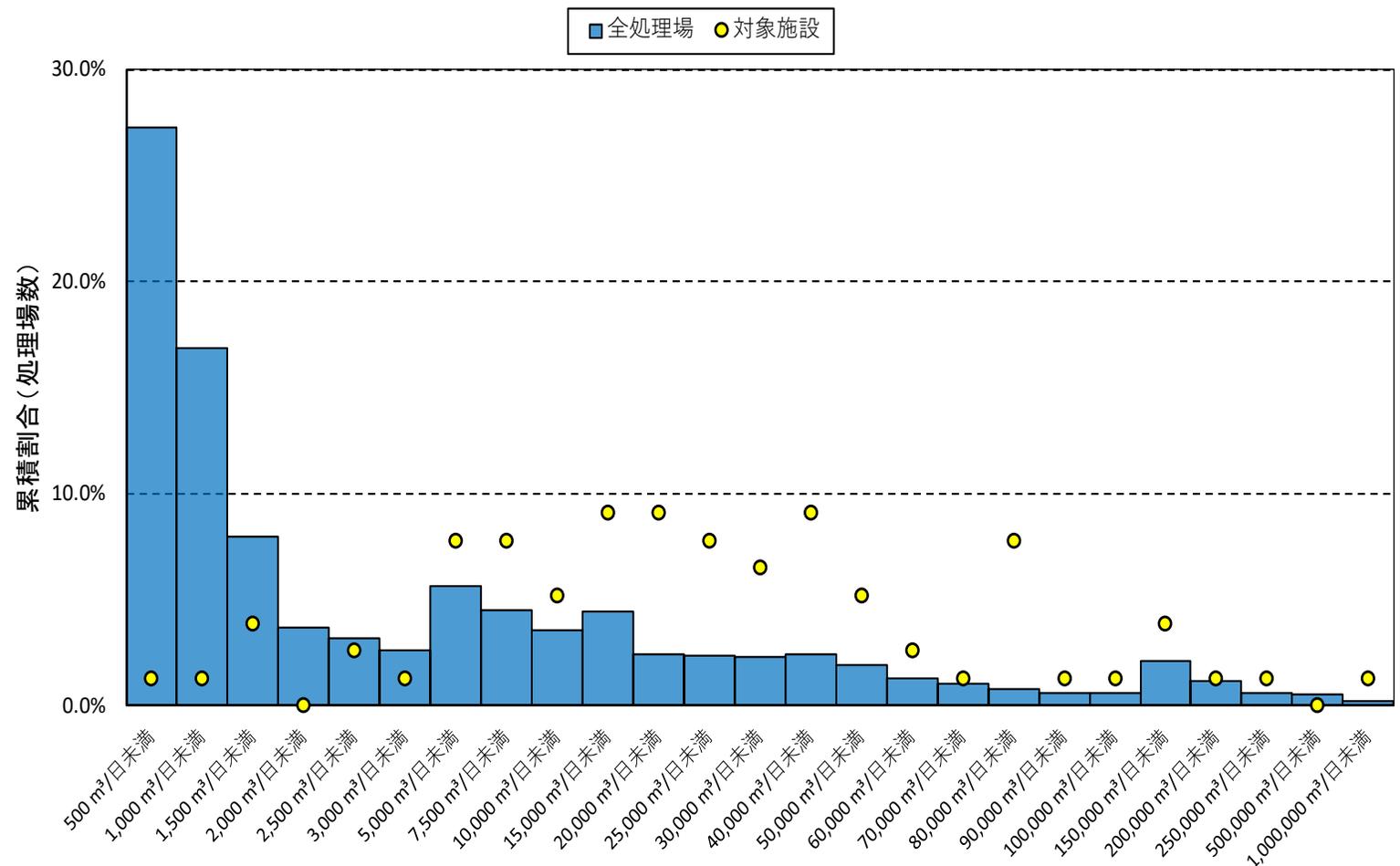


図 処理規模（晴天時日平均下水量）別の処理場数

※ 処理規模は、下水処理場への晴天時平均下水量を使用

※ 全処理場数は「R2年度下水道統計」（日本下水道協会）より参照した2122処理場。対象施設は、脱水汚泥等の成分分析の対象となった77処理場