

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7年6月

〔目次〕

1. 成分分析調査の目的・概要・分析手法
2. 分析結果 1 - 1 ～ 4 （脱水汚泥等の肥料成分・重金属含有量等）
3. 分析結果 2 - 1 ～ 3 （燃焼灰の肥料成分・重金属含有量等）
4. 考察
5. 〔参考資料〕
 - － 脱水汚泥の重金属含有量について
 - － 燃焼灰の重金属含有量について
 - － 燃焼灰の鉄・アルミについて
 - － 連続サンプリングについて
 - － 微量成分等の詳細分析について
 - － 肥料等試験法と下水試験法の結果の比較
 - － 調査対象処理場の分布

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47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項目に加え、く溶性りん酸※および重金属有害成分6項目について、成分分析を実施した**。
- ◆ 脱水汚泥等については、**亜鉛全量、石灰全量、銅全量、** 焼灰については、**鉄全量、アルミニウム**も分析を行った。
- ◆ 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。

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	焼灰
調査処理場数		34処理場	27処理場
分析対象		☐ 消化汚泥：1処理場 ☐ 脱水汚泥：29処理場 ☐ 乾燥汚泥：3処理場 ☐ 炭化汚泥：1処理場	☐ 焼灰
採取頻度※1		年2回（秋～冬）：1処理場※2 年4回（春～冬）：33処理場※3	年1回（夏）：13処理場※4 年4回（春～冬）：14処理場※5
分析方法		「肥料等試験法（2023）」 ※ 独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）	
分析項目	肥料成分	☐ 窒素全量（N）、 ☐ りん酸全量（P ₂ O ₅ ）、 ☐ 加里全量（K ₂ O）、 ☐ く溶性りん酸	
	重金属	☐ 砒素（As）、 ☐ カドミウム（Cd）、 ☐ ニッケル（Ni）、 ☐ クロム（Cr）、 ☐ 水銀（Hg）、 ☐ 鉛（Pb）	
	その他成分	☐ 亜鉛全量（Zn） ☐ 石灰全量（CaO） ☐ 銅全量（Cu）	☐ 鉄全量（Fe） ☐ アルミニウム（Al）

※ 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）

※1 サンプルの採取時期は、春：令和6年5月21日～6月12日、夏：令和6年7月1日～30日／8月13日～26日（※4について）
秋：令和6年10月1日～31日、冬：令和6年11月1日～12月4日。

※2 脱水汚泥1処理場。

※3 消化汚泥1処理場、脱水汚泥28処理場、乾燥汚泥3処理場、炭化汚泥1処理場。

※4 うち、流動床炉の焼灰は12処理場、階段ストーカ炉の焼灰1処理場。

※5 流動床炉の焼灰14処理場。

〔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。

- 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（ P_2O_5 ）含有量1.0%以上の基準を満足することが確認された。
- 年間の肥料成分割合の変動は軽微であり、窒素全量については6.0%前後、りん酸（全量、く溶性）についてはそれぞれ4.5%と3.0%前後、加里全量については0.2%前後であった。

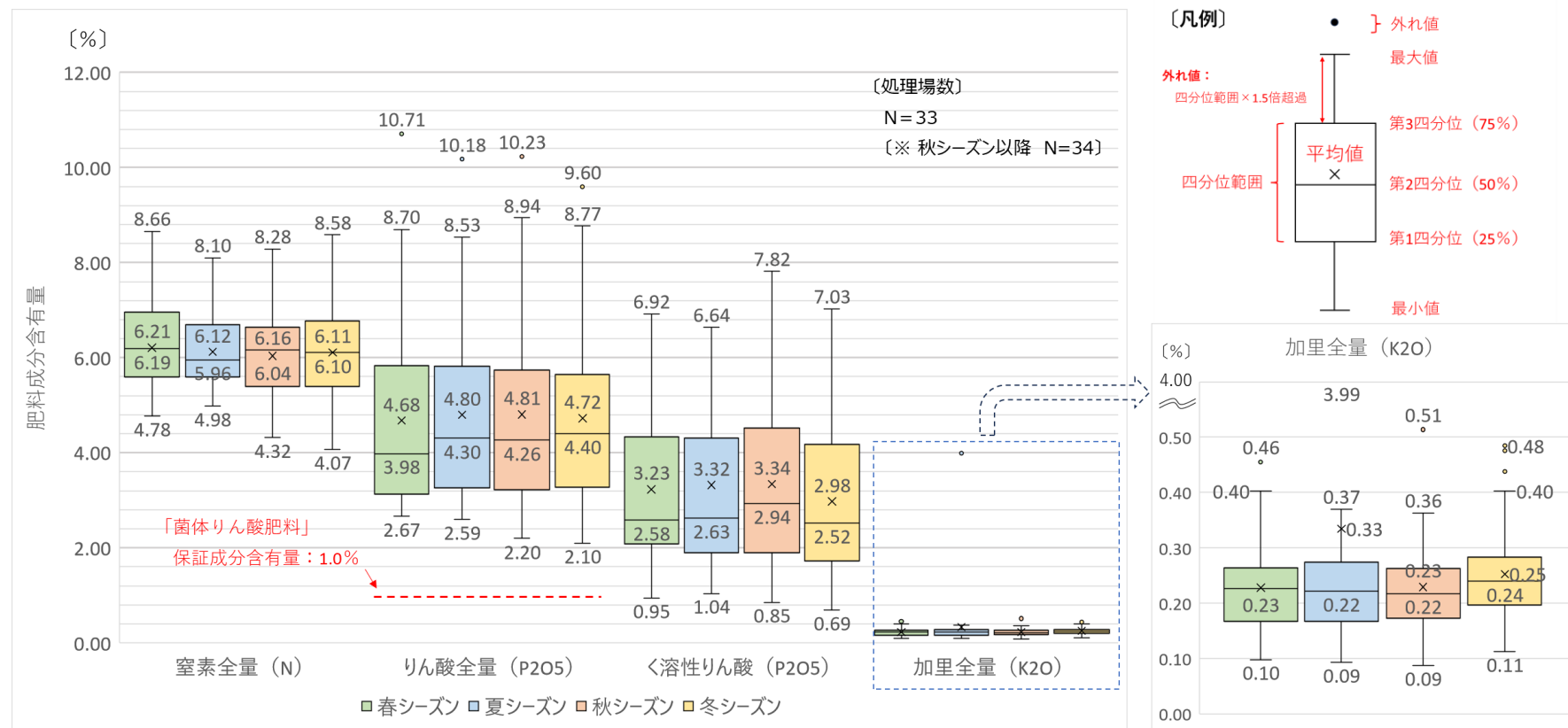


図1 調査処理場における季節別肥料成分含有量（乾物当たり）

※ 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～夏シーズン33検体、秋～冬シーズン34検体の合計134検体。

〔分析結果1-2〕＜溶性りん酸について（脱水汚泥等）＞

- ◆ 脱水汚泥等についてのく溶率（全量、く溶性）の分析結果は以下のとおり。
- ・ 全検体のく溶性（く溶性りん酸量／りん酸全量）については、平均約65%の割合であった。
- ・ 全検体のうち約7割の検体において、く溶率（く溶性りん酸量／りん酸全量）が60%以上であった。

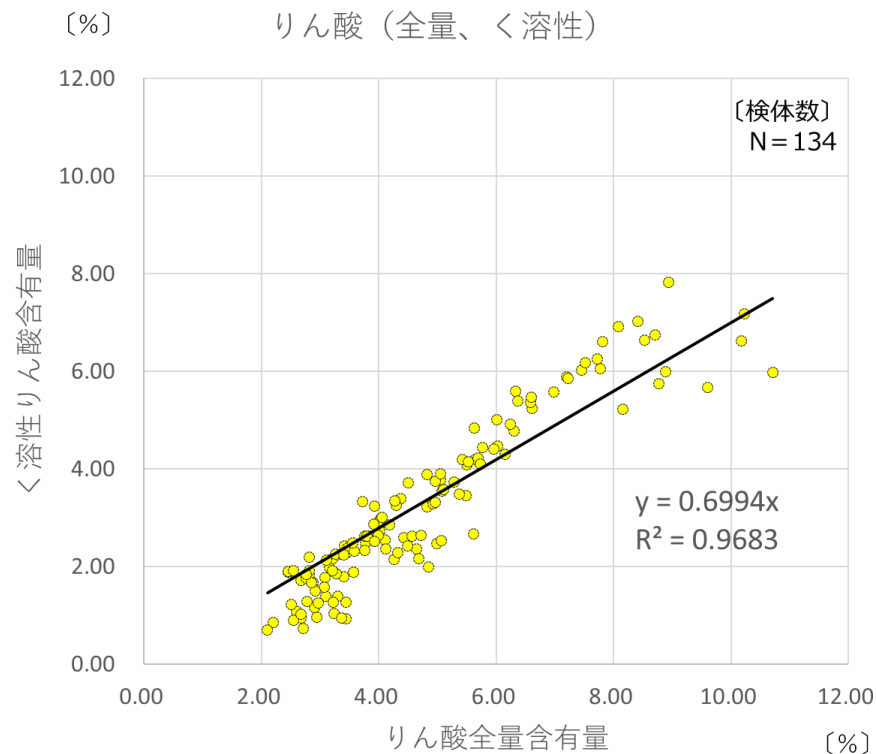


図2. 調査処理場におけるりん酸（全量、く溶性）含有量（乾物当たり）

※ 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（%）]

※ ※ 検体数については、春～夏シーズン32検体、秋～冬シーズン33検体の合計130検体。

炭化汚泥については、脱水汚泥と性状が異なるため除外した。

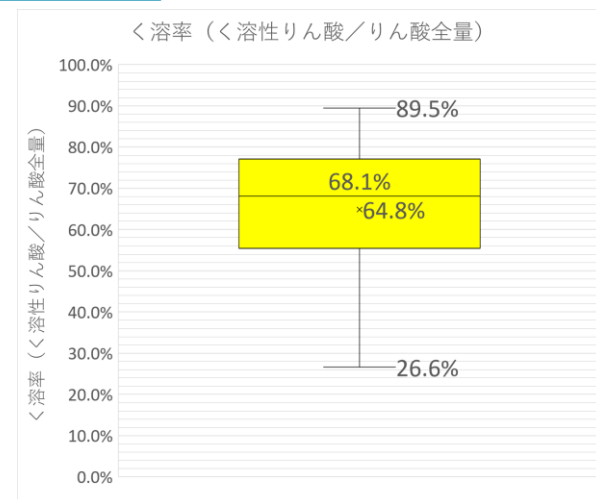


図3. 調査処理場におけるく溶率（乾物当たり）

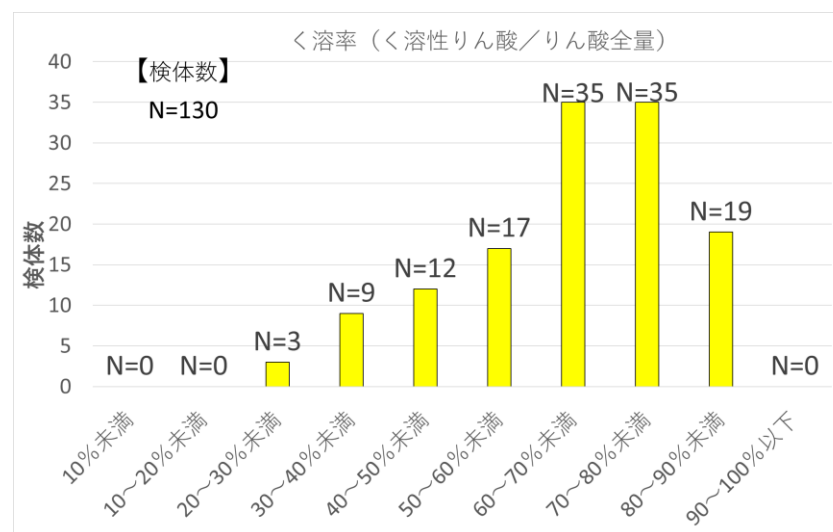


図4. く溶率の割合別検体数（乾物当たり）

[分析結果1-3] 重金属最大含有量(脱水汚泥等)

◆ 全調査処理場のいずれの季節の分析においても、「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。
※詳細は参考 1 を参照。

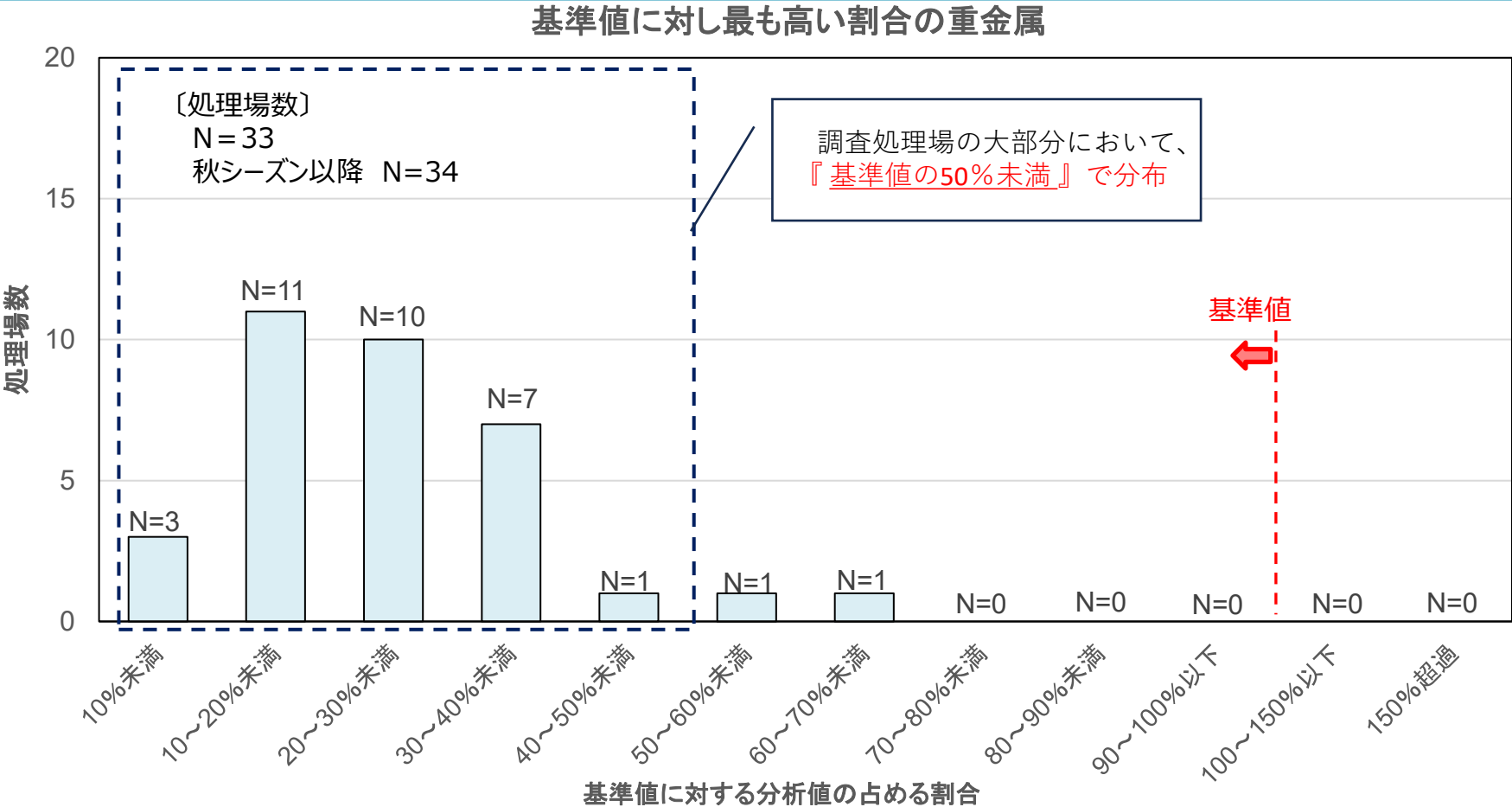


図5 調査処理場における季節別重金属最大含有量（乾物当たり）

※ **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～夏シーズン33検体、秋～冬シーズン34検体の合計134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1-4] 石灰・亜鉛・銅含有量(脱水汚泥等)

◆ 石灰全量、亜鉛全量、銅全量の分析結果は以下のとおり。

〔処理場数〕
N = 33

〔※ 秋シーズン以降 N = 34〕

----- : 表示基準値

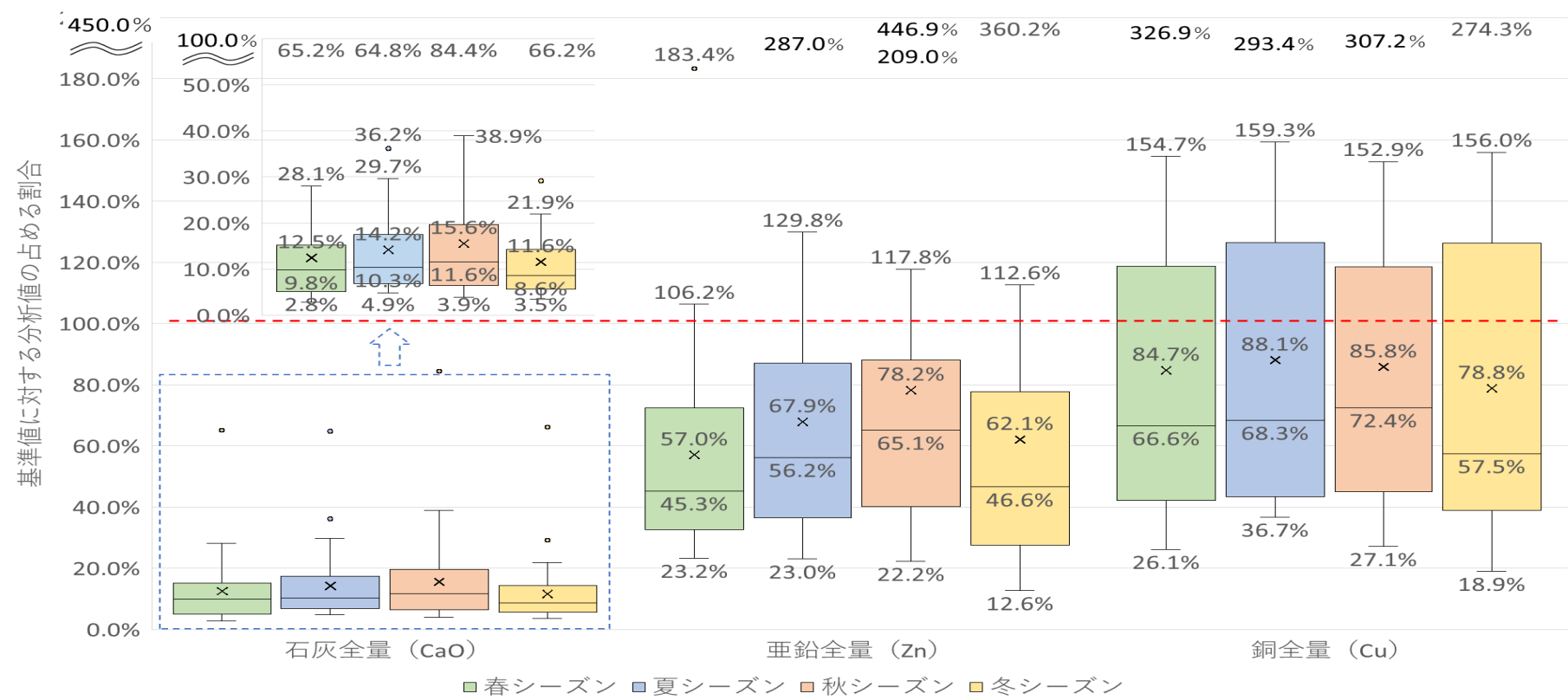


図6. 調査処理場における季節別石灰・亜鉛・銅全量含有量 (乾物当たり)

※ 表示基準値: 「肥料の品質の確保等に関する法律」に定める肥料表示義務のある主成分の最小量。

※ 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～夏シーズン33検体、秋～冬シーズン34検体の合計134検体。

● 表示義務のある主成分含有量の基準値 (肥料の品質の確保等に関する法律)

主成分項目	石灰全量	亜鉛全量	銅全量
肥料表示義務のある主成分の最小量	15.00 %	0.09 %	0.03 %
肥料表示義務のある主成分の最小量	150 g/kg	900 mg/kg	300 mg/kg

〔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。

- 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。
- 概ね窒素全量については0.10%前後、りん酸（全量、く溶性）についてはそれぞれ28.0%と12.0%前後、加里全量については1.50%前後であった。

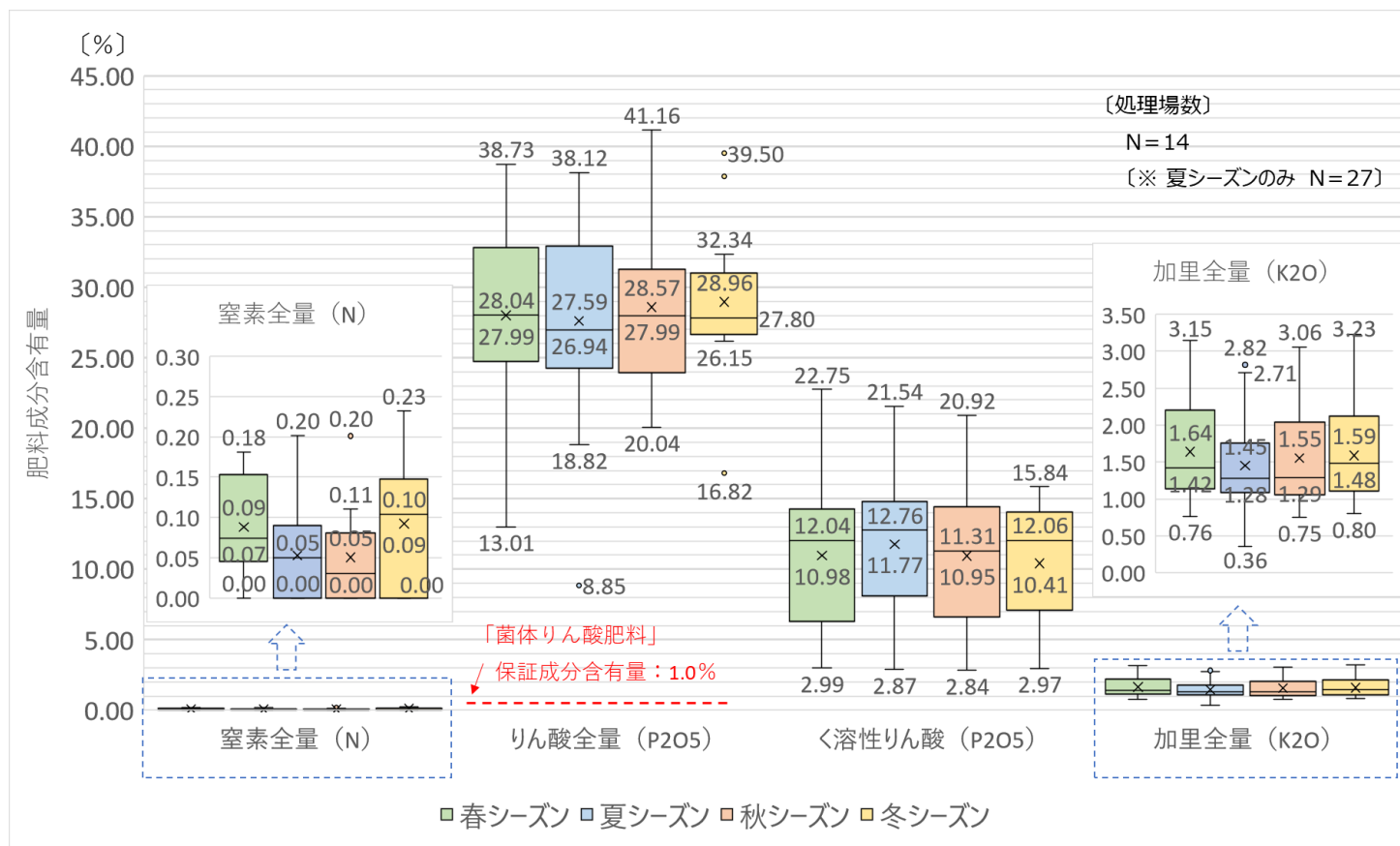


図7. 調査処理場における季節別肥料成分含有量（乾物当たり）

※ 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14検体、夏シーズン27検体、秋～冬シーズン14検体の合計69検体。

〔分析結果2-2〕＜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、＜溶性）の分析結果は以下のとおり。
- ・ 全検体の＜溶率（＜溶性りん酸量／りん酸全量）＞については、平均約42%の割合であった。
- ・ 全検体のうち約8割の検体において、＜溶率（＜溶性りん酸量／りん酸全量）＞が60%未満であった。

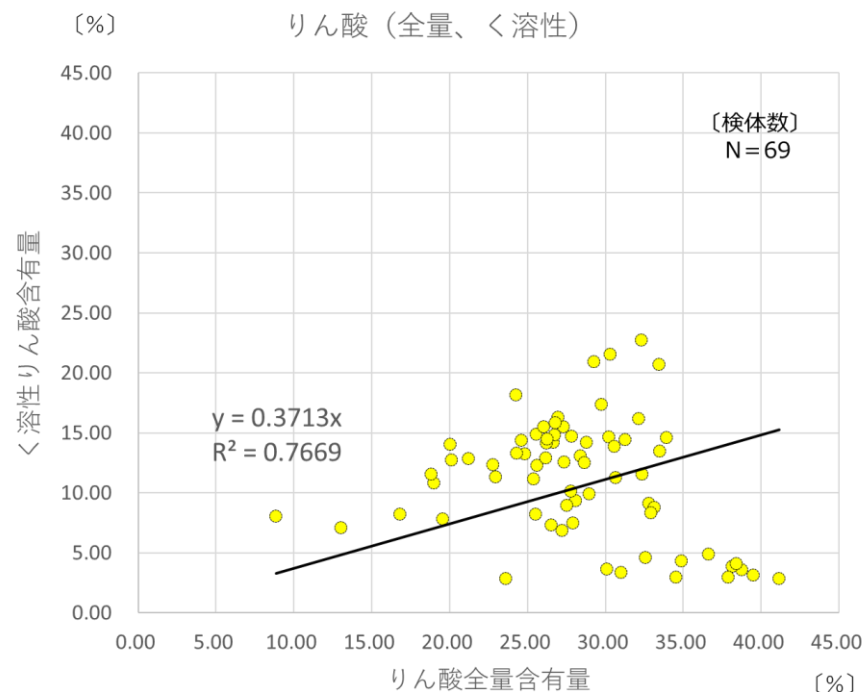


図8. 調査処理場におけるりん酸（全量、＜溶性）含有量（乾物当たり）

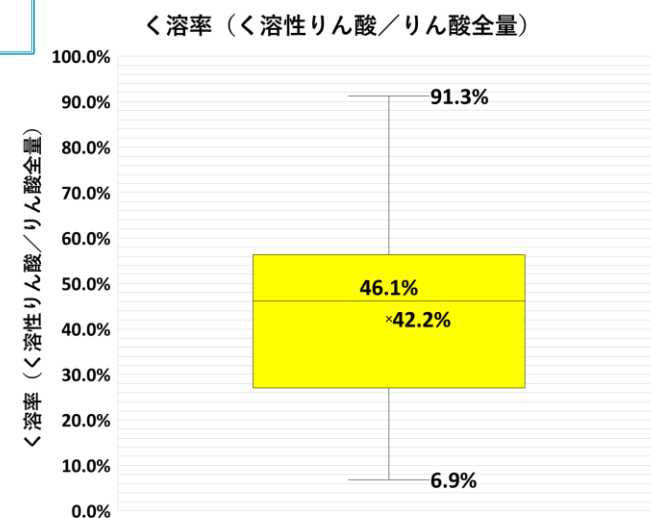


図9. 調査処理場における＜溶率（乾物当たり）

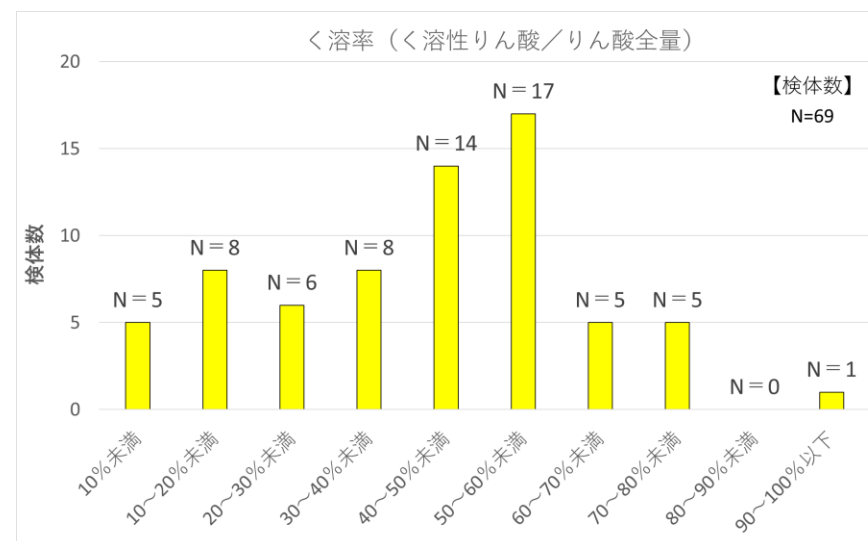


図10. ＜溶率の割合別検体数（乾物当たり）

※ 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（%）]

※ 検体数については、春シーズン14検体、夏シーズン27検体、秋～冬シーズン14検体の合計69検体。

〔分析結果2-3〕 重金属最大含有量(燃烧灰)

- ◆ 調査を実施した27処理場のうち15処理場（全体の約56%）において、「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。なお、基準値を超えた処理場の特性について確認したところ、主に、自然由来の重金属の影響が考えられる。
- ◆ 燃烧灰の肥料利用を検討するに当たっては、重金属について実際に分析を行い、肥料原料としての適否を確認し、適切な下水処理場の燃烧灰を選定することが重要。

※詳細は参考 2 を参照

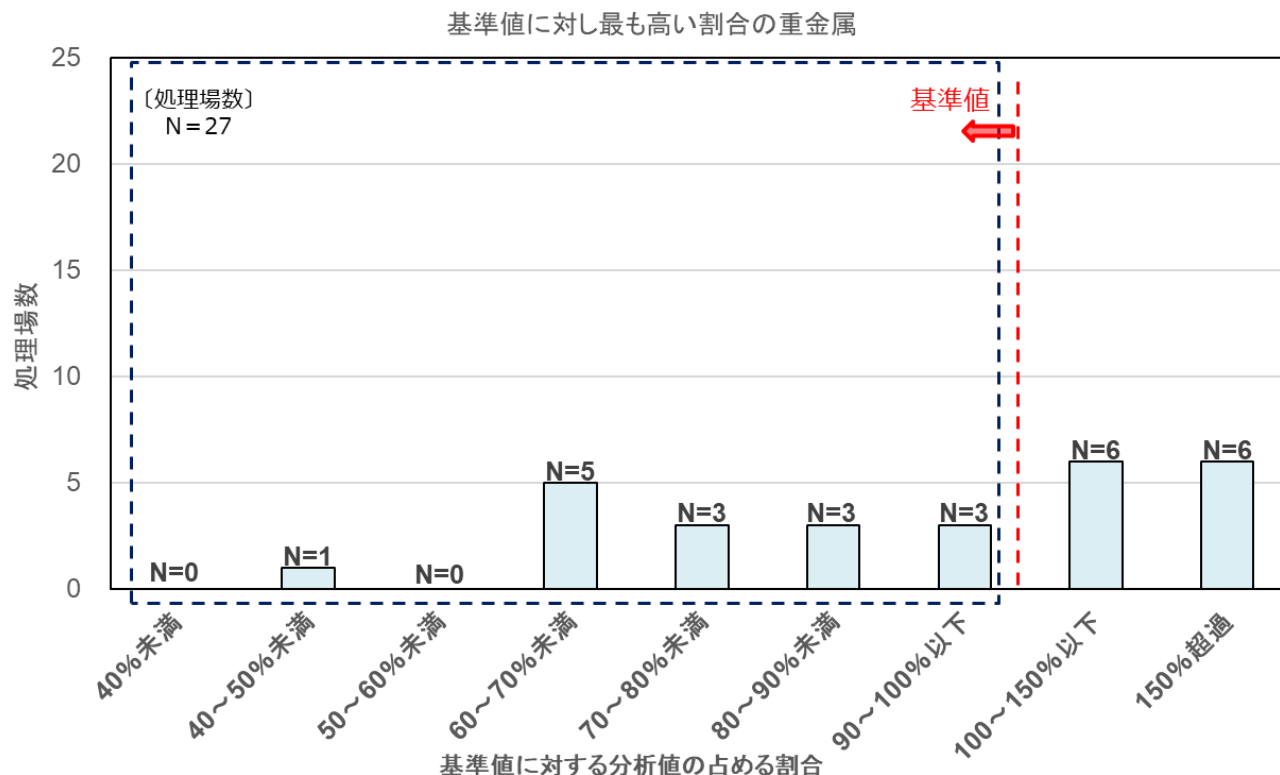


図11. 調査処理場における重金属最大含有量（乾物当たり）

※ **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～冬シーズン14検体の合計56検体。

〔考察〕下水汚泥の重金属・肥料成分の成分分析結果について

◆ 脱水汚泥等（33処理場について年4回、1処理場について年2回、合計34処理場で分析を実施）

- 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確認された。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であると考えられる。
- 重金属については全調査処理場において、いずれの季節も基準値以下であり、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、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。
- 脱水汚泥等のく溶率（く溶性りん酸／りん酸全量）について、平均65%程度であった。焼却前の汚泥では、有機態のりん酸として存在し、く溶率が高くなっていることが可能性として考えられる。
- 濃度が一定以上の場合表示義務のある石灰、亜鉛、銅については、石灰はいずれの分析でも表示基準値を下回ったものの、特に亜鉛、銅は表示基準値を上回る場合が確認された。肥料化に当たっては実際に分析を行い、確認することが重要である。※表示基準値は現物量当たりの含有に対するものであり、本分析結果は乾物量当たりの含有であることに留意。

◆ 燃焼灰（14処理場について年4回、13処理場について年1回、合計27処理場で分析を実施）

- 燃焼灰の肥料成分については、りん酸（く溶性、全量）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確認された。「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であると考えられる。
- 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確認された。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・ガス化する過程で、窒素については炭素等同様に低分子化してガスに移行する一方、りん・カリウムについてはガス化せず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傾向が確認された。なお、水銀については沸点が焼却温度よりも低いことから、ガスに移行すると考えられたが、基準値付近の値を示した検体が確認された。これは、焼却炉内にて気化していた水銀が集塵装置内での温度低下により灰表面に凝縮したことが可能性の一つとして考えられる。
- 重金属については、基準値を下回る場合、上回る場合、どちらも確認された。燃焼灰の肥料利用を検討するに当たっては、重金属について実際に分析を行い、肥料原料としての適否を確認し、適切な下水処理場の燃焼灰を選定することが重要である。なお、基準値を超えた処理場の特性について確認したところ、主に、自然由来の重金属の影響が考えられる。
- 燃焼灰のく溶率（く溶性りん酸／りん酸全量）について、脱水汚泥等（平均65%程度）に対し燃焼灰においては平均42%程度と小さかった。これは、焼却により有機物が分解されりん酸が遊離するため、鉄やアルミニウムと結合することが要因の一つと考えられる。