

今こそ進めよう！ 下水汚泥の肥料利用



創立135年



東京農業大学
全国土の会
後藤



名誉教授
会長
逸男

創立37年



全国土の会

日本の土壌の特性

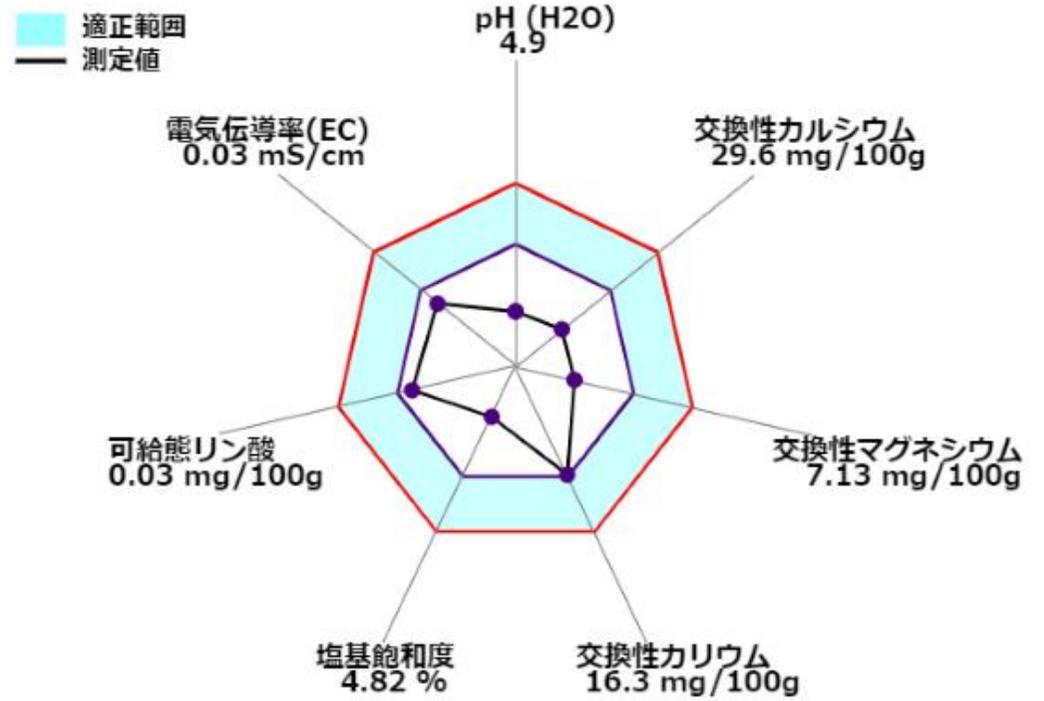
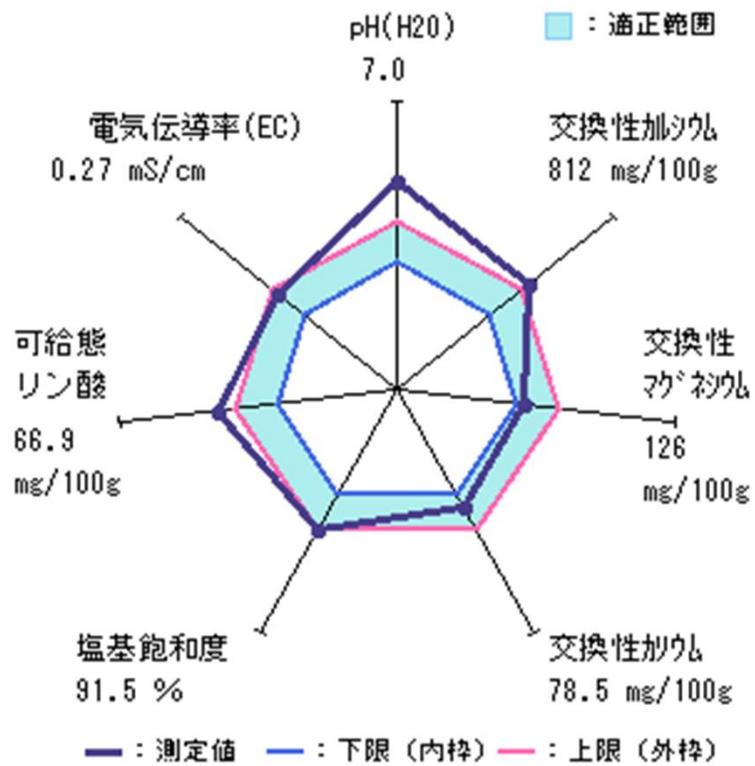
- ★ 酸性が強い。
- ★ 腐植(土壌有機物)が欠乏している。
- ★ リン酸が欠乏している。
 - ☆ 黒ボク土では施肥リン酸が固定される。

すなわち、日本の土壌は痩せている！

そこで、この半世紀にわたり「土づくり」が行われてきた。

「土づくり」とは、農耕地への

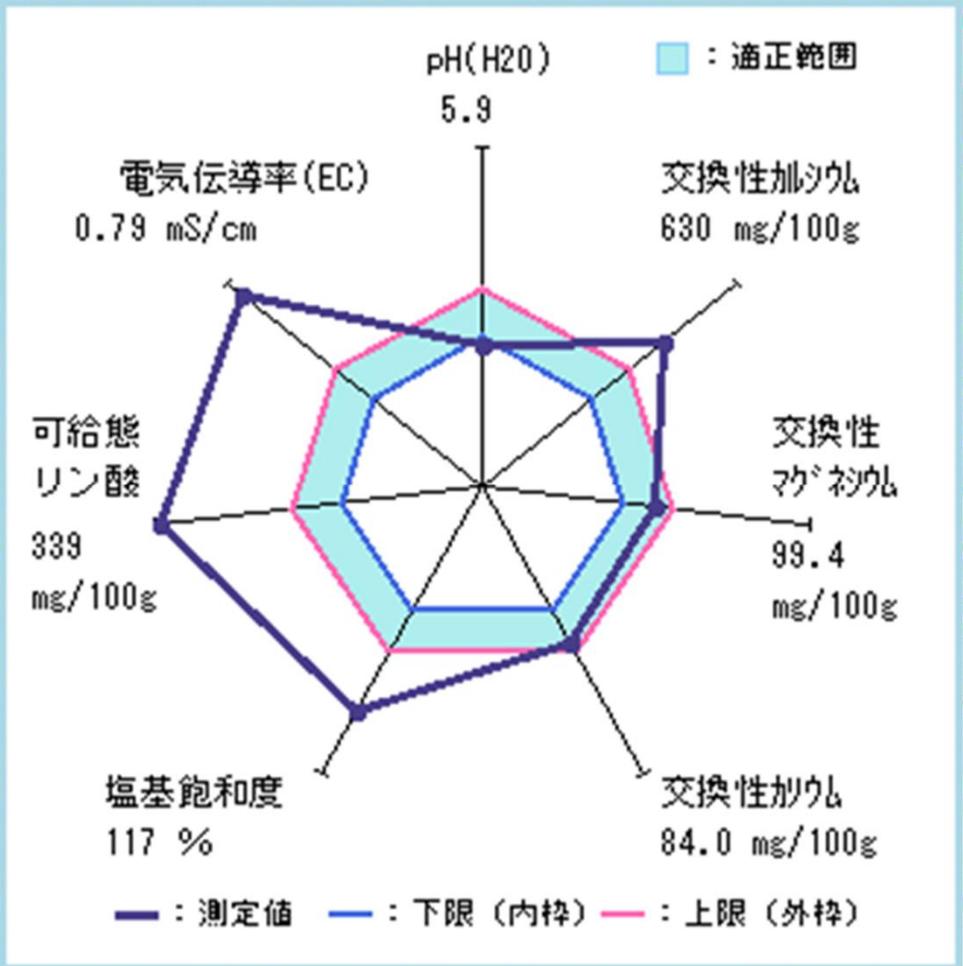
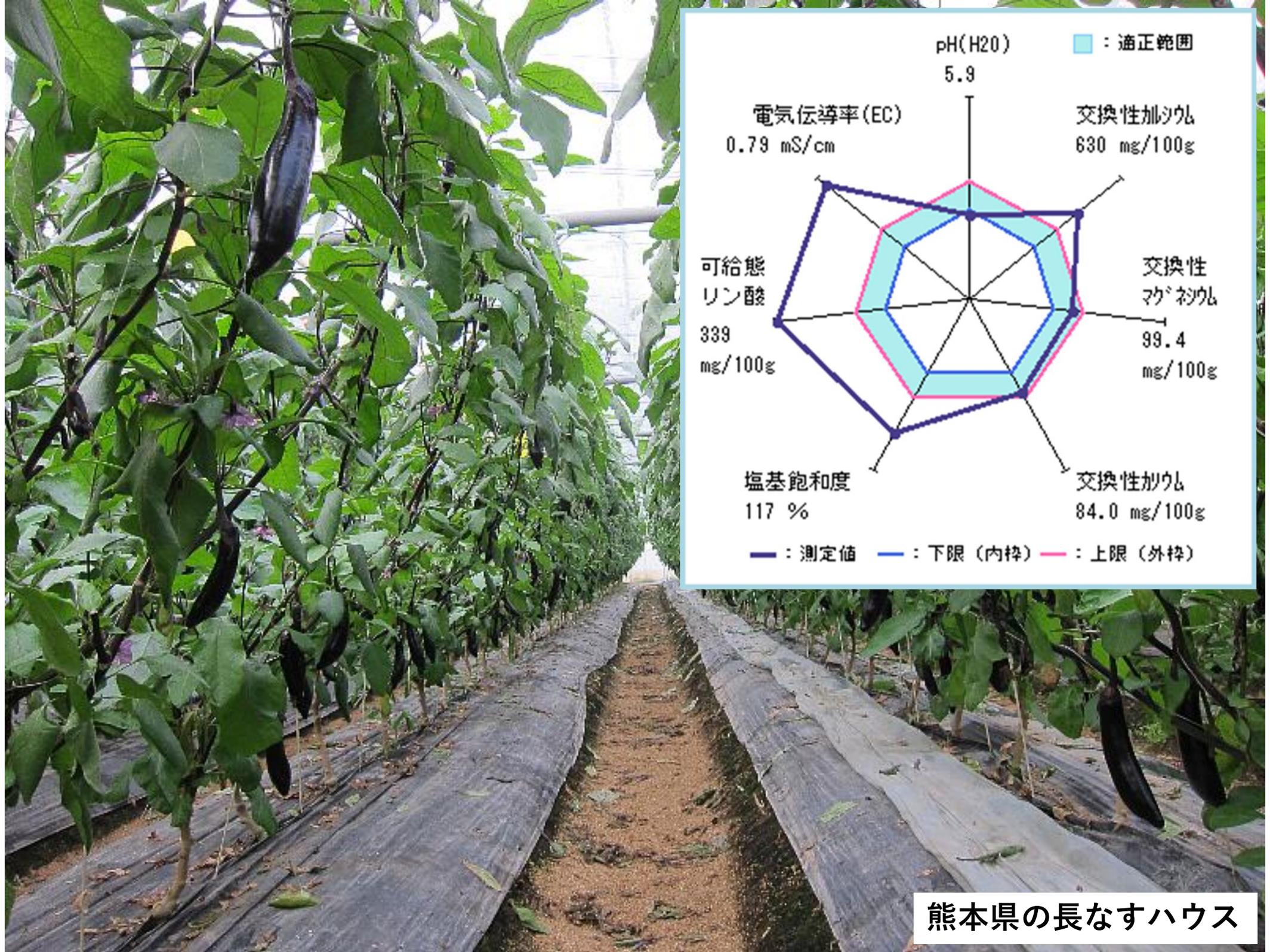
- ★ 塩基(ドロマイトなど)補給 → 雨により溶脱
- ★ リン酸補給 → 過剰リン酸は土壌に蓄積
- ★ 有機物補給 → 徐々に分解される。



野菜畑の土壌

未耕地の土壌

長野県南佐久郡南牧村野辺山(戦後の開拓地)



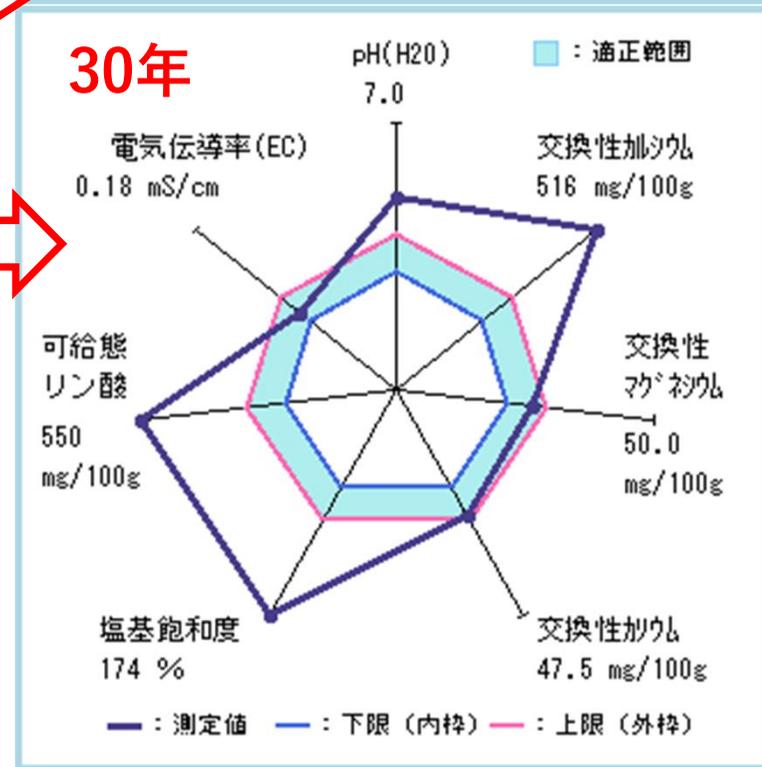
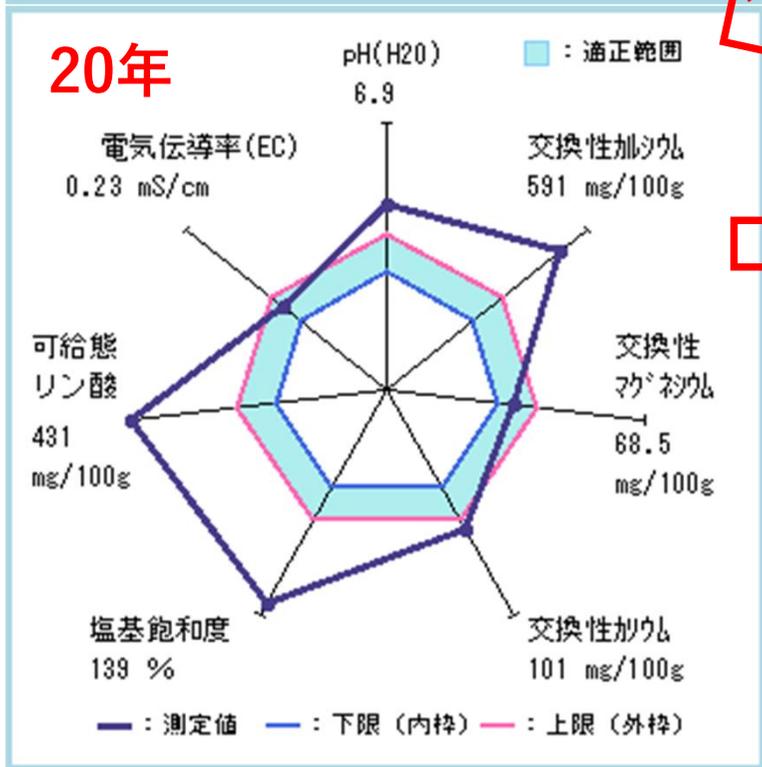
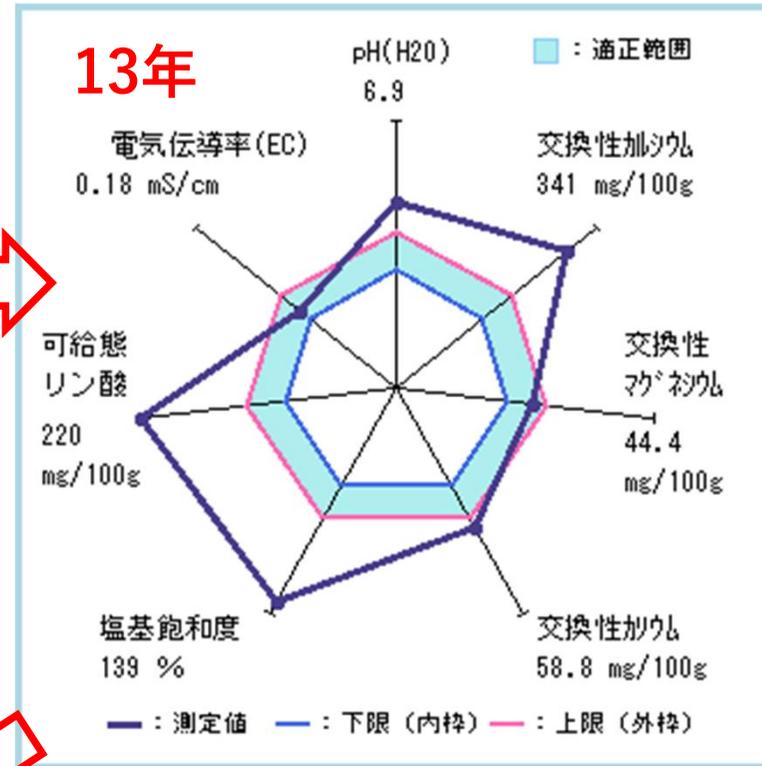
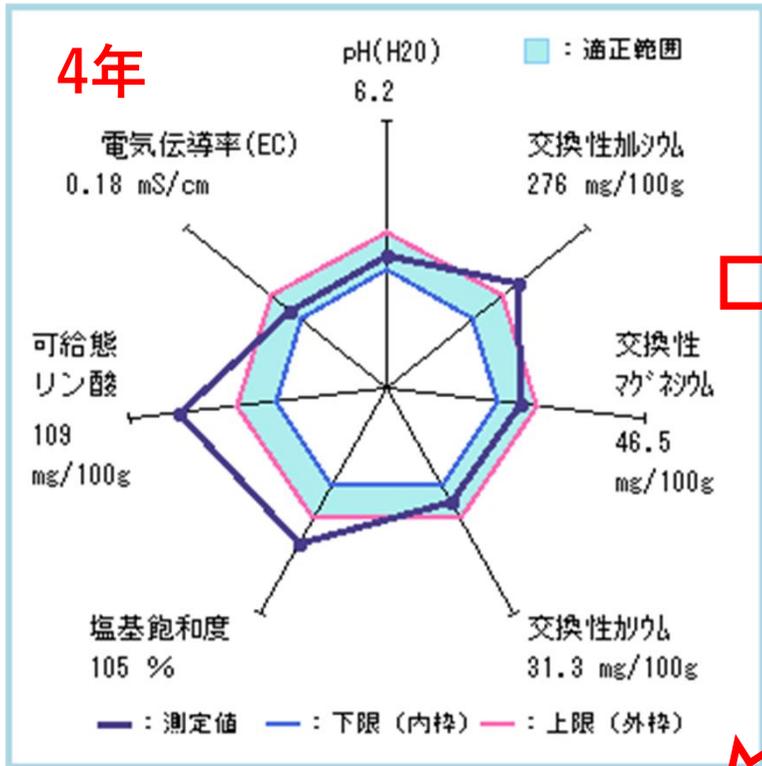
熊本県の長なすハウス

山口県内の露地畑における

有機農業実施年数に伴う土壌化学性の変化

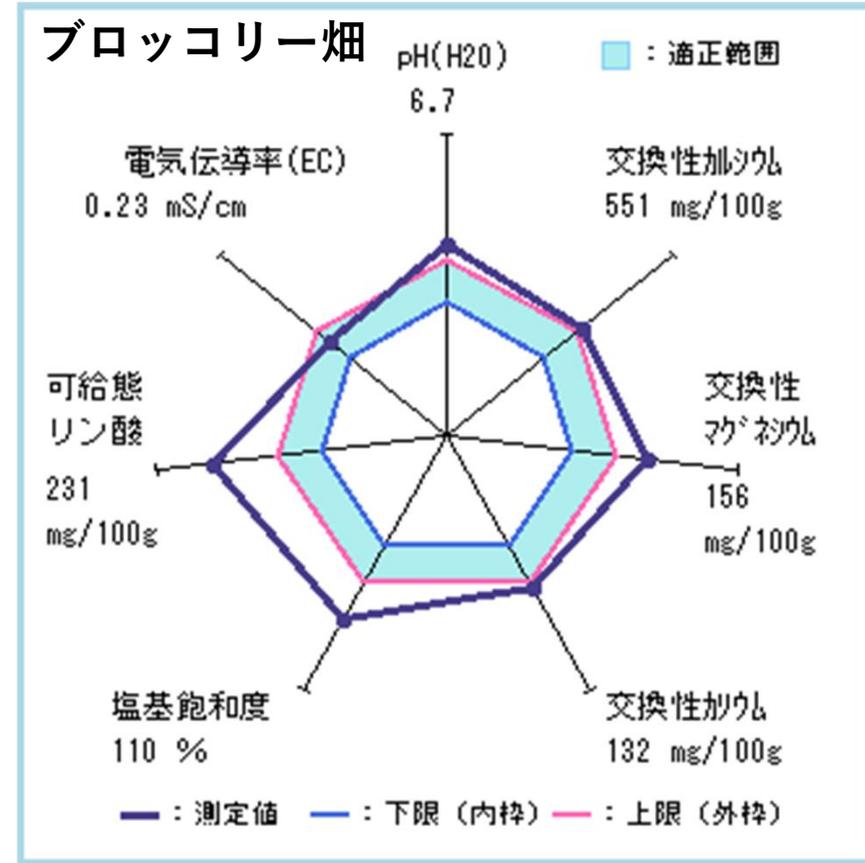
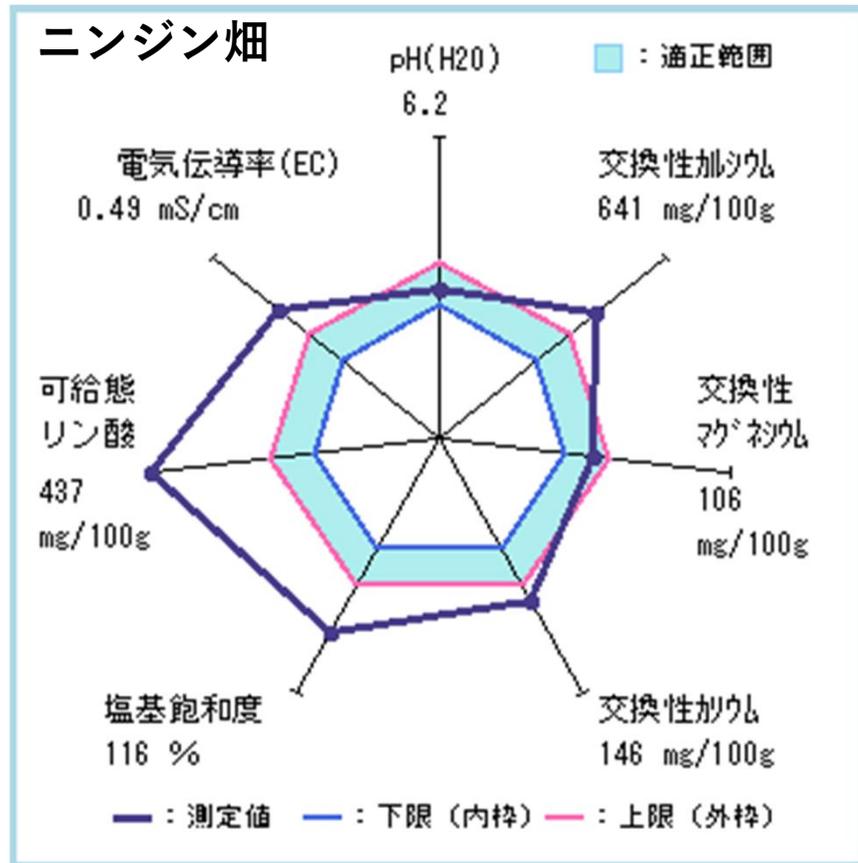
注：同一露地畑の経年変化ではなく、
有機年数の異なる畑の土壌診断事例

施肥・・・鶏糞堆肥の多施用・かき殻石灰の連用



有機農業実践圃場も「メタボ」！

令和3年度に有機農業推進の優良事例として表彰された地域の露地野菜畑の土壌診断図



- ★ 有機質肥料や堆肥には、必ず三要素が含まれる(単肥の有機物はない)。
- ★ 作物のリン酸吸収量は、窒素・カリより少ない。
- ★ 窒素やカリと異なり、リン酸は作土から溶脱しない。
- ★ 有機に拘ると、土壌が可給態リン酸過剰に陥りやすい。
- ☆ 土壌のリン酸過剰は、貴重な天然資源の浪費に繋がるばかりではない！



可給態リン酸適正区(約20mg/100g)

発病度36

可給態リン酸過剰区(約200mg/100g)

発病度97

多腐植質黒ボク土、pH(H₂O) 6
休眠孢子密度 $6 \times 10^6/g$

ハクサイ(栽培期間 約1ヶ月)

可給態リン酸の過剰が根こぶ病の発病を助長する！

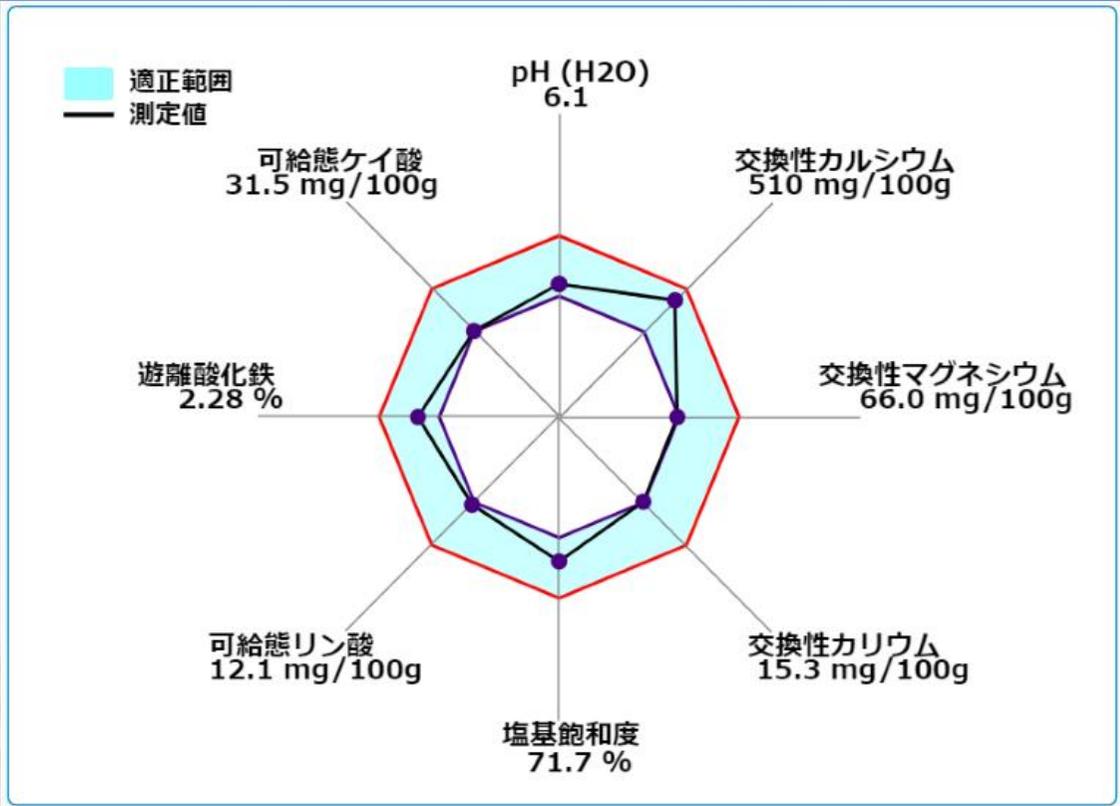
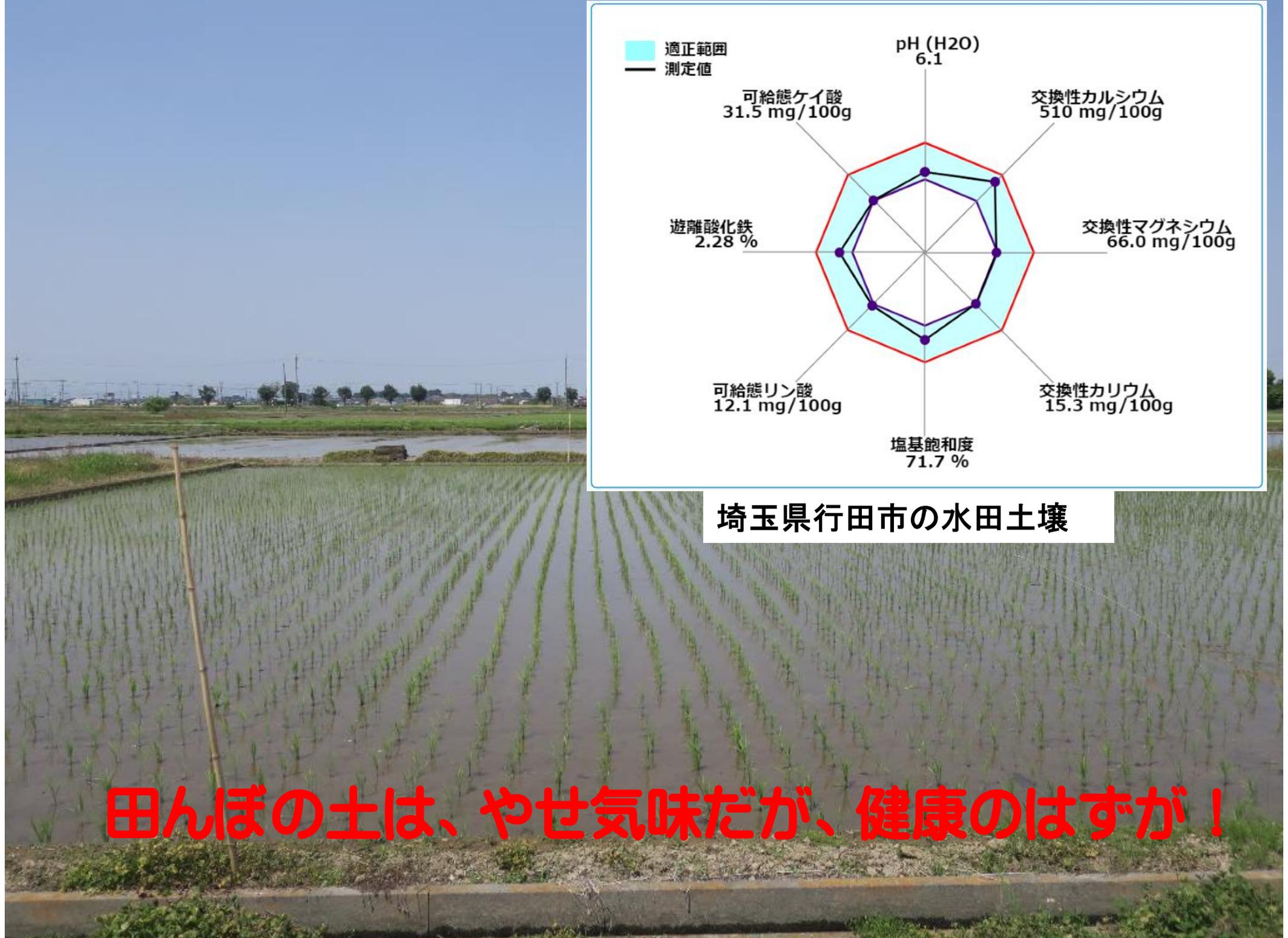
静岡県浜松市

静岡県磐田市

土壌のリン酸過剰が 土壌病害の発病を助長する！

東京都三鷹市

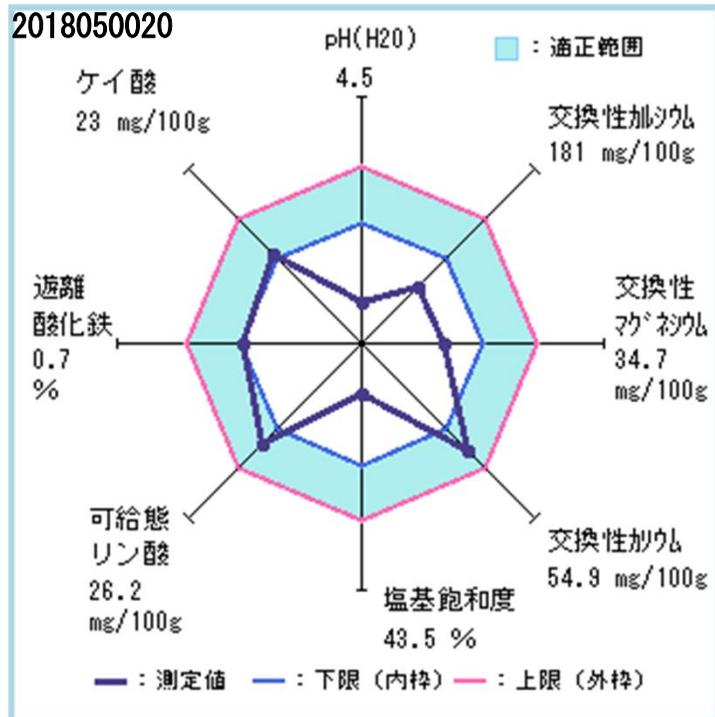
静岡県磐田市



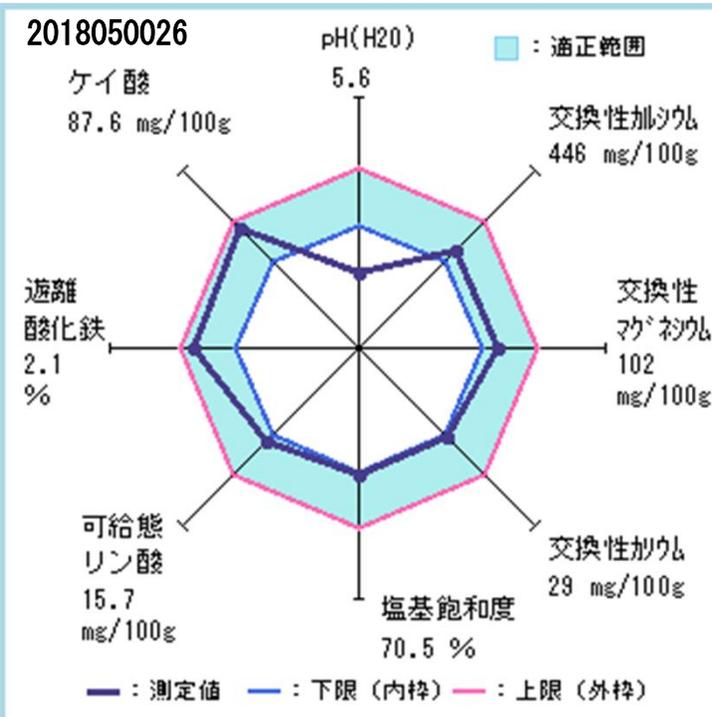
埼玉県行田市の水田土壌

田んぼの土は、やせ気味だが、健康のはずが！

宮城県

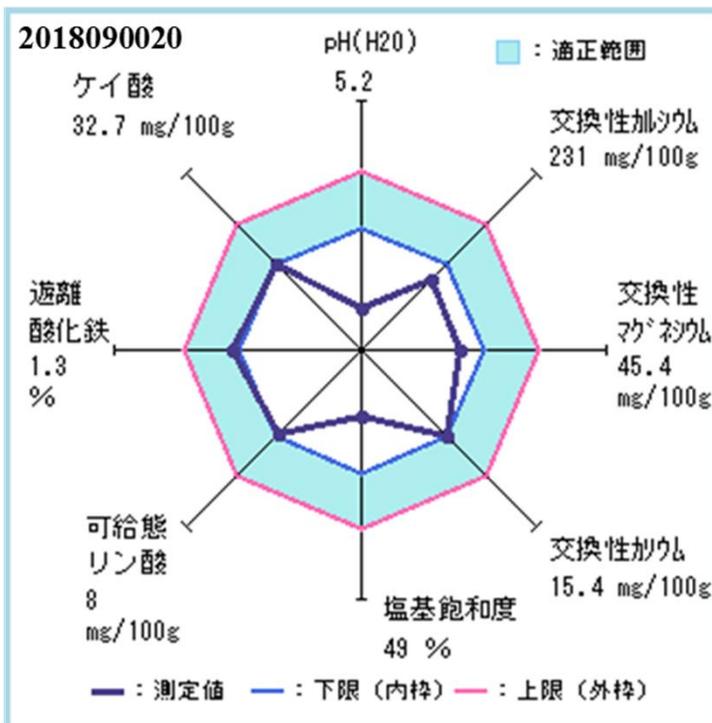
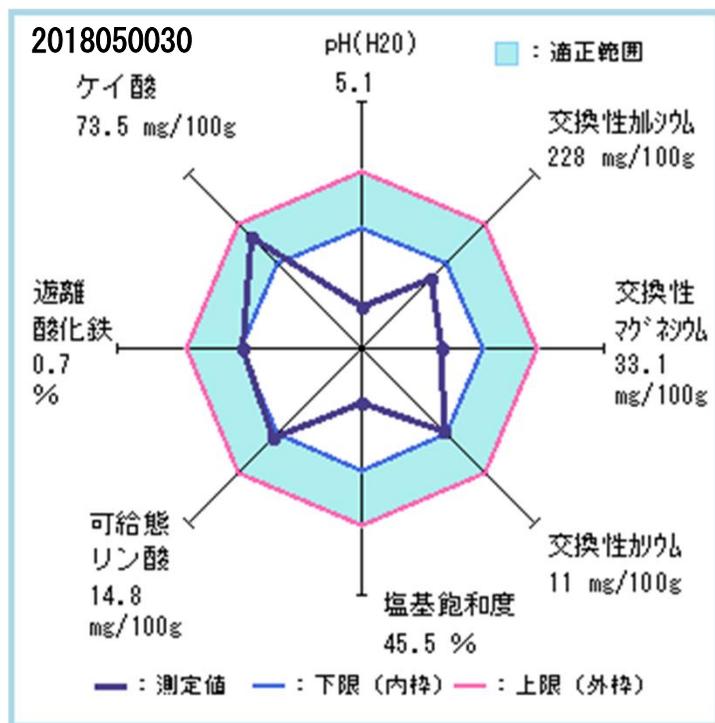


土壌化学性の悪化が目立つ最近の水田土壌



千葉県

岡山県



愛知県

日本農業に不可欠な肥料

- ★ 日本の未耕地土壌は酸性が強く、リン酸などの養分が欠乏する。
- ★ 日本の農耕地で最も肥沃な土壌は水田であった。
 - ★ 肥料の他に堆肥やケイカル(けい酸質肥料)を施用していた。
しかし、米の需要低下・米価の低迷・後継者不足などにより堆肥やケイカルの施用量が激減し、地力の低下が顕著。
- ★ 畑土壌は本来痩せていたが、第二次大戦後の食料難に対処するため、全国各地の開拓地を中心に、国や農業団体を挙げての「土づくり運動:堆肥・石灰資材・リン酸資材の施用」を展開してきた。
現在では、園芸産地を中心に、「土のメタボ化:リン酸とカリの過剰化」が顕著。
- ★ すなわち、農耕地土壌の肥沃度の二極化が進んでいる。
- ★ 農業とは、「農耕地から土壌養分を略奪する産業」、頂いた養分を土に還す。
 - ★ 「肥料」は農業に不可欠な資材。
- ★ 日本には肥料資源が皆無
 - ★ 肥料の多くを輸入に依存してきたが、中国の輸出規制やウクライナ情勢に伴い、肥料自給率向上にやっと目が向けられるようになった。
- ★ 2022年9月の岸田前首相による「鶴の一声」で、下水汚泥などのバイオマス資源の肥料活用が表舞台に躍り出た！

<中略>

また、喫緊の課題である食料品の物価高騰に緊急に対応していくため、本日表示された今後の検討課題のうち、次の課題について、農林水産大臣を中心に、来年に結果を出せるよう、緊急パッケージを策定してください。

一つ目が、下水道事業を所管する国土交通省等と連携して、下水汚泥・堆肥等の未利用資源の利用拡大により、グリーン化を推進しつつ、肥料の国産化・安定供給を図ること。

二つ目として、小麦・大豆・飼料作物について、作付け転換支援により、国産化を強力に推進すること。

三つ目として、食品ロス削減対策を強化し、食品へのアクセスが困難な社会的弱者への対応の充実・強化を図ること。

発生汚泥等の処理に関する基本的考え方について

(令和5年3月17日 国土交通省 下水道部長 通知)

「下水道管理者は今後、**発生汚泥等の処理を行うに当たっては、肥料としての利用を最優先し、最大限の利用を行うこと**」を基本方針として整理するとともに、下水道管理者に通知。

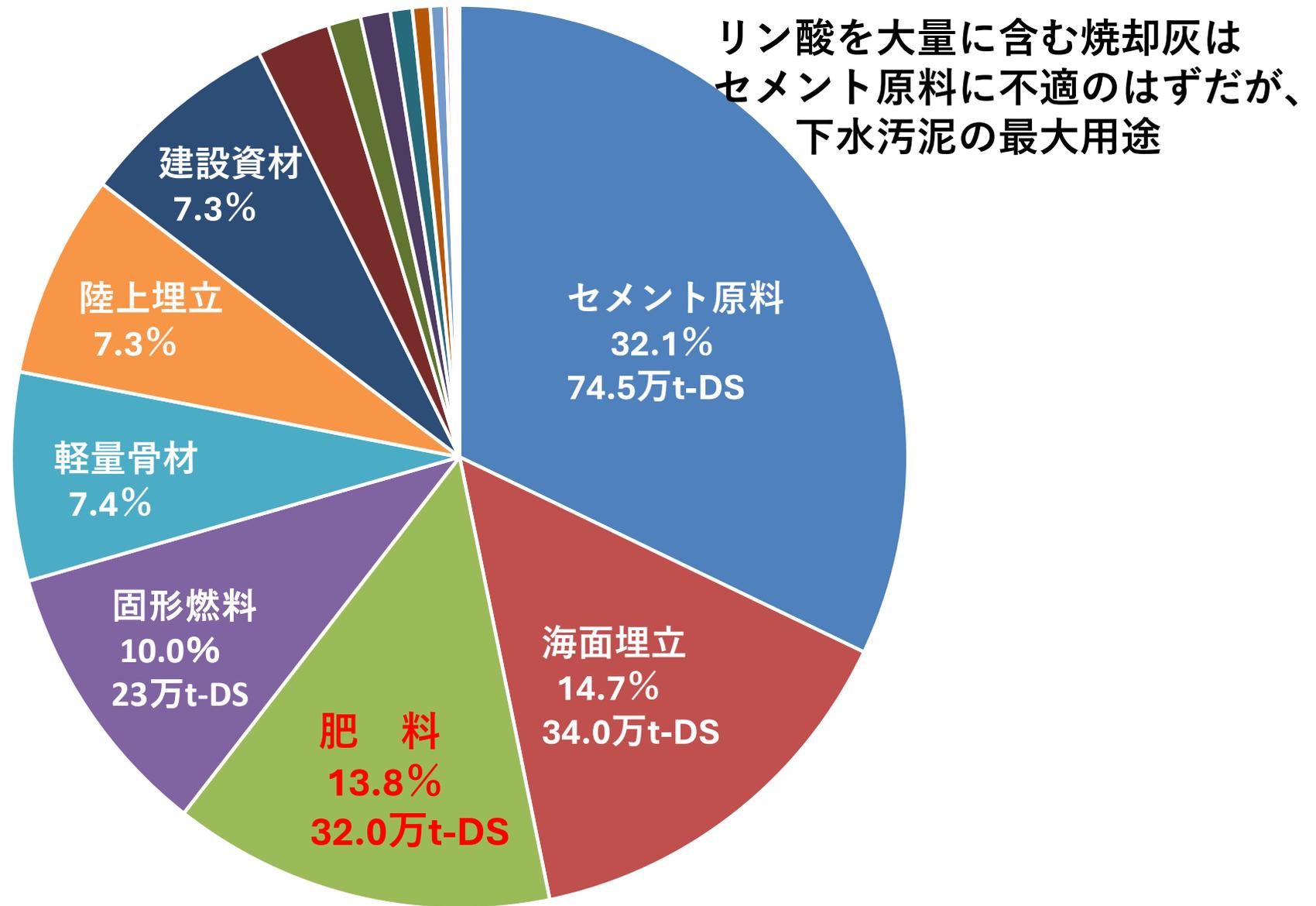
- 下水道管理者は今後、発生汚泥等の処理を行うに当たっては、肥料としての利用を最優先し、最大限の利用を行うこととする。
- 焼却処理は汚泥の減量化の手段として有効であるが、コンポスト化や乾燥による肥料利用が困難な場合に限り選択することとし、焼却処理を行う場合も、焼却灰の肥料利用、汚泥処理過程でのリン回収等を検討する。」



下水汚泥の肥料利用



下水汚泥の肥料利用率は約13.8%(2023年)



下水汚泥のマテリアル利用の内訳
(年間発生量232万t-DS 2023年度)

R5年度 下水汚泥の都道府県別肥料利用率(%)ベスト10

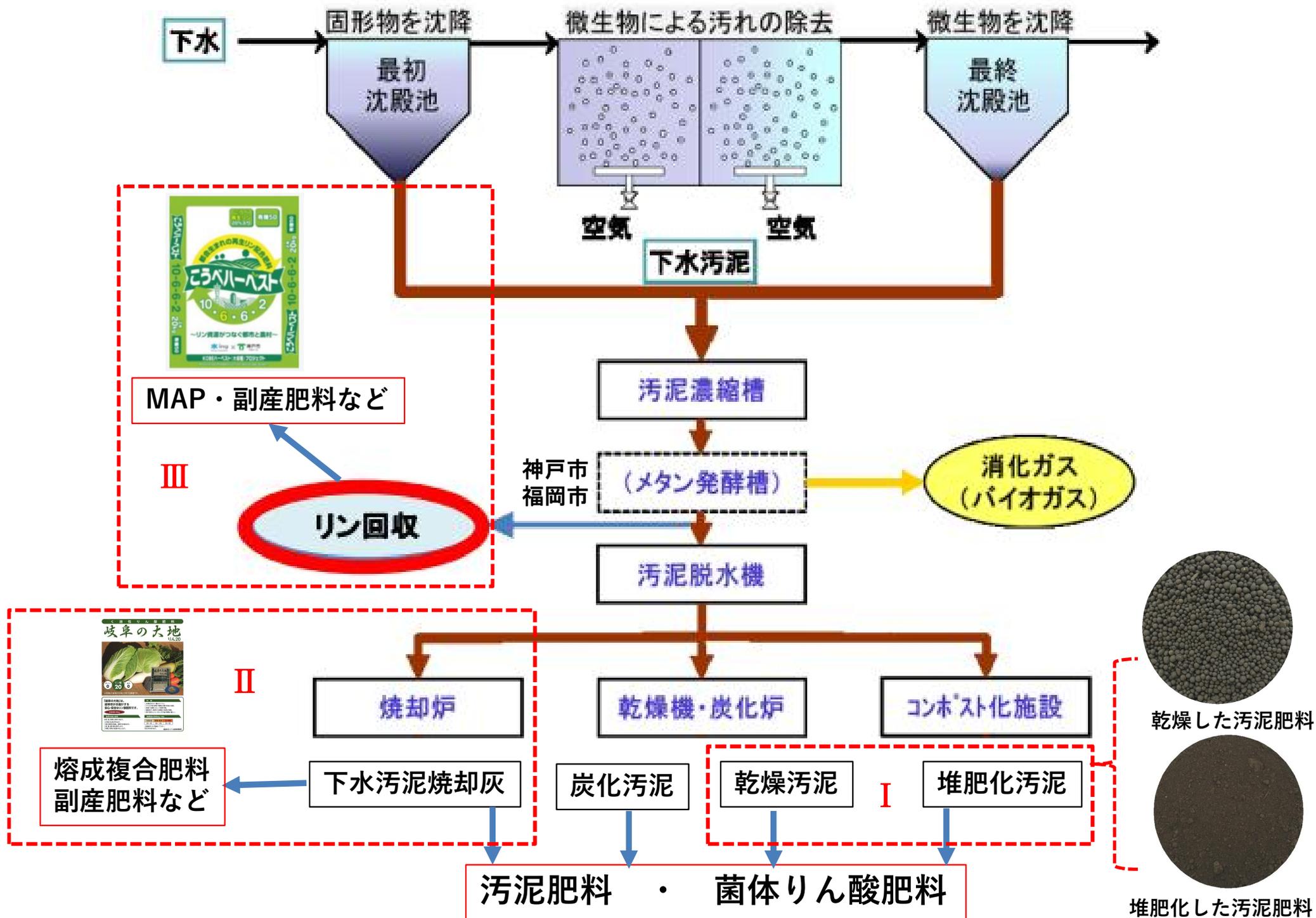
鹿児島県	96.0
沖縄県	93.7
佐賀県	92.3
島根県	72.1
宮崎県	66.4
山形県	63.6
長崎県	54.3
青森県	42.8
熊本県	40.5
福井県	38.6

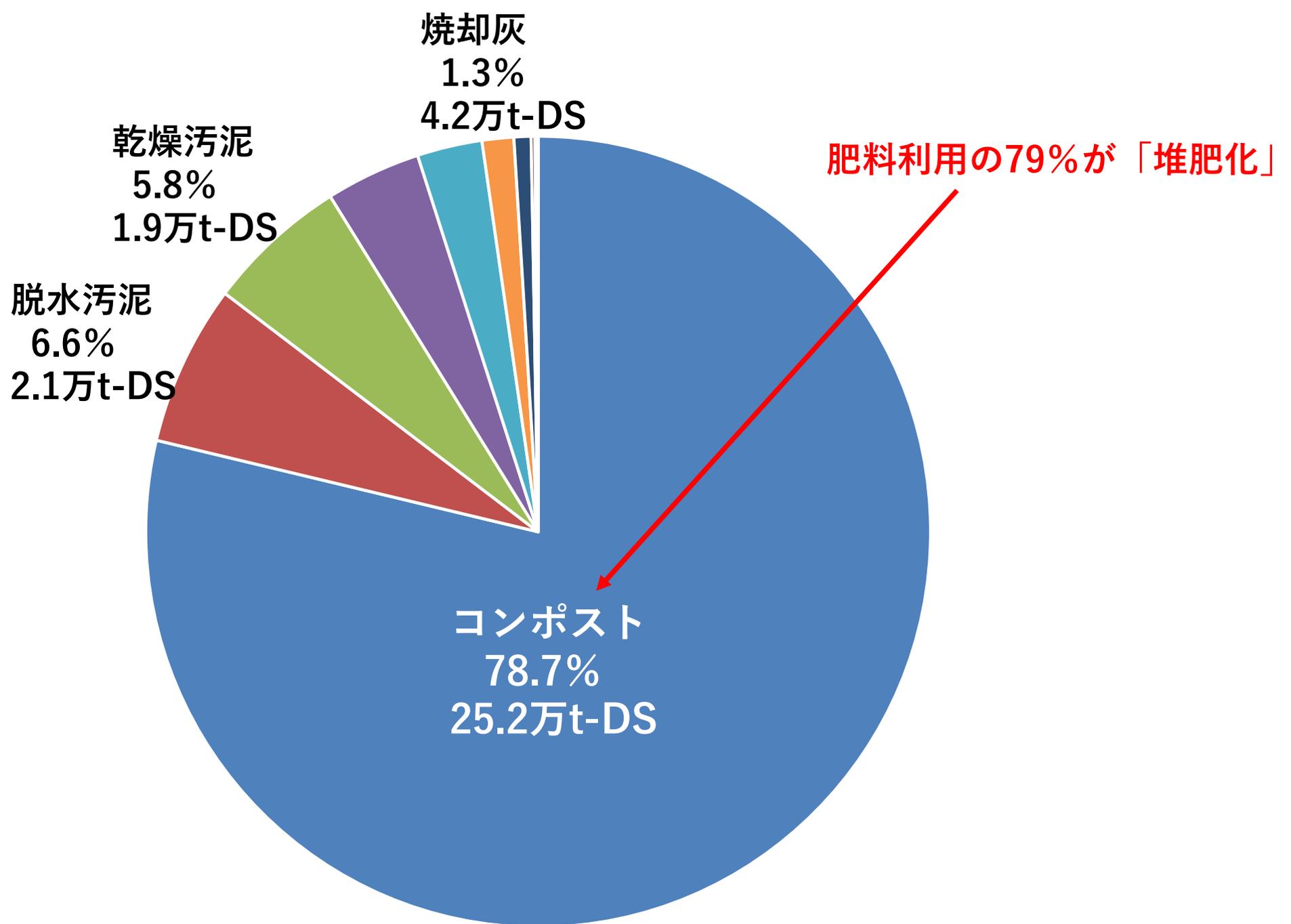


鹿児島市水道局水再生施設

下水汚泥を堆肥化した汚泥肥料(サツマソイル)
菌体りん酸肥料 (マグマソイル)

下水処理工程からできる多種多様な国産リサイクル肥料

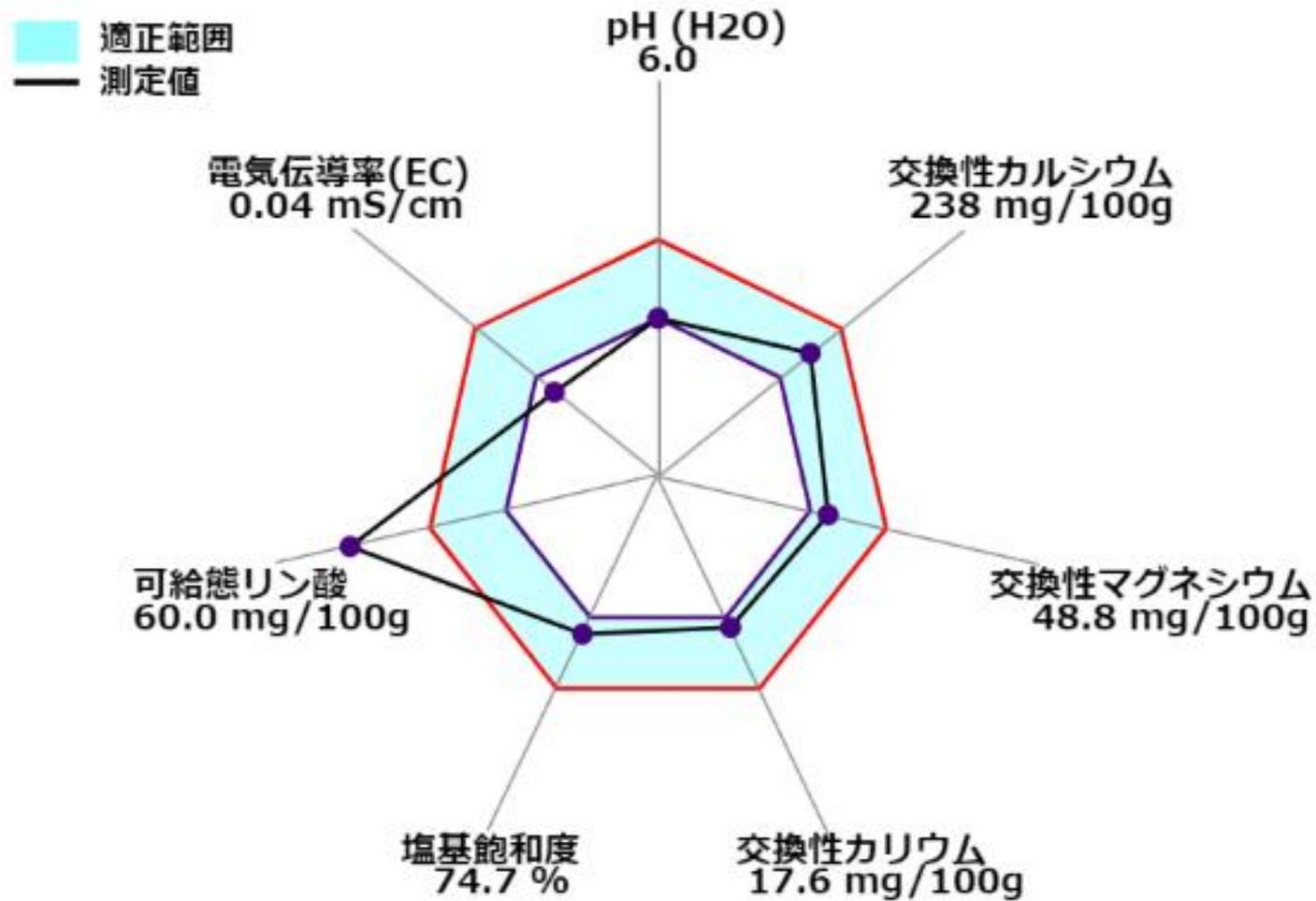




下水汚泥の肥料利用量の内訳
 (肥料利用量は 32.0万t-DS で全量の13.8% 2023年度)



脱水汚泥に稲わら・もみがらを混合した堆肥の製造(北海道岩見沢市)



堆肥化した汚泥肥料を連用施用する圃場の土壌診断レーダーチャート
 (北海道岩見沢市)

1. 現状における下水汚泥の肥料利用の主流は、堆肥化と乾燥化

汚泥肥料の施用量：現物1t/10a相当量



項目	化学肥料	汚泥肥料T 乾燥化	汚泥肥料A 堆肥化	汚泥肥料M 堆肥化	汚泥肥料S 堆肥化
生育量 g/pot	64.2	77.6	75.9	67.5	59.6
N吸収量 mg/pot	315	353	326	282	155
P ₂ O ₅ 吸収量 mg/pot	41.6	61.3	66.0	55.1	60.0

化学肥料と4種類の汚泥肥料施用区におけるチンゲンサイの生育と窒素・リン酸吸収量

堆肥化・乾燥処理した汚泥肥料・菌体りん酸肥料の肥料利用

★窒素の化学肥料代替率：50%前後で、乾燥汚泥がやや高い。

★リン酸の化学肥料代替率：ほぼ100%(ただし、ク溶率80%程度以上)。

★国内産肥料資源として有望であるが、次のリスクを伴う。

☆堆肥化処理

※製造に時間を要し、堆肥化過程で大量のアンモニアガスが揮散する。
対策：アンモニアガスを硫酸で捕集し、硫酸として肥料利用する。

☆乾燥処理

※乾燥のための熱源が必要。 対策：余熱を活用する。

※堆肥化に較べて、臭気がきつい。 対策：脱水汚泥を急速乾燥する。

☆堆肥化・乾燥処理共通

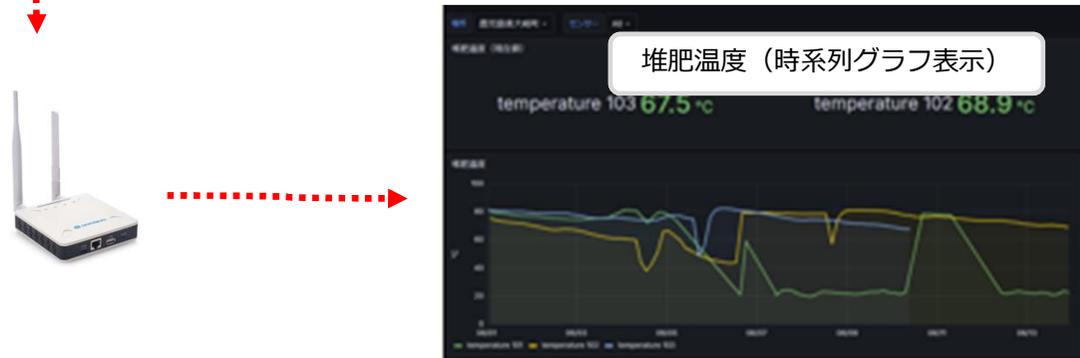
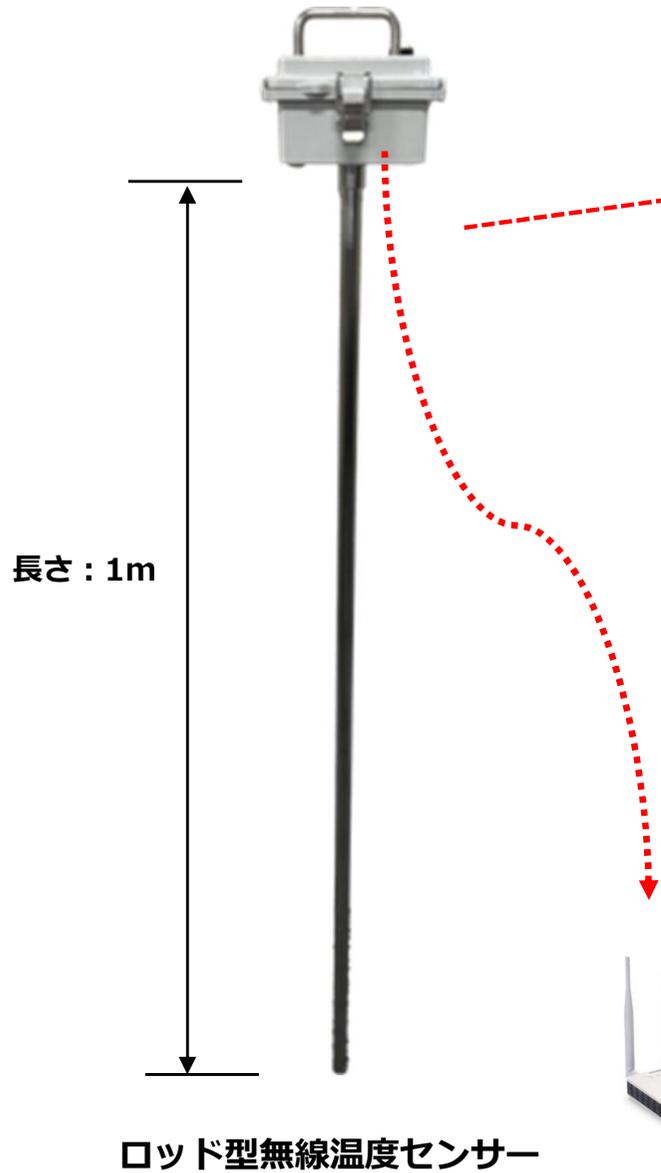
※重金属問題

※マイクロプラスチックや有機フッ素化合物(PFAS)問題

を避けて通ることはできない。

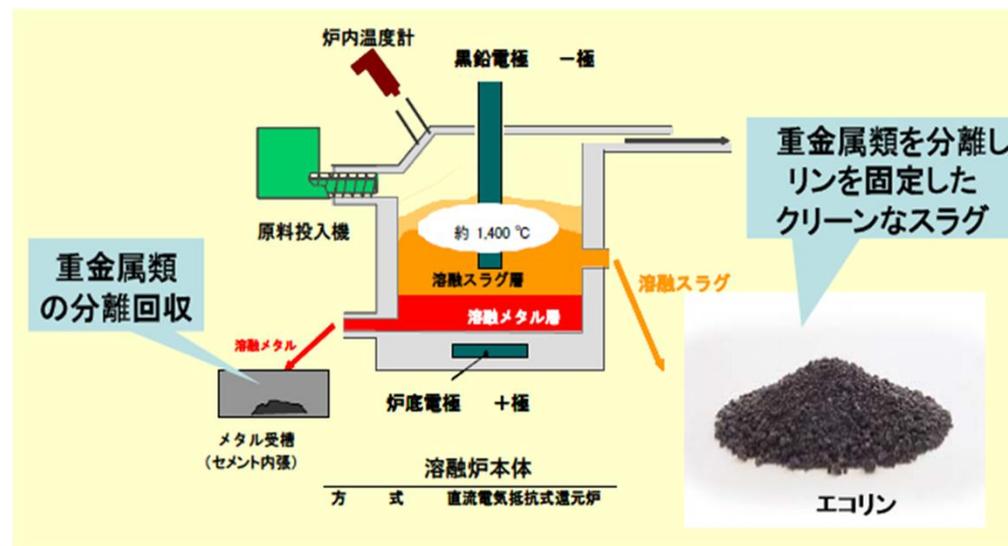
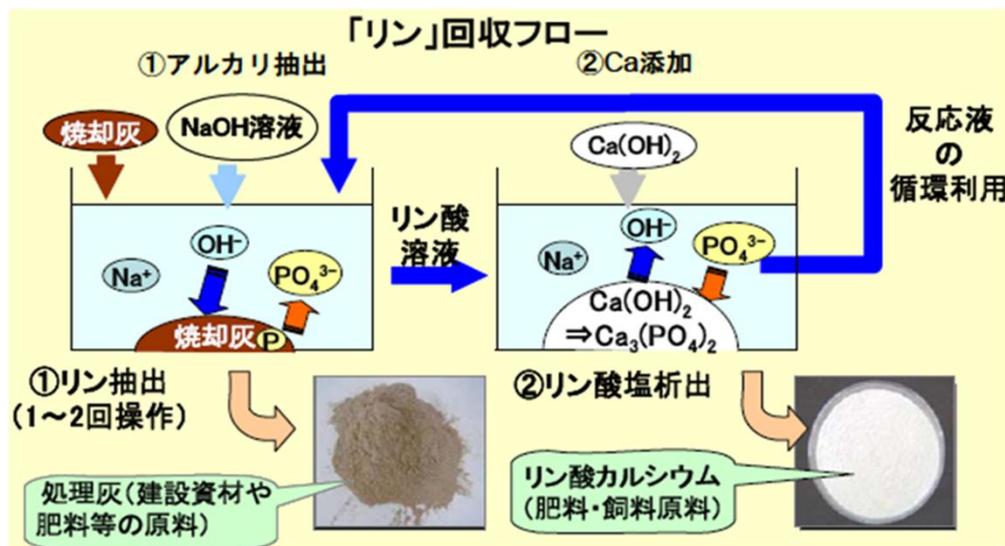
対策：定期的に分析を行い結果を開示する。

衛生細菌類の滅菌には、堆肥化温度の管理が重要！



II. 下水汚泥焼却灰からのリン酸回収

- ★ 2023年現在で、下水汚泥の59.3%(138万t-DS)が焼却処分されている。その内の肥料利用は4,173t-DS(1.3%)に過ぎない。焼却灰中にはリン鉱石並みのリン酸が含まれているので、国産リン酸肥料原料として利用しない手はない。
- ★ 灰アルカリ抽出法や部分還元熔融法が実用化されている。
 - ☆ 重金属・PFAS 問題が解消される。ただし、製造コストが大課題。



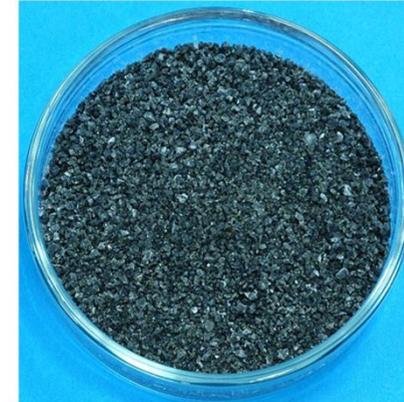
- ★ 化学的処理によりリン酸カルシウムとして分離するため、大量の残渣が出る。
- ★ 岐阜市・鳥取市で実用化
- ★ 熔リンに類似の肥料(エコリン)ができる。ケイ酸などリン酸以外の成分も有効
- ★ 鉄・重金属類を資源として回収できる。

灰アルカリ抽出法(岐阜市): 副産肥料



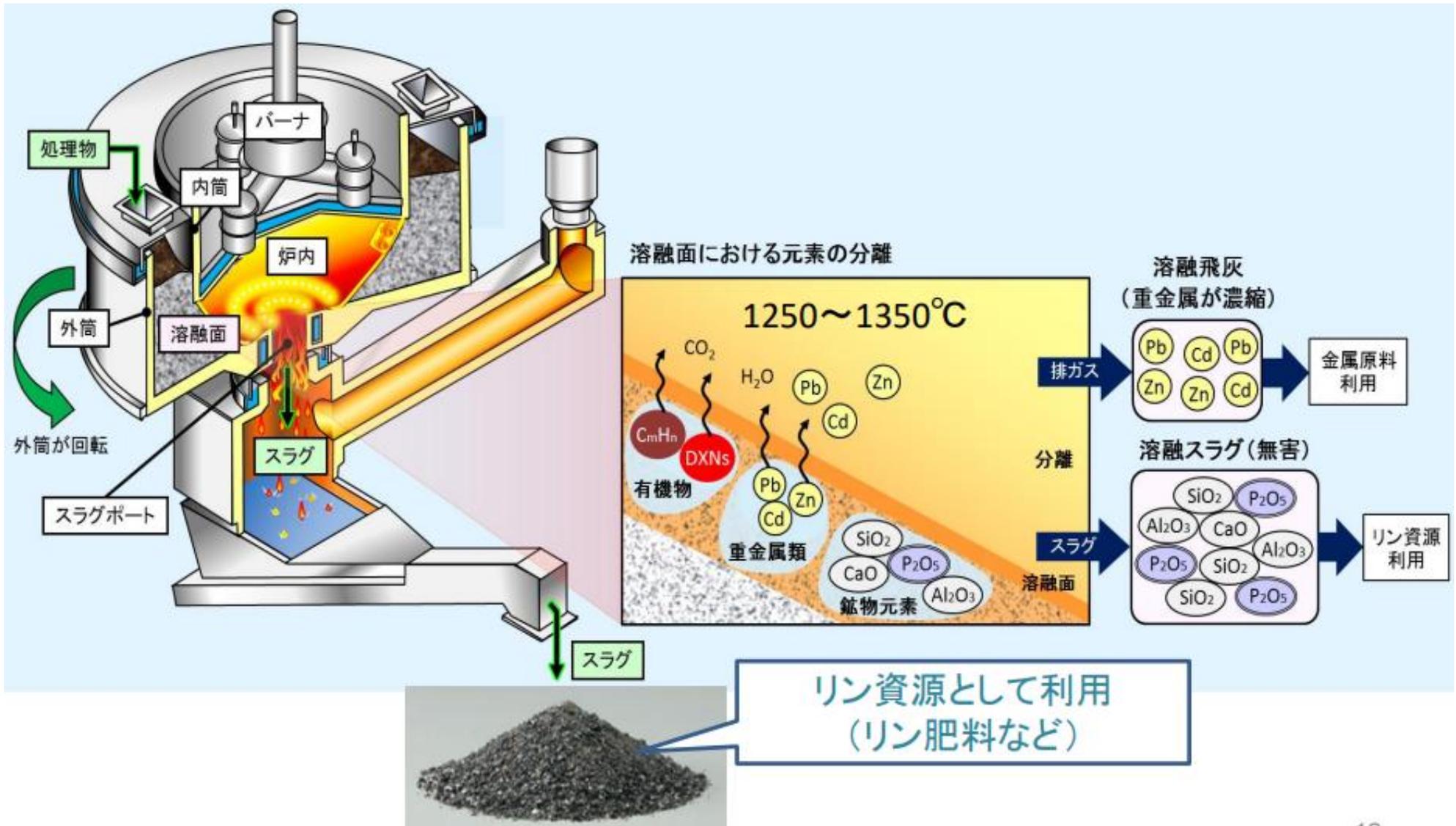
★ 化学的処理によりリン酸カルシウムとして分離するため、大量の残渣が出る。

部分還元熔融法(熔成複合肥料)



★ 2004年に「熔成汚泥灰複合肥料」の公定規格が設定されたが、大量の電力を必要とするため経済性の観点から、実用化に至らなかった。

2021年7月「熔成汚泥灰複合肥料」登録第一号



★ 焼却灰ではなく、乾燥汚泥を原料とする。

★ 乾燥汚泥の自燃により発生する熱で乾燥汚泥 + 石灰混合物を熔融し、水砕する。



富山県の浄化センター 2ヶ所で回転熔融炉が稼働中
(2024年11月に「副産肥料」として再登録)

大量に山積みされた浄化センター内の熔融スラグ

現状での肥料利用は一部のみで、建設資材やコンクリート製品などに利用



副産肥料

[保証成分]

く溶性りん酸 : 18%

アルカリ分 : 16%

く溶性苦土 : 2%

[有害成分]

カドミウム : 0.5mg/kg未満

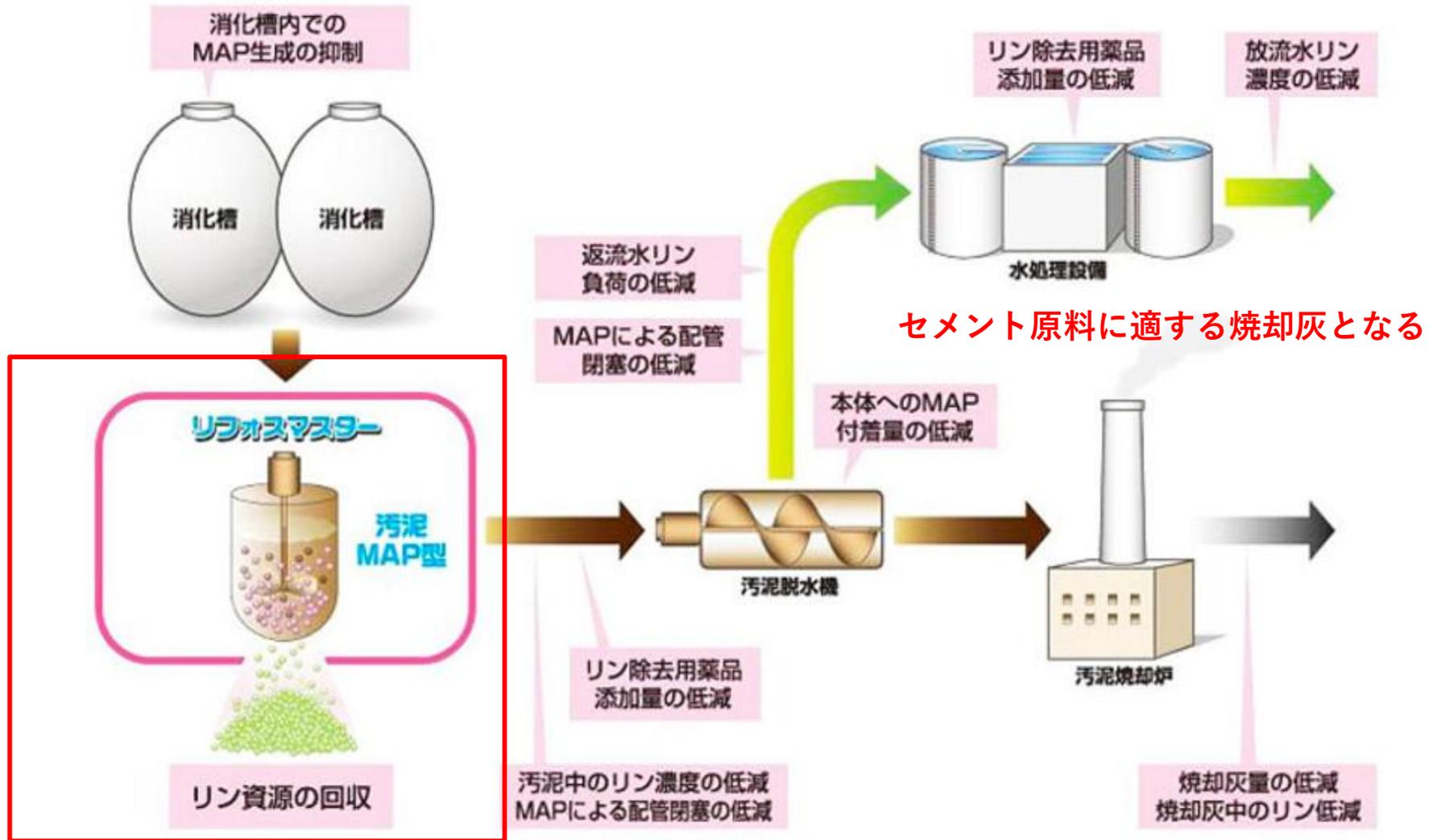
III. 下水処理工程からのリン酸回収

★ 消化汚泥から直接リン酸をMAPとして回収する(神戸市)

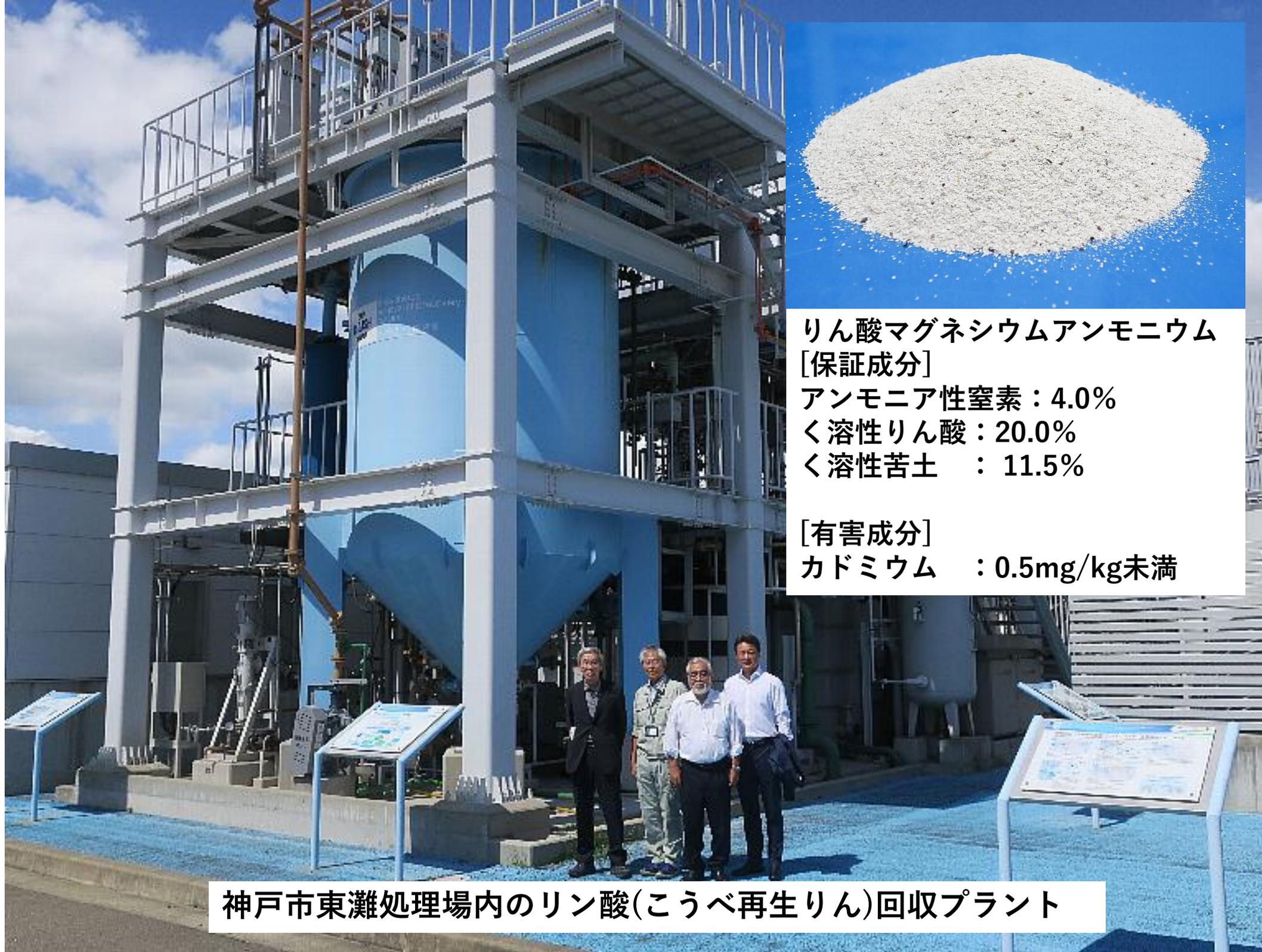
★ 脱水分離液からリン酸を回収する。

横浜市他：MAP

東京都：非晶質ケイ酸カルシウムによる吸着



消化汚泥から直接リン酸をMAPとして回収するシステム図



りん酸マグネシウムアンモニウム
[保証成分]

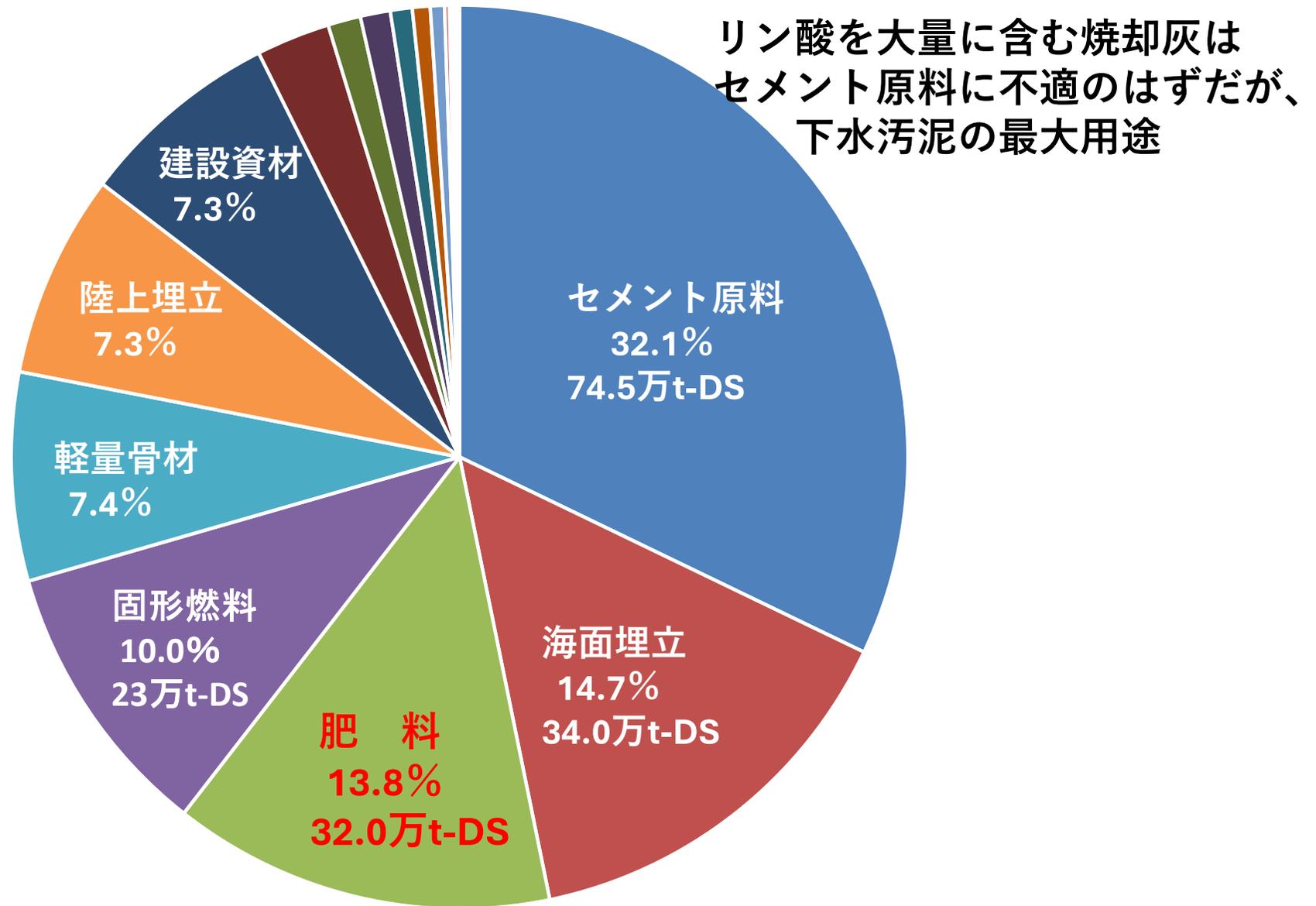
- アンモニア性窒素 : 4.0%
- く溶性りん酸 : 20.0%
- く溶性苦土 : 11.5%

[有害成分]

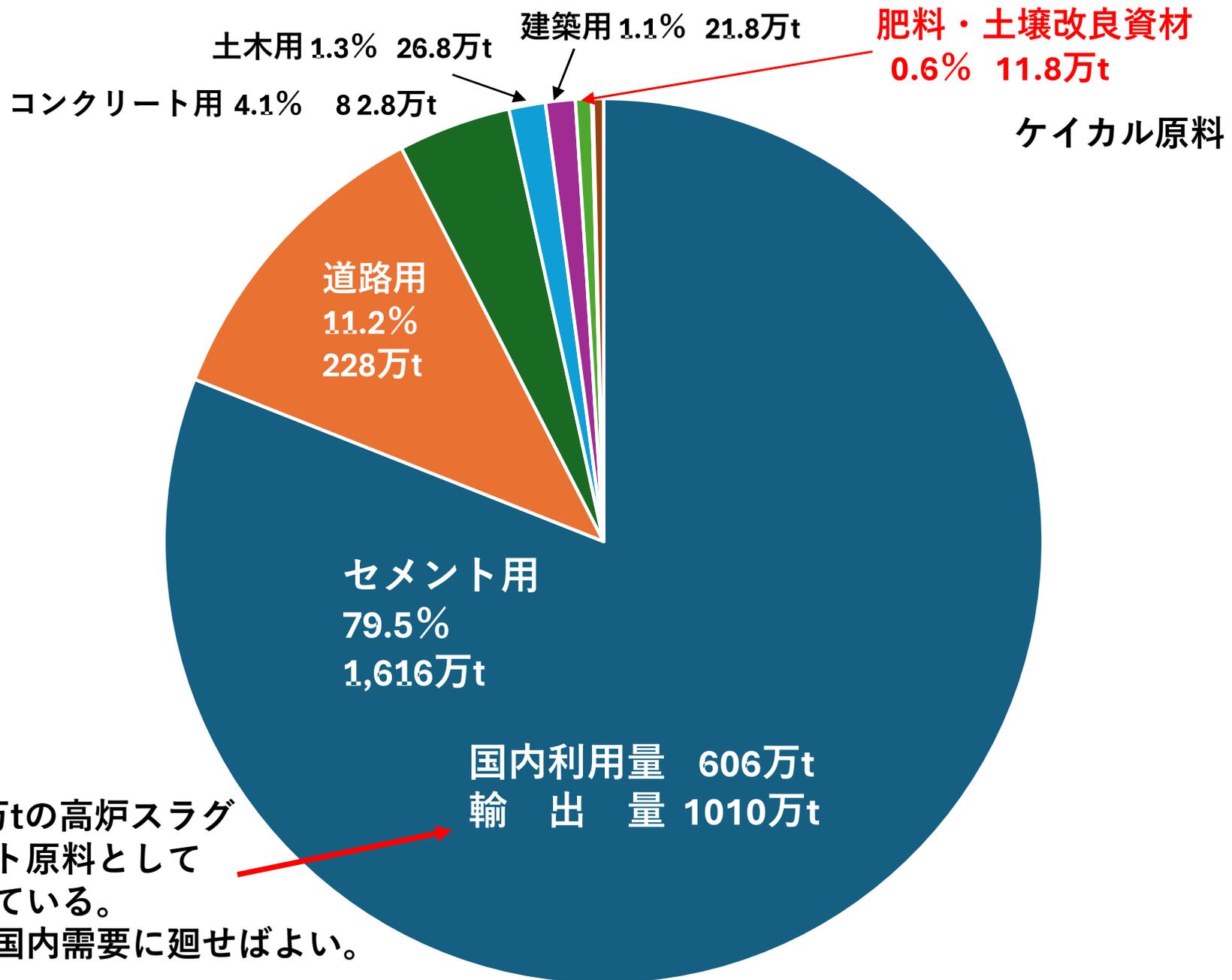
カドミウム : 0.5mg/kg未満

神戸市東灘処理場内のリン酸(こうべ再生りん)回収プラント

下水汚泥の肥料利用率は約13.8%(2023年)



下水汚泥のマテリアル利用の内訳
(年間発生量232万t-DS 2023年度)



高炉スラグのマテリアル利用の内訳
(年間発生量1,996万t 2023年度 鉄鋼スラグ協会)

下水汚泥を最大限、どれくらい肥料利用できるか？

- ★ 年間下水汚泥発生量：200万DSt とする。
- ★ 脱水汚泥の肥料成分：N 6% P_2O_5 6% K_2O 0.4%DS
出典：下水道協会誌 Vol.54 No.659 (2017)
- ☆ 演者らのポット栽培試験より、肥効率を窒素50%、リン酸100%とする。
- ☆ 肥料分量：N 12万×0.5(肥効率)t P_2O_5 12万t K_2O 0.8万t
- ★ 焼却・スラグ化を除く下水汚泥の発生量を全発生量の30%とする。
 - ☆ 焼却・スラグ化で窒素は揮散、リン酸・カリは全量回収とする。
 - ※ N：1.8万t (堆肥化による窒素損失量を含まず)
 - ※ P_2O_5 ：12万t K_2O ：0.8万t
- ★ 国内の農地面積を400万ha(水田200万ha+畑200万ha)とする。
- ★ 下水汚泥中の全有効肥料成分を400万haの農地に施用すると
 - ☆ N 0.5kg/10a P_2O_5 3.0kg/10a K_2O 0.2kg/10a



畑・ハウスでの汚泥肥料大量施用は禁物！



汚泥肥料は水田で使いたい国産肥料！

カリは灌漑水から・水稻へのCdの吸収抑制

ただし、ひ素吸収は逆効果



「土の健康」を損ねない汚泥肥料・菌体りん酸肥料の使い方

★ 汚泥肥料の成分含有量： N 4 % P_2O_5 5 % K_2O 0.5% とする。
(以下、肥効率 N 50%, P_2O_5 100% とする。)

★ 施肥基準量：大雑把に以下とする。

☆ 水稻： N 10kg/10a P_2O_5 10kg/10a K_2O 10kg/10a

☆ 野菜： N 20kg/10a P_2O_5 10kg/10a K_2O 15kg/10a

★ 水稻作では；

☆ 汚泥肥料 200kg/10a： N 4kg/10a, P_2O_5 10kg/10a, K_2O 1.0kg/10a

※ 不足する窒素を補給するには、尿素を13kg/10a施用する。

※ 不足するカリを補給するには、塩化カリを15kg/10a施用する。

★ 野菜作では；

☆ 汚泥肥料 200kg/10a： N 4kg/10a, P_2O_5 10kg/10a, K_2O 1.0kg/10a

※ 不足する窒素を補給するには、尿素を35kg/10a施用する。

※ 不足するカリを補給するには、塩化カリを23kg/10a施用する。

★ 汚泥肥料を合理的に肥料利用するには、化学肥料との併用が最善・不可欠！

☆ 化学肥料は、有機質肥料より安価

☆ 汚泥肥料に家畜糞堆肥を併用する場合には、低リン酸の牛糞堆肥が最適。

☆ 汚泥肥料と生ごみ肥料・堆肥の併用は相性がよい。

★ 下水汚泥中のリン酸を全てリン酸肥料利用すれば、120万haの農地で使える。33

安全・安心な肥料原料の供給に向けて

○令和4年度下水汚泥由来肥料中の重金属含有濃度調査(131団体)

⇒ 全ての項目において肥料の品質確保等に関する法律に定める基準値以下

○ 工場等における除外施設の整備が進んだ結果、経年的に重金属の含有量は減少傾向。

★ 「汚泥肥料」「菌体リン酸肥料」を適正利用すれば、亜鉛・銅の補給が期待できる。

肥料の品質確保等に関する法律
に定める許容値(mg/kg)

砒素	As	50
カドミウム	Cd	5
水銀	Hg	2
ニッケル	Ni	300
クロム	Cr	500
鉛	Pb	100

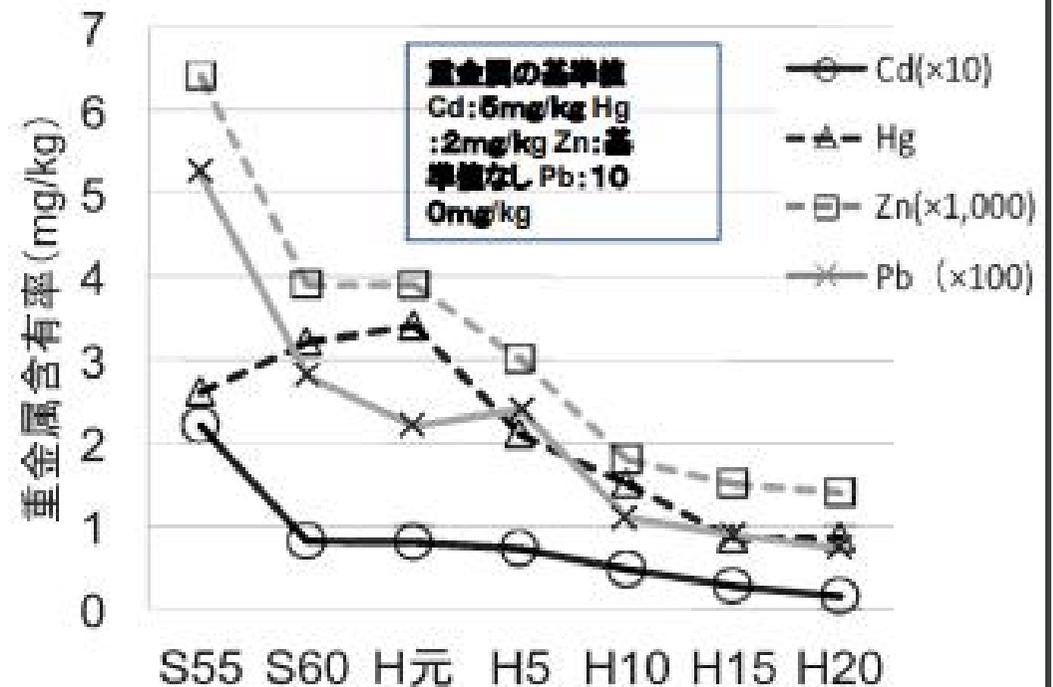


図 下水汚泥中重金属含有率

(A市下水処理場)

【表Ⅲ-4】 主要肥料の国内消費量とカドミウム負荷量

	消費量 (t/年)	カドミウム濃度 (mg/kg)	カドミウム負荷量 (kg/年)
化成肥料	1,713,151	2.53	4,334
過リン酸石灰	224,924	4.28	963
重過リン酸石灰	21,252	5.18	110
よう成リン肥	114,328	0.47	54
塩化加里	488,355	0.01	5
有機質肥料	947,728	0.07	66
合計 (樋口 ²³⁾)	3,509,738		5,532
	消費量 (t/年)	カドミウム濃度 (mg/kg)	カドミウム負荷量 (kg/年)
過リン酸石灰	68,032	4.01	273
よう成リン肥	96,130	0.04	4
重過リン酸石灰	8,064	5.30	43
焼成リン酸	72,892	4.01	292
高度化成肥料	1,823,518	2.98	5,434
普通化成肥料	367,257	2.63	966
合計 (Mishima ²⁴⁾)	2,435,893		7,012

- ★ リン酸肥料原料であるリン鉱石にわずかなカドミウムが含まれるため、リン酸肥料にも数mg/kgのカドミウムが含有されている。
- ★ 熔リンは製造段階で高温処理されるため、カドミウムは揮散する。
- ★ 汚泥肥料200kg/10a程度の施用量であれば、重金属リスクは化学肥料と同程度。

「みどりの食料システム戦略」では有機農業を推進

- ★ 現状の「みどり戦略」での有機農業の定義は；
 - ☆ 有機JAS認証を受けた農地で行われる農業
 - ☆ 有機JAS認証を受けていなくても、
有機JAS認証資材を施用して行われる農業
- ★ 汚泥肥料・菌体リン酸肥料は製造工程で化学的処理(凝集剤の添加)が加えられているため、有機JAS認証を受けることができない。
- ★ 国の方針と矛盾しないか！
- ★ 家畜糞堆肥や汚泥肥料などの有機質だけで現状の農業生産性を維持するにはそれらの多量施用が必要で、その結果「土のメタボ化」を助長する。
- ★ そこで、有機農業の定義を次のように変更すべきである！
「国内産バイオマス資源を最大限活用し、土の健康を損ねないように最少必要量の化学肥料(単肥)を併用して、農業生産に由来する環境への負荷をできる限り低減した農業生産の方法を用いて行われる農業」
- ★ すなわち、「有機物活用型農業」であり、略せば「有機農業」となる。



本日は、ご清聴頂き、 ありがとうございました。

ご意見・質問：igoto@nodai.ac.jp

最後に；

- ★ 下水汚泥は、日本農業における「肥やし(下肥)の原点」。
「鶴の一声」を待つまでもなく国産肥料原料として使うべき資源。
- ★ 2023年10月からの肥料法(肥料の品質の確保等に関する法律)改正で「菌体りん酸肥料」が新設され、肥料名・原料名から「汚泥」の汚名が返上された。
 - ☆ 窒素やカリ肥料との混合が可能となる。
- ★ 脱水汚泥を急速乾燥すると、堆肥化より窒素肥効が優る肥料となる。
 - ☆ 消化ガスによる発電余熱や汚泥焼却時の余熱を乾燥エネルギーとする。
- ★ 汚泥肥料を施肥に組み込む場合には、リン酸量を基本に設計し、不足する窒素とカリを化学肥料で補うことが望ましい。
 - ☆ 土壌診断室でも可能な汚泥肥料中の可給態養分分析法の開発が必要。
- ★ 今後、下水処理工程から多種多様な国産リサイクル肥料が開発・実用化されわが国の肥料自給率を高めると共に、
「健康な土づくり」に寄与することを期待したい。