

2023年8月8日（火）

下水汚泥と地域バイオマスから調製した 肥料の取組事例と今後の展開



国立高等専門学校機構
鹿児島工業高等専門学校
都市環境デザイン工学科

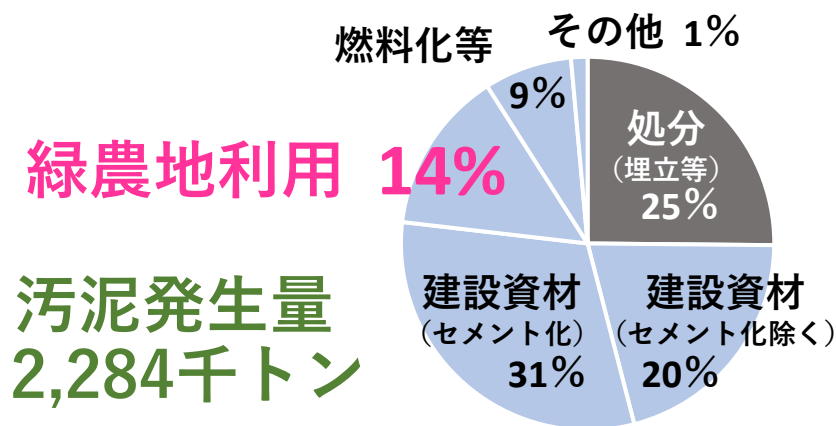
山内 正仁

研究背景

- 人間活動、生産活動によって発生した汚水を衛生的に処理する施設
- 質・量ともに安定した**バイオマス**が多量に排出
- ↓ **下水汚泥 等**

下水処理場

食料生産に利用する取り組み（BISTRO下水道）が産学官民の連携により行われている。



汚泥発生量
2,284千トン

下水汚泥の処分・有効利用内訳

[国交省：2020年度]

BISTRO下水道推進戦略チーム資料（2022.3）

17道府県
25市町村

下水汚泥肥料
再生水
CO₂・下水熱

下水汚泥の農業への
利用率向上は見られない。

● 下水汚泥の農業利用率が向上しない理由

【課題1】 水分を含むと泥状になり易く、利用者側にとって使い勝手が悪い。

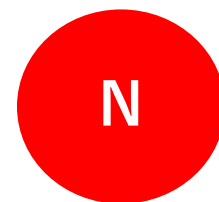


【課題2】 重金属含有量が牛糞堆肥、化成肥料等と比べ格段に高く、「汚泥肥料＝重金属＝危険」というイメージが先行。



【課題3】 葉菜類、果菜類の単年作物への利用、牧草への農地還元が主であり、利用用途が少ない。

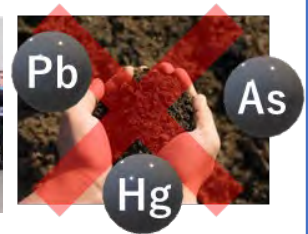
【課題4】 地域の一次産業と密接に連携し、下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが行われていない。



研究背景

課題1 課題2

- ・ 保水性が悪く、使い勝手が悪い
- ・ 重金属濃度が高く、
「危険」イメージが先行



解決策 [国土交通省下水道応用研究(H.29-30)]



研究背景

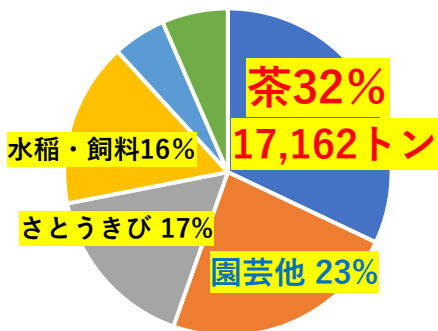
課題3 課題4

- ・ 野菜類、芋類などの単年作物への利用が主であり、利用用途が少ない。
- ・ 下水汚泥肥料の特性（高窒素・低カリウム）を最大限活用した取り組みが存在しない。地域産業との連携がない。

鹿児島県 荒茶生産量：26,500トン【全国シェアの34%】
(2021年度) 茶栽培面積：8,300ha → 霧島市：595ha（120経営体）



- 必要有機質資材：50～70kgN/10a/年
40～60万円/ha/年の肥料費 ▶ **茶農家の経営を圧迫**
- 堆肥施用、整せん枝残さの刈捨て等による土壌中のカリウムの蓄積が進み、安価な高N・低K肥料が求められている



JA鹿児島県経済連
肥料販売実績（2020年度）

下水汚泥肥料：微生物由来のNが多く、Kが少ない

従来の有機質資材の代替として活用できる可能性大

茶産業との連携 ▶ 下水汚泥の利用率向上につながる

研究目的

国土交通省下水道応用研究で得られた成果を基に、地域バイオマスの利用を通して、顧客ニーズに合致した新たな下水汚泥肥料を量産化（テーマ1）し、これを地域の茶産業に適用（テーマ2）して事業採算性の高い地域循環システムを構築する。

テーマ1：新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

- 小型肥料化装置の1,000倍量のスケールで新規下水汚泥肥料の製造および性能（無機化率）の再現性を検証する。

テーマ2：新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

- 有機質資材の代替としての利用可能か、茶葉収量・品質から評価。
- 新規下水汚泥肥料由来の窒素、重金属の茶樹・茶葉、土壌への影響を調査。

【下水汚泥堆肥（肥料）の施用ガイドライン（鹿児島県農政部：平成6年から引用）】
下水汚泥堆肥（肥料）は多量の重金属を含んでいることや消石灰混入による高pHであること等から、茶園には原則、施用しない。

上記ガイドラインにより、下水汚泥肥料を茶栽培に施用した事例はなく、ガイドラインの改定に向けた取組みも必要。

地域産業と連携した下水汚泥肥料の事業採算性の高い循環システムの構築（2020年度～2022年度）

【代表】 鹿児島工業高等専門学校

テーマ1：
新規下水汚泥肥料量産化技術の開発

研究分担 鹿児島工業高等専門学校
鹿児島県農業
開発総合センター
産業技術総合研究所

協力機関 霧島市
鹿児島市
株式会社三州衛生公社
株式会社日水コン

テーマ2：
新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培試験

研究分担 鹿児島工業高等専門学校
鹿児島県農業
開発総合センター

協力機関 ヘンタ製茶有限会社



公設機関、研究協力機関と連携して実施

新規下水汚泥肥料の量産化試験

協力機関：株式会社三州衛生公社 施設内にて量産化試験実施



新規下水汚泥肥料



重機による切返し状況

(切返し以外は内部への酸素供給なし)

原料配合割合
(%乾物)

下水汚泥：40
竹おが屑：30
米糠：20
焼酎粕：10

下水汚泥
米糠・竹おが屑
焼酎粕
下水汚泥
焼酎粕
米糠・竹おが屑
下水汚泥

積み上げ概略図

計4回 量産試験を実施

切返し時に資材の物理化学性、菌叢解析を行い、肥料化完了の指標を検討

新規下水汚泥肥料の肥料成分、重金属成分等进行分析し、既存の肥料等と各種成分、肥料効果（窒素無機化率）を比較。

肥料登録を念頭に置き、植害試験を実施

量産化による再現性を確認

新規下水汚泥肥料の量産化試験

新規下水汚泥肥料の成分特性

肥料	pH	C/N比	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr	粗繊維
			(乾物%)					(mg/kg 乾物)					(乾物%)	
新規下水汚泥肥料（目標値） （小型肥料化装置調製値）	7.5	11.0	4.0	3.2	1.5	0.4	0.9	0.3	3.8	2.6	N.D.	4.7	8.9	43.9
新規下水汚泥肥料（1回目）	7.2	11.0	3.6	3.2	1.2	0.4	0.8	0.2	1.5	N.D.	0.19	3.8	3.6	-
（2回目）	7.1	11.0	3.9	3.1	1.0	0.3	0.4	0.2	2.1	N.D.	0.11	4.3	4.1	33.6
（3回目）	7.2	11.0	3.7	2.6	1.1	0.3	0.5	0.2	1.0	1.0	0.03	4.1	3.7	31.1
（4回目）	7.3	12.0	3.8	3.6	1.3	0.4	0.7	0.2	2.1	1.7	0.05	3.9	3.7	33.3
下水汚泥肥料(A)*	8.4	6.7	4.4	5.8	0.7	11.7	1.0	0.9	11.0	7.8	0.5	31.8	25.2	9.7
下水汚泥肥料(B)*	7.7	7.6	3.8	5.3	0.2	8.4	0.9	1.4	15	5.0	0.38	13.0	36.0	-
牛糞堆肥**	7.0	16.4	1.9	3.2	4.3	1.4	1.2	N.D.	1.0	0.5	N.D.	3.2	1.9	39.4
配合肥料1***	7.4	1.0	13.2	2.2	2.4	1.7	5.5	0.4	N.D.	N.D.	0.04	77.5	565	2.5
配合肥料2***	6.6	3.1	7.8	3.9	2.5	2.7	5.0	0.9	1.1	N.D.	0.05	32.9	786	4.5

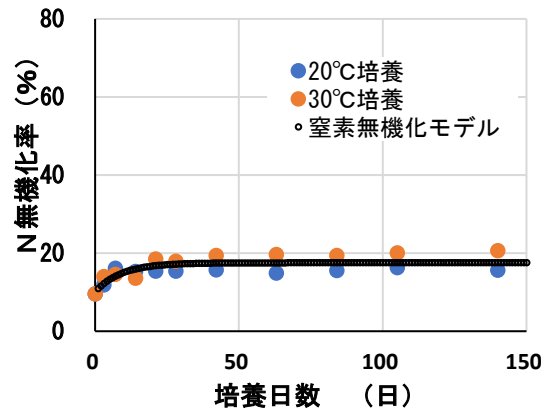
* 市販されている下水汚泥肥料 ** 牛糞、油粕などを混合して調製された堆肥 *** 配合肥料1, 2 茶栽培で利用される一般的な有機配合肥料
N.D.：検出限界値以下 -：測定無し

- 量産化した新規下水汚泥肥料の成分は小型肥料化装置（目標値）と同程度
- 重金属量は既存の下水汚泥肥料と比較して低く、牛糞堆肥、配合肥料と同レベル
- 量産化試験（1～4回目）の新規下水汚泥肥料を比較すると、肥料の品質の確保等に関する法律に規定されている**主要成分（窒素全量、リン酸全量、カリ全量）の誤差許容基準±20%を全ての成分で満足**
顧客ニーズにあった成分特性を有する肥料を調製することができ、再現性も確認できた。

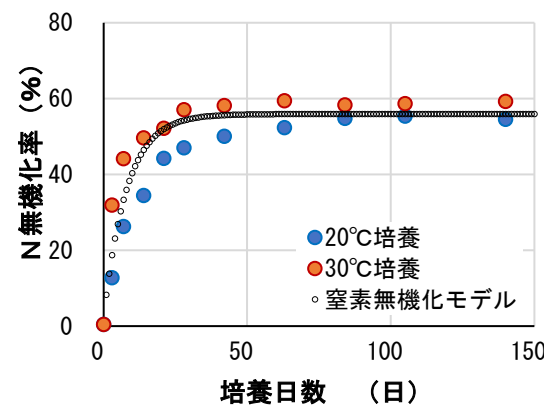
新規下水汚泥肥料の窒素無機化試験

新規下水汚泥肥料は、どのような特徴をもつ肥料なのか？

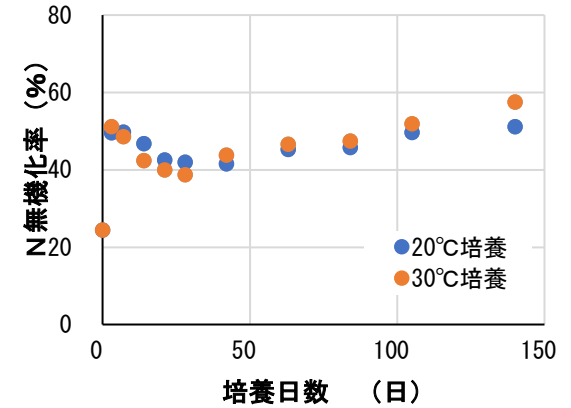
茶園土壌で施用したときの窒素の効き方について、代表的な有機物と比較した。



牛糞堆肥



菜種油粕



新規下水汚泥肥料

- ・硝酸態窒素を10.2%含む
- ・易分解性の窒素は7.4%
- ・窒素肥料的効果は小さく、土づくり資材として施用

- ・無機態窒素を殆ど含まない1.95%
- ・易分解性の有機態窒素は54.0%
- ・窒素の肥料的効果は大きい、窒素無機化速度は地温で変わる

- ・アンモニア態窒素を47.4%含む
- ・易分解性の有機態窒素は12.2%
- ・速効性のアンモニア態窒素、有機態窒素を含む茶栽培に適した肥料

注1) 窒素は、無機態窒素と有機態窒素に分けられる。

2) 無機態窒素は作物がすぐ利用できる窒素で、硝酸態窒素とアンモニア態窒素がある。一般に作物は硝酸態窒素を利用するが、茶はアンモニア態窒素も吸収する。硝酸態窒素は降雨等で流されやすい欠点がある。

3) 有機態窒素は土壌微生物によって無機化され、無機態窒素となって作物に吸収利用される。無機化速度は温度依存性。

供試作物の種類 及び品種

種類：コマツナ
品種：極楽天

対照肥料区（発芽率：90～100%）と比較して同等

標準区、対照肥料区
と比較して、施肥量
の増加に合わせて生
体重指数が増加

植物の成長促進効果を示唆



供試肥料区、対照肥料区：各肥料中のN量を100～400mg/ポットに固定。加えて、化学肥料を25mg/ポット添加。

10

6

100933 2406

登 録 証

氏名又は名称及び住所

東京都八王子市東浅川町701番2

独立行政法人国立高等専門学校機構

登 録 番 号 生第 106792 号

登 録 年 月 日 令 和 3 年 7 月 12 日

登 録 の 有 効 期 限 令 和 6 年 7 月 11 日

肥 料 の 種 類 汚泥発酵肥料

肥 料 の 名 称 バイオ肥料農専

含有を許される植物にと 普通肥料の公定規格中汚泥発酵肥料の「含有を許される有害成分の最大量」及び「その他の制限事項」とおり。
量 そ の 他 の 規 格

肥料の品質の確保等に関する法律第7条の規定に基づき上記のとおり登録したことを証する。

令 和 3 年 7 月 12 日

農林水産大臣 野上 浩太郎

管理番号 102-1030000544825

登録年月日：2021年7月12日

登録番号：生第 106792 号

肥料の種類：汚泥発酵肥料

肥料の名称：バイオ肥料 農専



● 新規下水汚泥肥料の最適配合割合の検討

実施場所：ヘンタ製茶（霧島市）

試験方法

供試材料：‘やぶきた’成木（定植後12年）

栽培間隔：二条植え・ちどり植え
（50cm間隔）

栽培面積：18.0m²（1.8m×10m）
個体数：42本

施肥時期：8月、10月、2月、3月、4月、5月、6月の7回（50kgN/年間）

新規下水汚泥肥料：8月・10月（最大5kgN/10a）、2月・3月（最大7kgN/10a）

収穫時期：一番茶：4月下旬～5月上旬、二番茶：6月中旬、秋番茶：10月中旬

調査項目：新葉数、新芽長、全芽数、全芽重、出開度、収量、
茶葉成分（テアニン、カテキン、重金属等）、土壌成分（pH、重金属等）

試験区

① 菜種油粕100%区（対照区1：慣行施肥区）

② 新規下水汚泥肥料50%+菜種油粕50%区

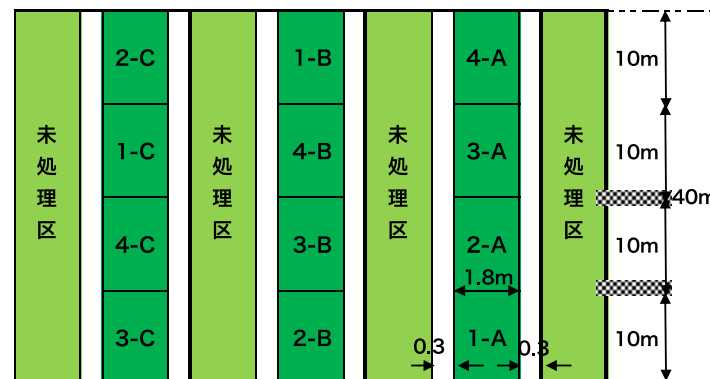
③ 新規下水汚泥肥料100%区

④ 配合肥料区（対照区2）

左記4条件を3反復



栽培茶園



試験区配置図

新規下水汚泥肥料の最適施肥割合の検討

一番茶の収量、茶葉成分、茶葉重金属含有量

試験区	収量 (10a)	茶葉成分			茶葉重金属含有量					
	一番茶	全窒素	遊離アミノ酸	テアニン	As	T-Cr	Ni	Cd	Pb	T-Hg
	(kg)	(乾物%)			(mg/kg乾物)					
1 慣行施肥区	630 ± 19 b	5.2 ± 0.3	3.4 ± 0.3	1.8 ± 0.2	N.D.	0.7 ± 0.27	4.2 ± 0.2	N.D.	0.2 ± 0.1	N.D.
	450 ± 32	5.4 ± 0.1	3.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	N.D.	0.31 ± 0.11	4.3 ± 0.3	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
2 新規下水汚泥肥料 (50%) 区	620 ± 36 b	5.1 ± 0.2	3.4 ± 0.2	1.8 ± 0.1	N.D.	0.6 ± 0.20	3.9 ± 0.4	N.D.	N.D.	N.D.
	461 ± 32	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2	1.7 ± 0.2	N.D.	0.24 ± 0.06	4.7 ± 0.2	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
3 新規下水汚泥肥料 (100%) 区	667 ± 31 ab	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.1	1.7 ± 0.1	N.D.	0.89 ± 0.31	4.6 ± 0.4	N.D.	N.D.	N.D.
	494 ± 22	5.2 ± 0.1	3.3 ± 0.2	1.7 ± 0.1	N.D.	0.35 ± 0.12	5.3 ± 1.2	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.
4 配合肥料区	717 ± 27 a	5.2 ± 0.1	3.5 ± 0.1	1.8 ± 0.1	N.D.	0.41 ± 0.10	3.9 ± 0.1	N.D.	N.D.	N.D.
	511 ± 60	5.5 ± 0.1	3.4 ± 0.3	1.8 ± 0.1	N.D.	0.31 ± 0.10	5.0 ± 0.7	N.D.	0.1 ± 0.1	N.D.

* 平均値±標準偏差を示す。Tukeyの多重比較により5%水準で有意差あり (N=3)。

上段：2021年度 下段：2022年度

- 【収量】● 新規下水汚泥肥料施肥区の収量は慣行施肥区と有意差なし
- ※2022年収量は、2021年10月に茶園更新作業を実施したため、2021年より収量減となっている。
- 【主要成分】● 試験区間の有意差なし
- 【茶葉中の金属・重金属】Codex基準 (As : 2mg/kg Pb : 1mg/kg T - Hg : 0.5mg/kg以下)
- 全試験区でAs、Cd、T-Hgは検出なし。試験区間の有意差なし

新規下水汚泥肥料の施肥による茶葉の収量、品質への影響は現段階では認められず、菜種油粕全量（100％）を新規下水汚泥肥料に置換することが可能

● 新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討

品種：やぶきた（成木園） 実施場所：鹿児島県農業開発総合センター圃場

試験区の構成

試験区	施肥 時期	施肥窒素配分（kgN/10a）							年計
		秋肥(1)	秋肥(2)	春肥(1)	春肥(2)	芽だし	夏肥(1)	夏肥(2)	
		8月上旬	9月上旬	2月上旬	3月上旬	3月下旬	5月上旬	6月下旬	
1	秋肥区	5.0 ^a	5.0 ^a	7.0 ^c	7.0 ^c	8.0 ^d	8.0 ^b	10.0 ^c	50.0
2	春肥区	5.0 ^b	5.0 ^b	7.0 ^a	7.0 ^a	8.0 ^d	8.0 ^b	10.0 ^c	50.0
3	秋春肥区	5.0 ^a	5.0 ^a	7.0 ^a	7.0 ^a	8.0 ^d	8.0 ^b	10.0 ^c	50.0
4	対照区	5.0 ^b	5.0 ^b	7.0 ^c	7.0 ^c	8.0 ^d	8.0 ^b	10.0 ^c	50.0

注) a：新規下水汚泥肥料(3.1-5.3-0.6)，b：有機配合(7-2-2)，c：有機配合(11-1-2)，
d：硫安（21-0-0） ※（ ）内は（N-P₂O₅-K₂O）の現物値を示す。

- **試験規模**：18m²（1.8m×10m） 各試験区を3反復
- **調査項目**：出開度、収量、摘芽中の成分、荒茶品質、土壌化学性

新規下水汚泥肥料の効果的な施肥時期の検討

一番茶の収量、茶葉成分、茶葉重金属含有量									
試験区	収量 (10a)	茶葉成分		茶葉重金属含有量					
	一番茶	全窒素	遊離アミノ酸	Cd	Pb	As	T-Hg	Ni	Cr
	(kg)	(乾物%)		(mg/kg乾物)					
秋肥区	481	5.6	4.5	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	3.8	0.1未満
	378	6.0	4.7	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	5.7	0.1未満
春肥区	441	5.6	4.4	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	3.8	0.1未満
	327	6.1	4.4	0.1未満	0.21	0.1未満	0.01未満	4.5	0.1
秋春肥区	430	5.6	4.3	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.1	0.1未満
	350	6.0	4.2	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.4	0.1未満
対照区	433	5.4	4.0	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.01未満	4.2	0.1未満
	351	6.0	4.3	0.1未満	0.21	0.1未満	0.01未満	4.4	0.1
分散分析	ns	ns	ns					ns	
	ns	ns	ns					ns	

注 1) ns;p>0.05を示す。

上段：2021年度 下段：2022年度

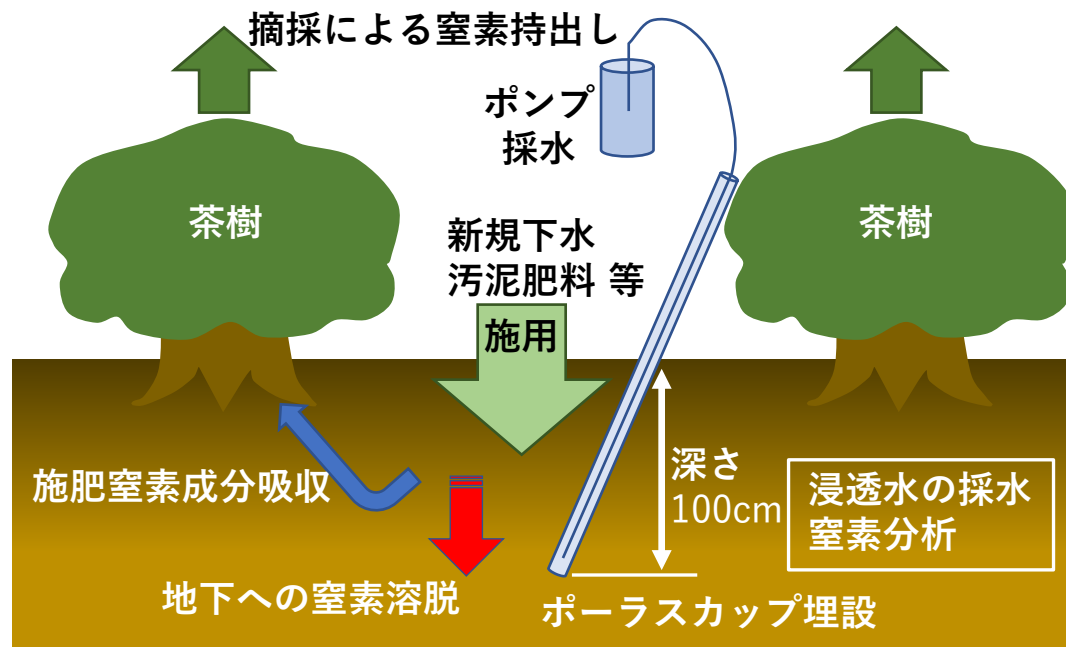
【一番茶収量】

- 試験区間で有意差は見られなかったが、秋肥区が最も多くなる傾向
- やや早い摘採（出開度：56～63％）のため、収量は全試験区で目標値(582kg/10a)以下

【茶葉中の成分・重金属含有量】 ● 試験区間の有意差なし

新規下水汚泥肥料は秋肥資材としての施用が特に効果的

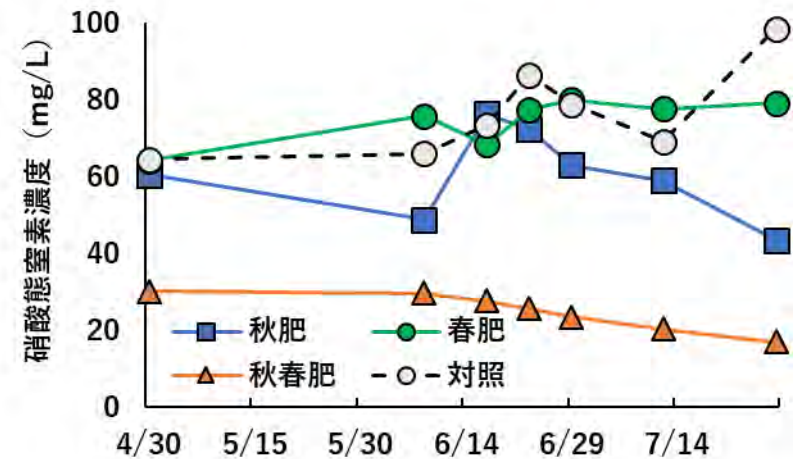
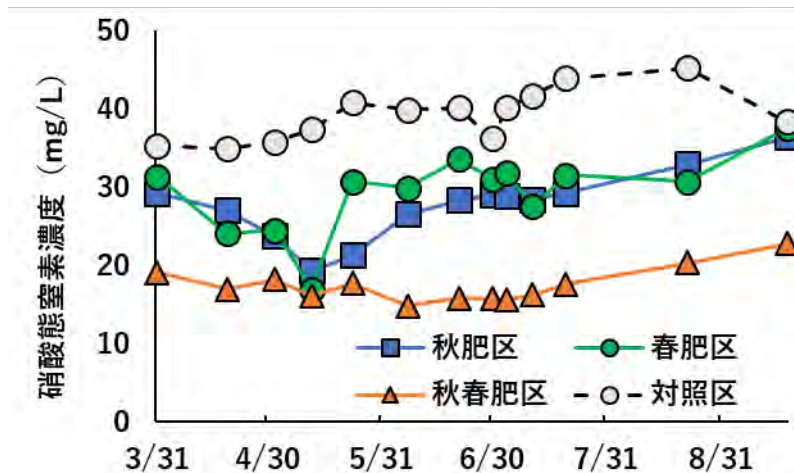
新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



土壤からの窒素溶脱は降雨量の多い時期（梅雨、台風時など）に集中

- 各試験区（秋肥区、春肥区、秋春肥区、対照区）にポラスカップを埋設後、降雨に合わせて採水し、浸透水の窒素分析を実施。
各試験区の窒素溶脱量を比較し、**新規下水汚泥肥料の環境への影響**を検討

● 新規下水汚泥肥料の地下水への窒素溶脱量の評価



茶園土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移（左：2021年度、右：2022年度）

- 対照区（有機配合肥料使用）と比較すると、
新規下水汚泥肥料を用いた試験区の硝酸態窒素濃度が低くなる傾向が見られた。
- 特に秋肥、春肥に新規下水汚泥肥料を用いることが、より効果的であった。

新規下水汚泥肥料は有機配合肥料に比べ、窒素溶脱量が少なく、環境負荷が小さいことが示唆された。

これまでの成果のまとめ

- **新規下水汚泥肥料の量産化：**
新規下水汚泥肥料の量産化試験、窒素無機化試験及び植害試験を通して、肥料の主要成分の再現性（肥料の品質の確保等に関する法律の誤差許容基準（±20%）以内）、安全性等を確認。また、肥料登録を行い、市場に流通可能な肥料の量産化技術を確立した。
- **新規下水汚泥肥料を用いた茶栽培：**収量性、茶葉品質から慣行施肥区と同等以上の成果が得られ、菜種油粕の代替肥料として100%利用可能
- **施肥時期の検討：**新規下水汚泥肥料を秋肥、春肥および秋肥・春肥として利用可能
- **茶園土壤中の金属・重金属含有量：**茶園土壤への影響なし
- **新規下水汚泥肥料の窒素溶脱：**新規下水汚泥肥料は窒素溶脱が少なく、有機配合肥料と比較して、環境に優しい肥料である。

新たな課題が発生

- 新規下水污泥肥料（茶栽培用污泥肥料）の施肥の効率化：
菜種油粕の窒素含有量は**5.3%**であり、新規下水污泥肥料（茶栽培用污泥肥料 **N:3.1%**）の1.7倍高い。
同じ窒素量を施肥するためには、新規下水污泥肥料は**菜種油粕の1.7倍程度**の量が必要となり、**施肥の効率化**が求められる。

新規下水污泥肥料（茶栽培用污泥肥料）をペレット化し、
実規模での利用技術の確立を図る。



バラ肥料



ペレット肥料



出典：松元機工HP

乗用型肥料散布機

- 茶栽培以外への下水污泥肥料の展開：

鹿児島市では年間約10,000 t の污泥肥料が製造されている（全国1位）。肥料メーカーへの出荷や家庭菜園への利用がほとんどであり、新たな利用法の開発が必要。

下水污泥肥料は窒素・リン酸が多く含まれており、カリが少ない。そのため、**カリが必要な作物へは成分調整が必要**。

污泥肥料と**カリが豊富な資材（焼酎粕等）を用いて造粒化し、カリの増強を目指す。**

茶以外の作物への栽培試験を実施し、収量・品質等から適用作物の多用途化を図る。



カリ成分を増強し、適用作物の多用途化

コンソーシアム設立（2023年5月設立）

農研機構（九州沖縄農業研究センター、農業環境研究部門）、鹿児島市水道局、霧島市上下水道部、鹿児島工業高等専門学校、鹿児島県農業開発総合センター、三州衛生公社、ヘンタ製茶、日水コン（**8機関**）

PRイベント等の開催

- ・ 下水道資源の魅力を知って頂くためのイベント開催
- ・ 研究成果の発信や参加者からの意見を収集し、下水汚泥肥料の活用促進につなげる



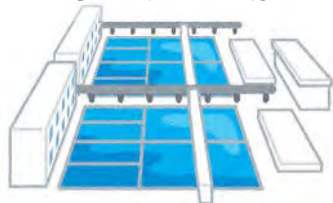
BISTRO下水道 in 霧島 4thの開催風景

2021年12月22日（水）開催

（農業従事者、市民、自治体関係者など130名（定員100名）が聴講）

地域バイオマスの活用による下水汚泥の地域循環システムの構築

下水処理場



新下水汚泥肥料

造粒汚泥肥料（開発）：カリを増強し、作目の適用範囲を拡大

茶栽培用汚泥肥料（改良）：ペレット化し、実規模で適用



竹おが屑



米糠

甘藷
焼酎粕



地域バイオマス

肥料化



既存
下水汚泥肥料

カリ増強



造粒
汚泥肥料
（開発）



かんしょ 園芸作物 等
多様な作目へ適用



肥料化



新規下水汚泥肥料
（茶栽培用汚泥肥料）



ペレット化
（改良）



茶栽培
実規模での利用



9 産業と技術革新の
基盤をつくろう



12 つくる責任
つかう責任



ご清聴ありがとうございました

15 陸の豊かさも
守ろう



2 飢餓を
ゼロに



11 住み続けられる
まちづくりを

