



2023年10月12日
令和5年度畜産環境シンポジウム

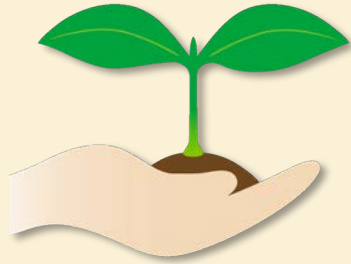
堆肥から広がる 農畜産業の持続可能性

国立大学法人北海道国立大学機構

帯広畜産大学 環境農学研究部門 教授 宮竹史仁

第1章 なぜ今「堆肥」が重要なのか

- ・ 堆肥を使う理由とは？
- ・ 肥料、敷料の代替としての堆肥利用



第2章 堆肥化から環境問題を考える

- ・ 温室効果ガスにどう対処するか？
- ・ 研究紹介：堆肥化ロボット、バイオ炭



堆肥利用による循環型社会の形成

生ごみ・家畜排せつ物

生ごみ



家畜ふん尿



有機肥料（堆肥）をつくる



人や家畜への供給



農作物や飼料を育てる



堆肥で土壌劣化を防止する



昔は堆肥を利用するのが当たり前



戦後、化学肥料に**極度**に依存



土がやせ、作物の生育が悪化



土壌劣化
世界的な問題

堆肥投入による**土づくり**を再認識



畜大JICA研修：堆肥作り
なぜ、遠い日本で学ぶのか？



アフリカからの研修生多数

堆肥で肥料資源の確保を

化学肥料の使用量

鉱物・石油原料



肥料工場
化学肥料

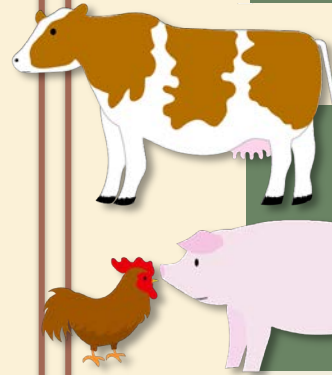
日本の
年間施用量

窒素	67万トン
リン酸	75万トン
カリ	60万トン

畜産環境保全論
(養賢堂) より

家畜ふん尿の肥料成分

飼料



牛・豚・鶏など
家畜ふん尿

未利用資源
更に活用可

8,000万+

窒素	68万トン
リン酸	45万トン
カリ	55万トン

Ca, Mg, Zn等 + α
二次・微量元素

土壌物理性改善

※肥効率は無視

堆肥を使うことで持続的な肥料資源の活用を！

化学肥料の代替としての堆肥



農作物価統計調査より作成

西暦



ベースは堆肥で
栄養分補給・土作り



堆肥

作物に足りない
栄養を化学肥料で



化成肥料



成分調整した堆肥の効果 (写真は有機資材のみで調整もの)

コマツナ

成分調整堆肥バラ

成分調整堆肥ペレット

牛ふん堆肥

無施肥

バラ堆肥

標準

2倍

3倍

標準

2倍

3倍

標準

2倍

3倍

ナス

※窒素量は同じ

化学肥料

牛ふん堆肥

成分調整堆肥

ペレット堆肥

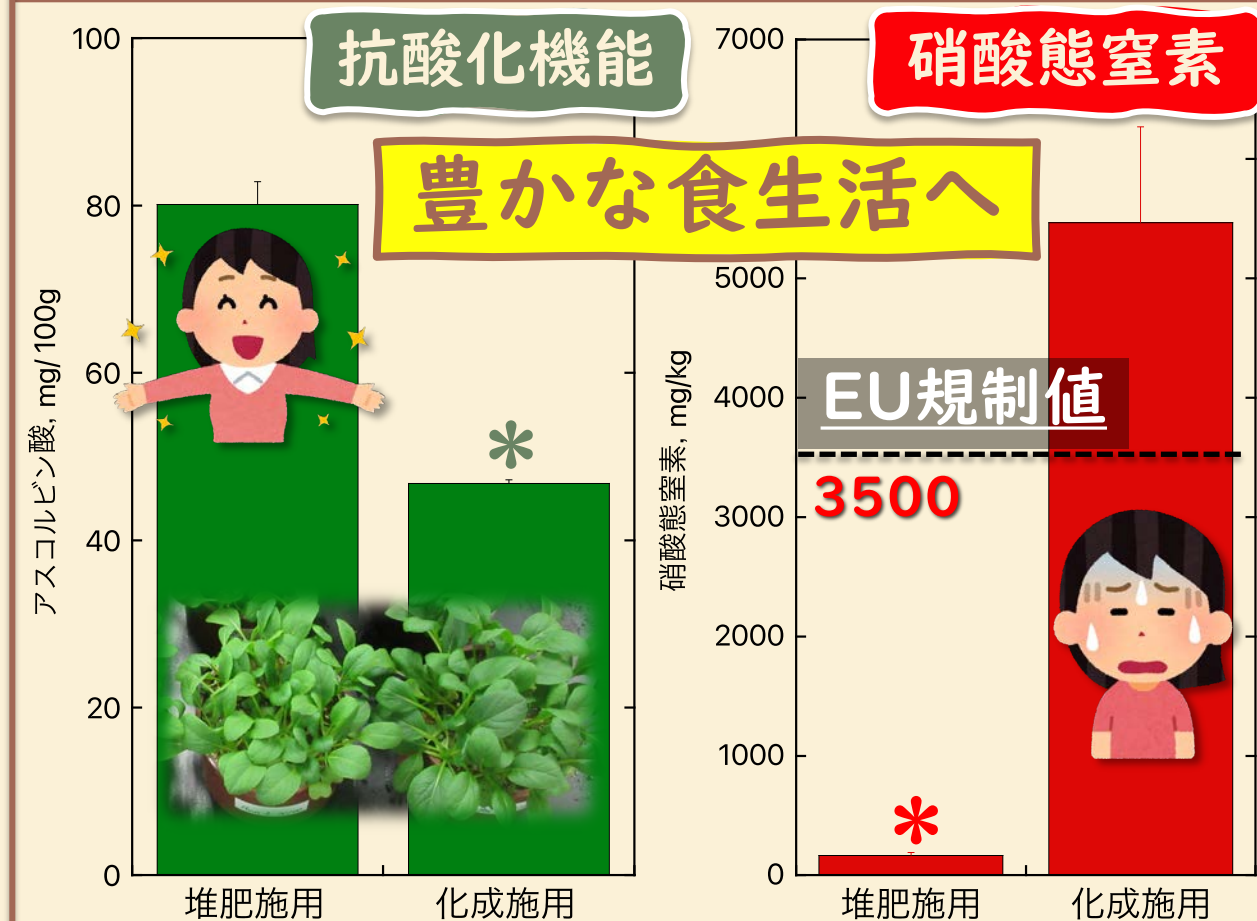
人参

化成肥料＋堆肥

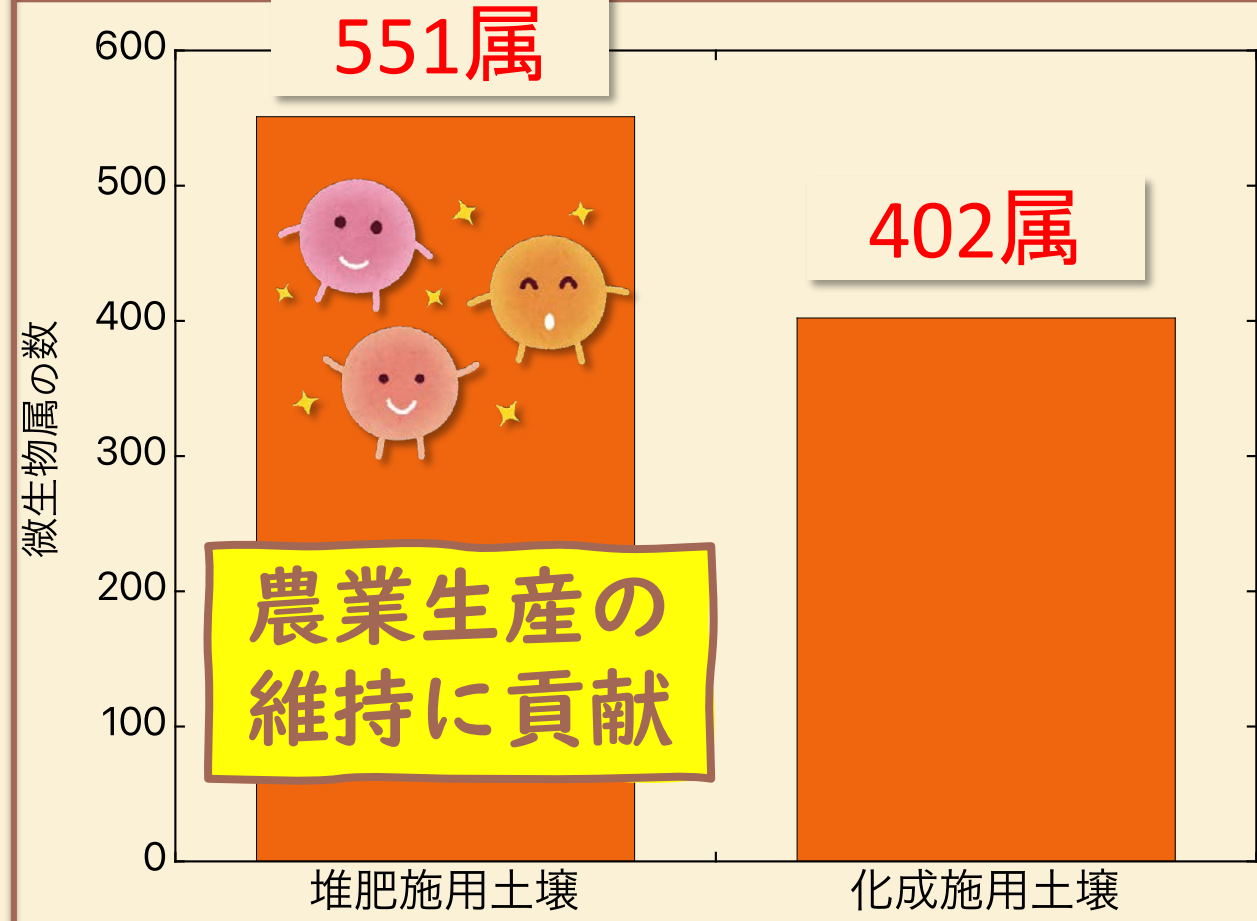
→ 混合堆肥複合肥料

堆肥施用による作物品質と土壌微生物

作物の品質向上

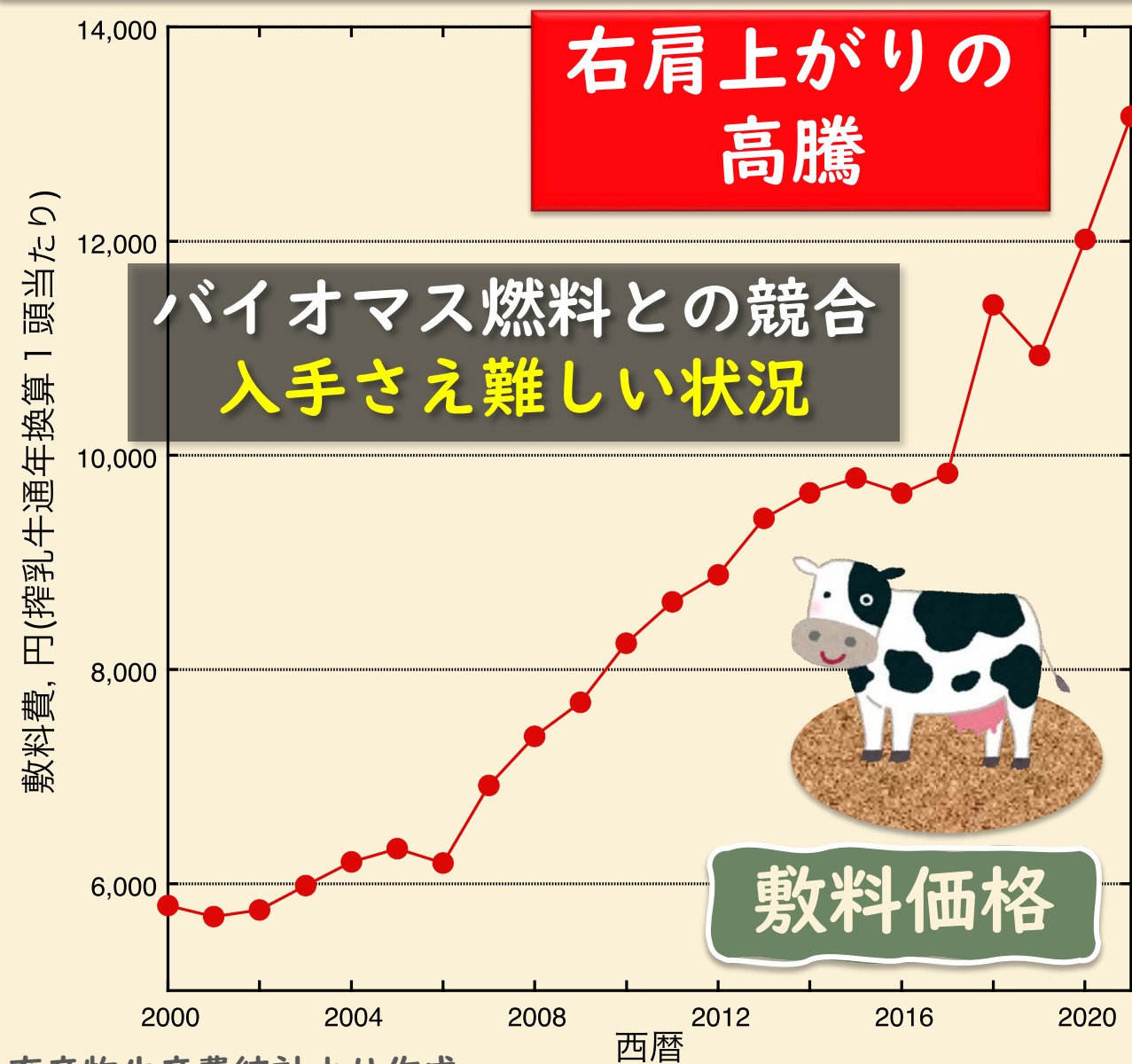


土壌微生物の多様性増加



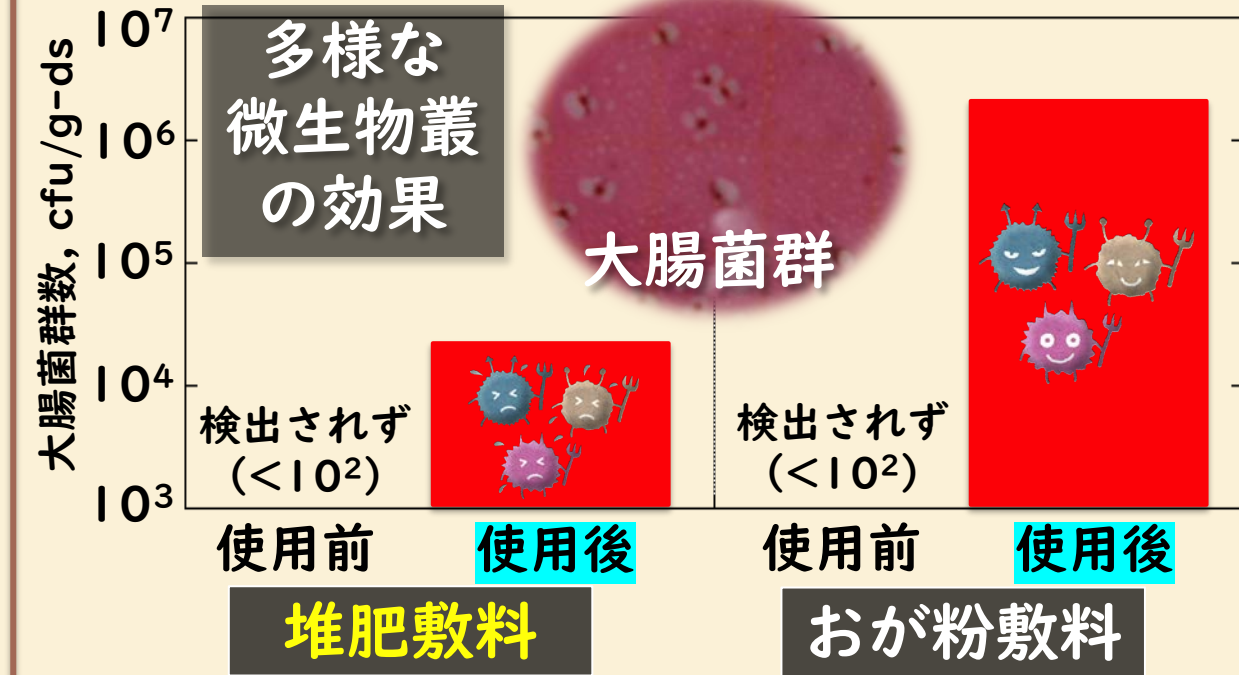
堆肥の施用で「生態系サービス」を持続させる

敷料の代替としての堆肥



堆肥敷料の効果

病原性微生物の抑制



環境性大腸菌やクレブシエラ菌を抑制
 ➡ 環境性乳房炎の抑制に効果か？

堆肥化作業の簡略化



含水率 70%以下：本州の堆肥化可能
 ➡ 堆肥化の水分調整作業の省力化

作業体系に組込むことで効果を最大限に引き出す

牛舎の未来：Compost bedded pack barn

つなぎ飼い牛舎

AW問題



フリーストール牛舎



畜大：FS→FB牛舎に



カウ・コンフォート向上

フリーバーン

深床式の堆肥牛床：発酵床・バイオベッド

Compost bedded pack barn: CBP



Abele et al. (2022) Processesより

- ・ 大量の敷料（堆肥等）使用：30～100 cm
- ・ ロータリー攪拌は必須
- ・ 6～12ヶ月毎交換（省力化）

牛の快適性が高い
世界のトレンドへ

牛にも人にも
やさしい

良質な堆肥を使おう！

12

原田（1983）「現地における熟度判定基準」で堆肥分類

肥料や敷料の代替には良質な堆肥を！

未熟堆肥

中熟堆肥

完熟堆肥

チモシー
窒素量は同じ

GHG
排出量

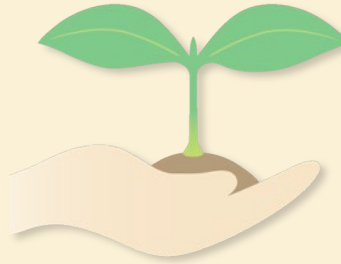
大

中

小

第1章 なぜ今「堆肥」が重要なのか

- ・ 堆肥を使う理由とは？
- ・ 肥料、敷料の代替としての堆肥利用



第2章 堆肥化から環境問題を考える

- ・ 温室効果ガスにどう対処するか？
- ・ 研究紹介：堆肥化ロボット、バイオ炭



堆肥化からの環境負荷ガス排出



【国内】

家畜排せつ物管理からの
GHG排出量は全体の**0.5%**
(農林水産分野：3.9%)

全体的に見ると
僅かな量だが…

世界的に
拡大傾向

GHG抑制が
良質な堆肥の生産に

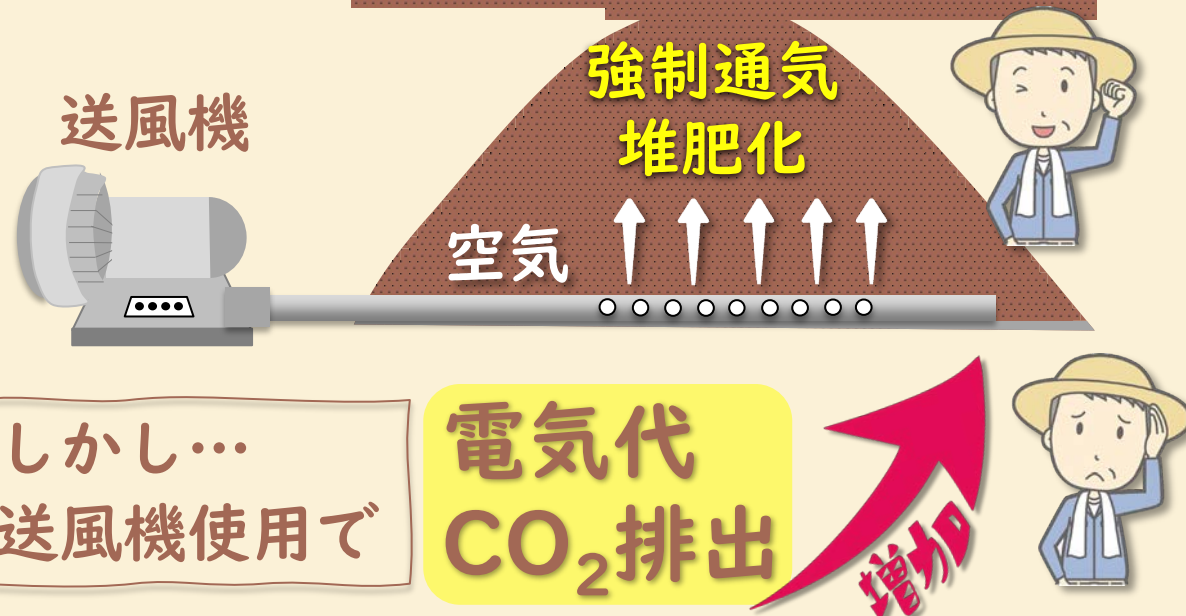


良質な堆肥が圃場からの
GHG排出量も抑制

農家さん目線でのGHG排出抑制を

生産コストの削減につなげる

- ・ 強制通気の堆肥化はGHG排出抑制
- ・ 短期間で良質な堆肥の生産が可能



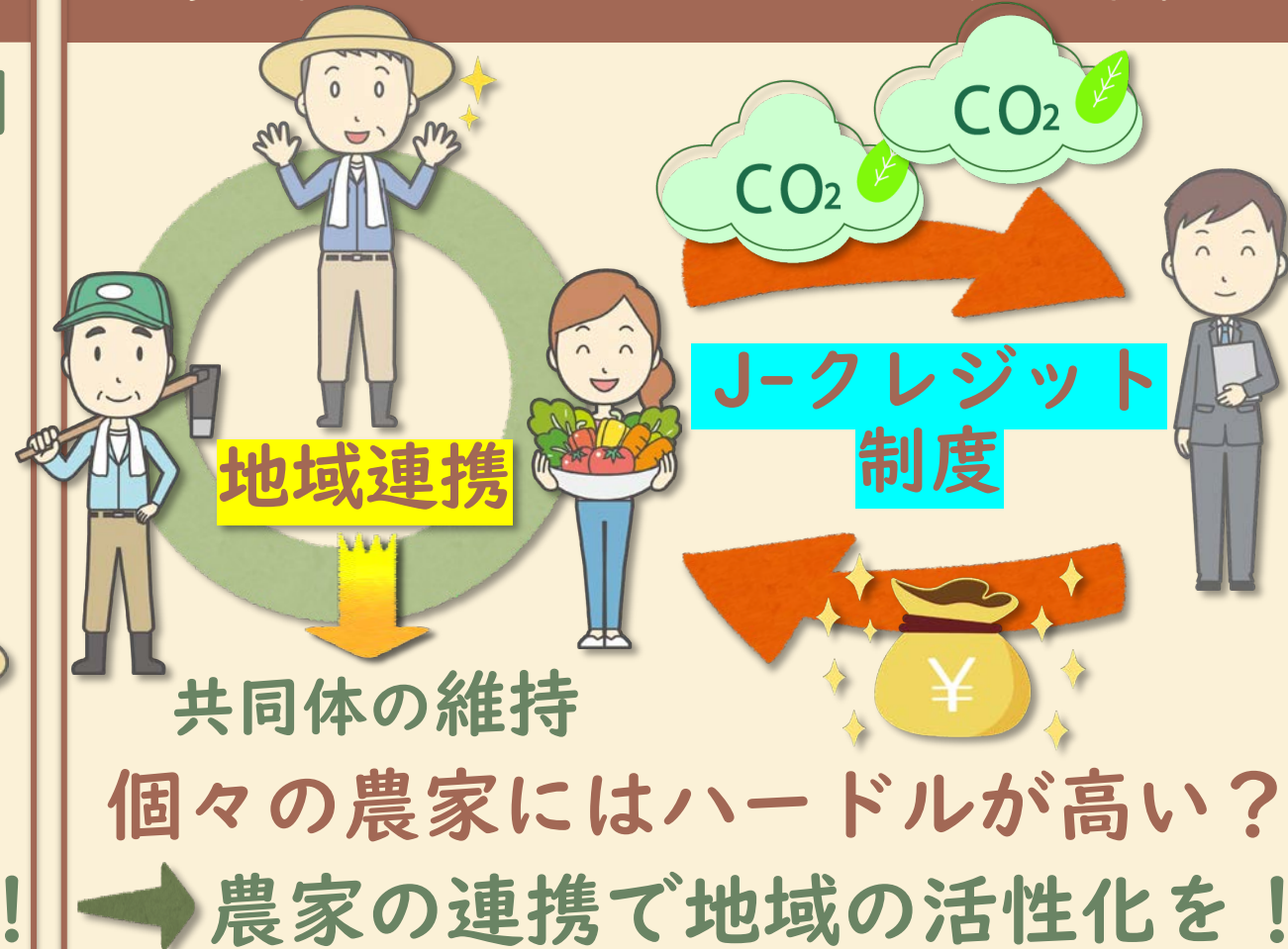
しかし…
送風機使用で

電気代
CO₂排出

増加

➡ 実感できる生産コスト削減を！

ご褒美（クレジット）と地域の連帯化



共同体の維持

個々の農家にはハードルが高い？

➡ 農家の連携で地域の活性化を！

GHG排出抑制には目に見える形での報酬が必要

堆肥化からのGHG排出抑制

機器・機械システムの導入

省エネ機械の導入（維持管理費の低減と省力化も）

ホイールローダー



CO₂削減



機械攪拌

堆肥材料への通気量をコントロール

インバーター導入や間欠(ON-OFF)通気

➡ N₂O, CH₄ 削減 & CO₂ 削減

Co-Composting

ガス吸着能がある機能的資材を
堆肥材料に混合して堆肥化



生物資源（木や竹、もみ殻等）の炭化物

➡ N₂O, CH₄ 削減 & NH₃ 削減

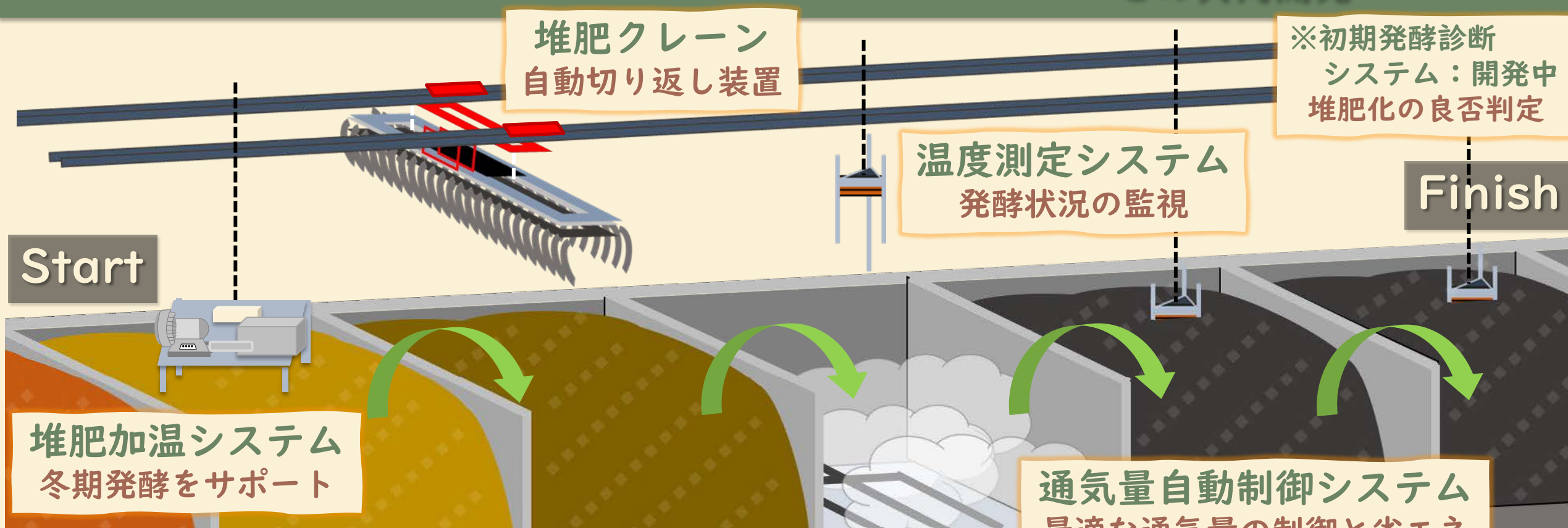
➡ 土壌施用で炭素貯留も期待大

堆肥を「つくる」と「つかう」のビジョンが必要

研究例Ⅰ：堆肥化ロボット

岡本製作所（栃木県）
との共同開発

17



堆肥材料の水分調整から
堆肥貯蔵庫への運搬まで

完全自動化も可能

堆肥化ロボットの構成技術

個別技術ごとの
導入も可能

18



堆肥クレーン

温度測定システム



通気量自動制御システム



堆肥加温システム

- 【省エネ】 電気代が1/10に
- 【省力化】 全自動で堆肥づくり
- 【品質向上】 衛生面UP・発酵促進
- 【環境性】 温暖化ガス60%削減
- 【寒冷地対策】 厳冬期でも発酵促進

堆肥化ロボットのコア技術 I

堆肥クレーン



- ・搾乳牛150頭で電気代：約12万円/年
- ・一掴みで最大2トン運搬 (R5.8月電気料金で計算)

堆肥加温システム

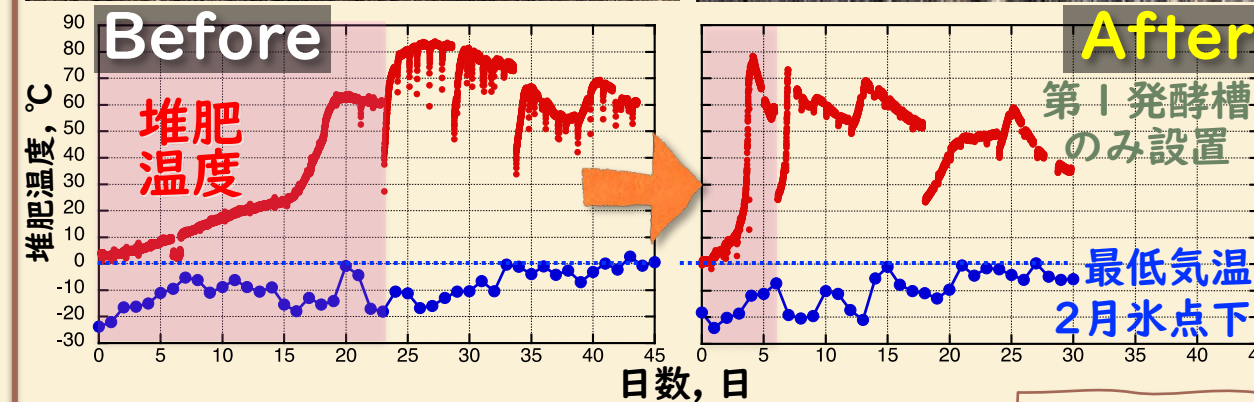
70℃以上
直接堆肥へ



熱風発生機



特願2022-097749



- ・1台分の電気代：約3万円/月
- ・間欠暖房運転、自動停止機能

さらに
削減可

堆肥化ロボットのコア技術2

J-クレジット
活用できないか？

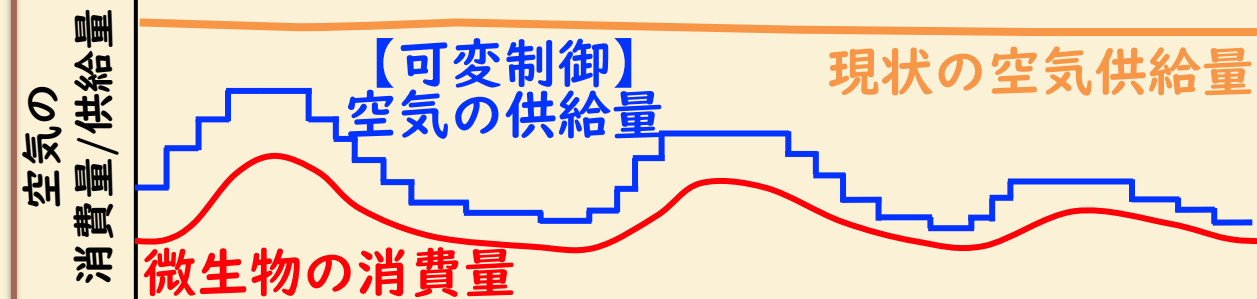
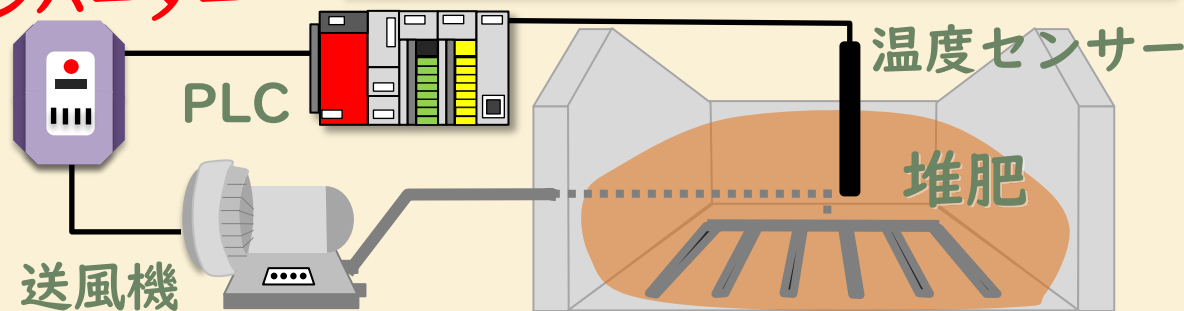
通気量自動制御システム（2種類）

インバータ
可変制御型

特許5565773

発酵状況に応じて**適切かつ
最低限の空気量を自動供給**

インバーター

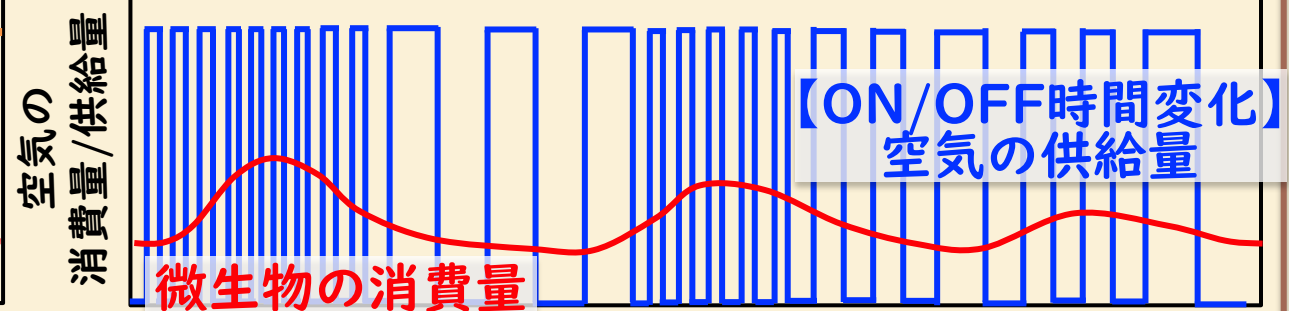
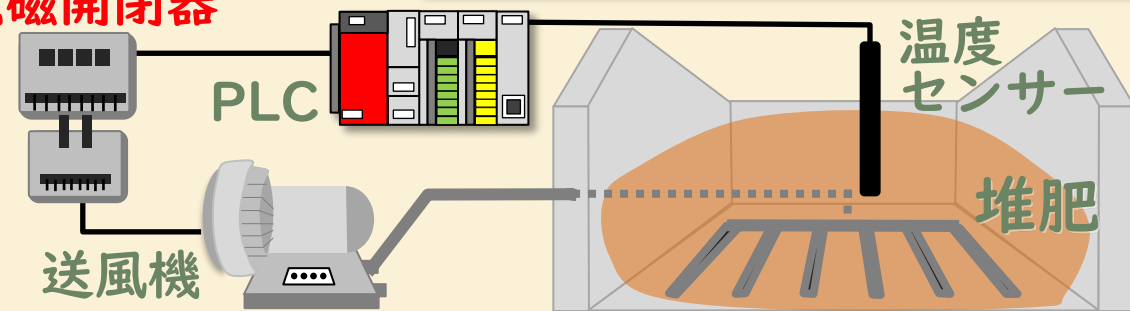


時間変動型
ON/OFF制御

特許6889933

発酵状況に応じて**通気の
ON/OFFの時間を変動**

電磁開閉器



- ・電気代（通常の連続通気と比較して）：約 60～80% 削減（CO₂も削減）
- ・温室効果ガス N₂O + CH₄：約 60% 以上削減
- ・堆肥発酵の促進：高温の持続

堆肥化ロボットのコア技術3

温度測定システム

特許6910606

攪拌機の作動に応じて
自動で堆肥材料に抜き差し



- ・堆肥温度を監視, IoT対応可: **見える化**
- ・堆肥化の品質保証: **GAP認証の証明**に

初期発酵診断システム

堆肥現場では**人手・知識不足**が課題



今後の改善はまず見込めない

現場指導も限界が...



発酵を**自動診断**、将来は**自動解決**

発酵を数値解析

良否判定



開始から
48時間以内



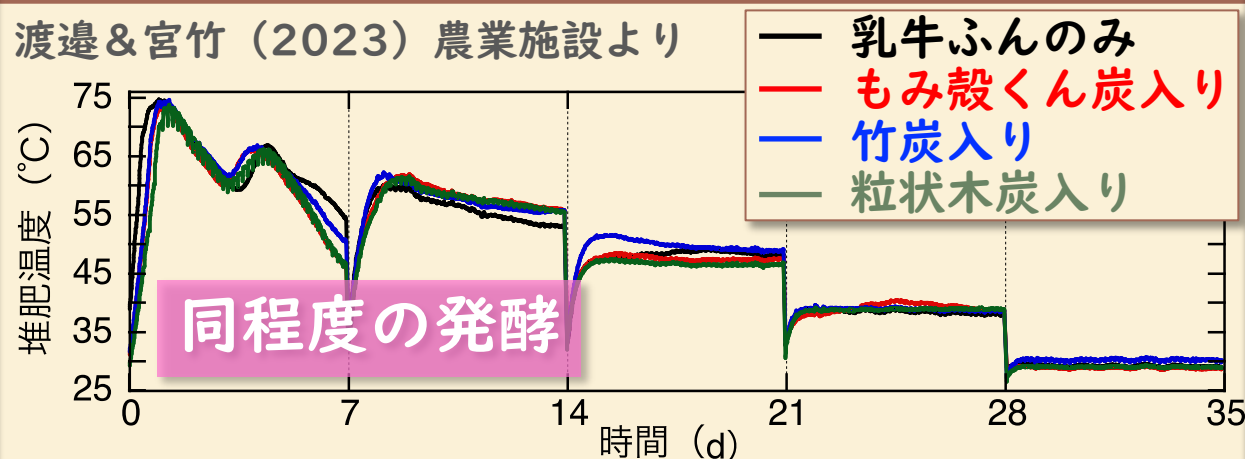
- ・膨大なデータをAIで学習: 指標化へ
- ・堆肥化ロボット施設で実地検証予定

J-クレジット
活用できないか？

研究例2：バイオ炭混合堆肥化

バイオ炭混合の堆肥化（牛ふん）

渡邊 & 宮竹（2023）農業施設より



- 温室効果ガス（N₂O, CH₄）抑制
- バイオ炭の種類で効果に違い

バイオ炭の利用は包括的議論が重要

バイオ炭堆肥製造：GHG排出抑制



土壌施用後に放出では問題あり

バイオ炭堆肥の利用には製造・施用
・栽培・炭素貯留の総合的な議論

製造＋施用でもGHG抑制か？



まとめ：堆肥から広がる持続可能な農畜産業 23

