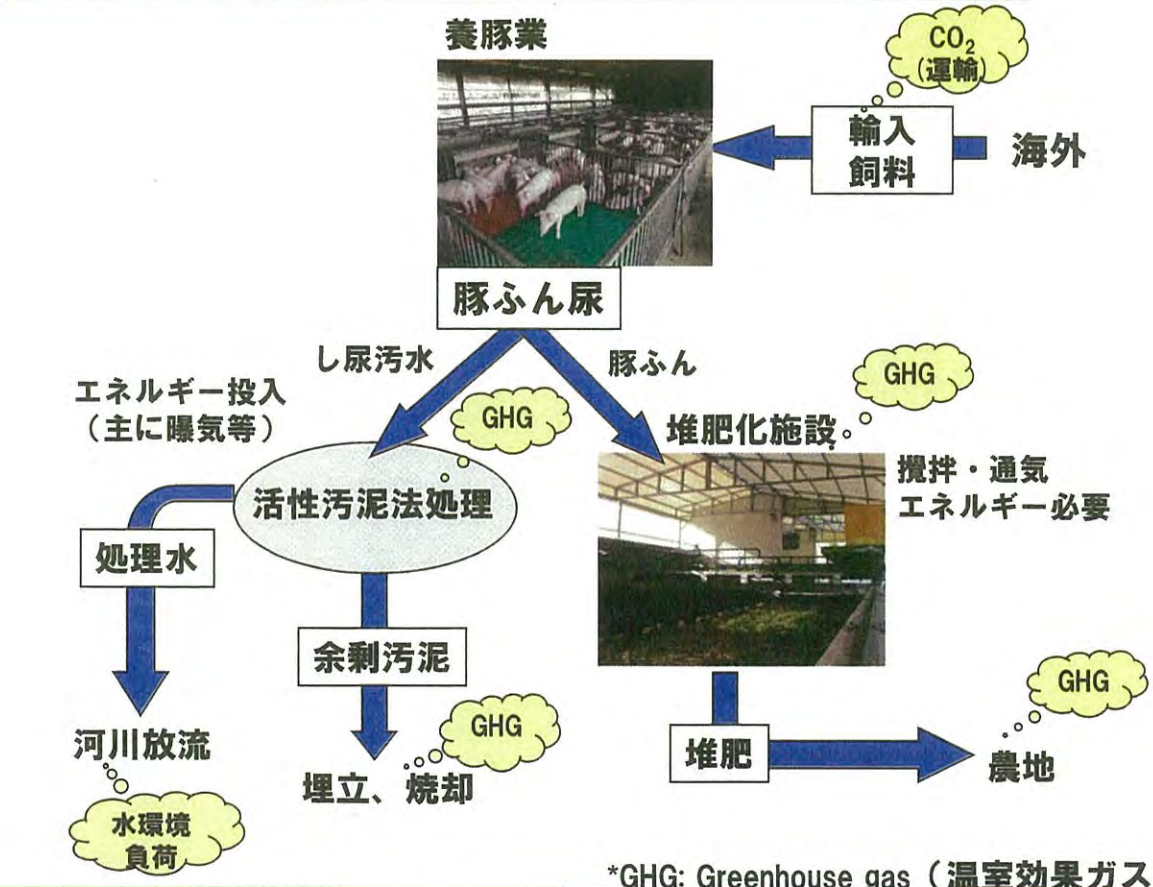
養豚排水処理と多収(飼料)米生産の環境低負荷型コベネフィットシステムの構築 (1B-1103)

TAT

東京農工大学 大学院工学研究院
細見正明

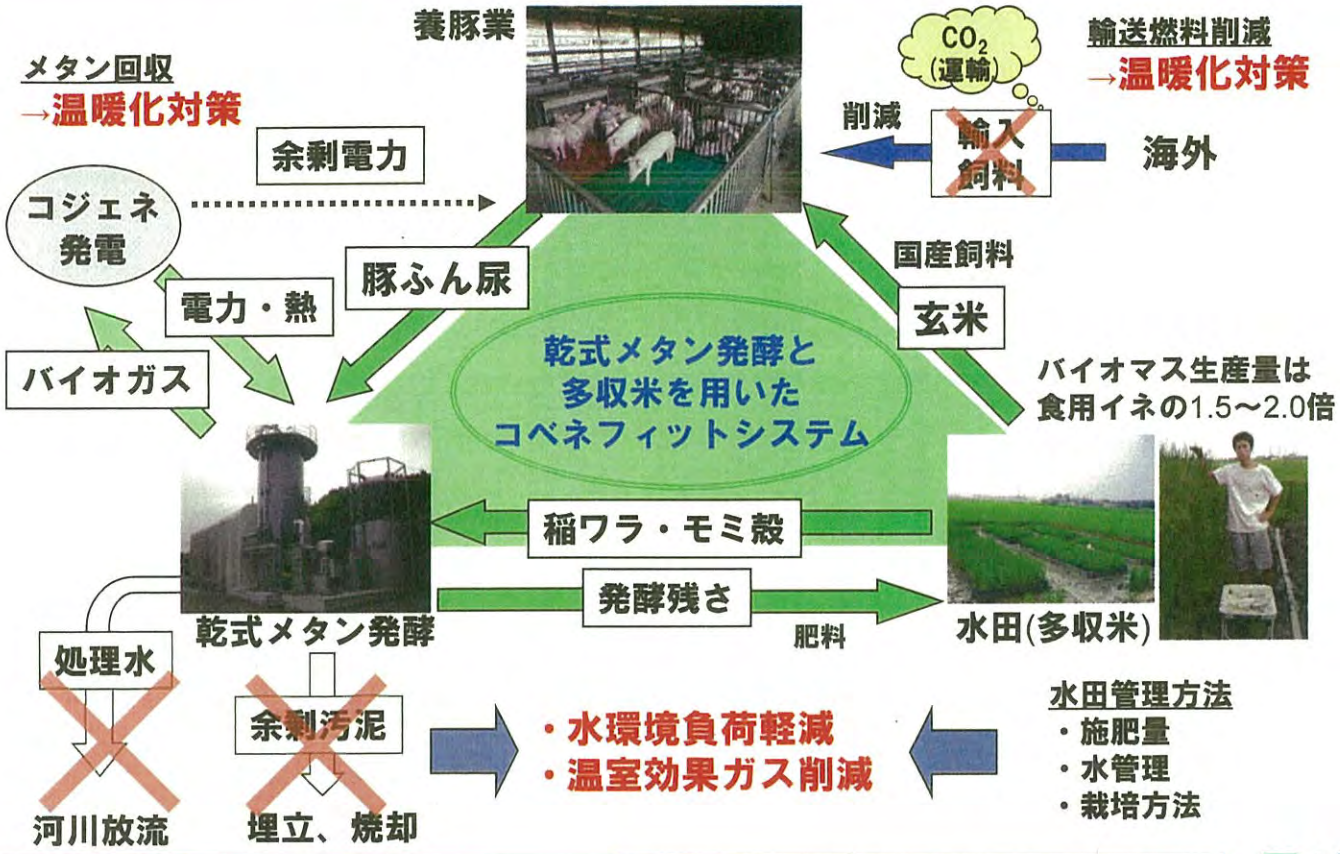
養豚業従来型の環境対策：リサイクル



*GHG: Greenhouse gas (温室効果ガス)

TAT

次世代対応型環境対策：
コベネフィットアプローチ（水環境負荷軽減＋温暖化対策）

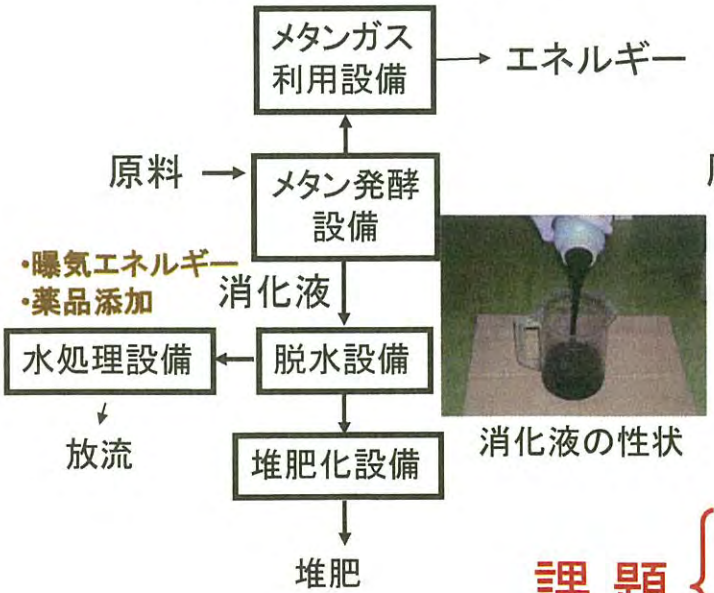


なぜ乾式メタン発酵？

湿式（従来）：含水率95%程度で発酵
乾式：含水率80%程度で発酵

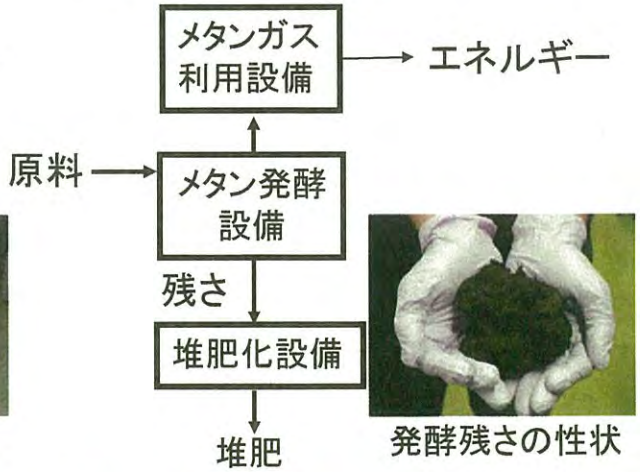
→ ◆排水処理が不要
◆エネルギーロスが少ない

湿式メタン発酵法



消化液の性状

乾式メタン発酵法



発酵残さの性状

課題
- アンモニアによる発酵阻害
- 発酵残さの肥料としての質及び施用時の環境への影響が不明
- 炭素・窒素収支が不明

研 究 目 的

養豚排水処理と多収(飼料)米生産の環境低負荷型コベネフィットシステムの構築

サブテーマ

ST1: 乾式メタン発酵プロセスの最適設計及び運転管理手法の確立
ST2: 発酵残さを施用した多収米水田における環境負荷の評価・最小化法の開発
ST3: 発酵残さを用いた多収米生産の評価
ST4: システムの物質・エネルギー収支の解明

TAT

稲ワラと豚ふん尿の乾式メタン発酵

実験系(SRT 1Cycleあたり)

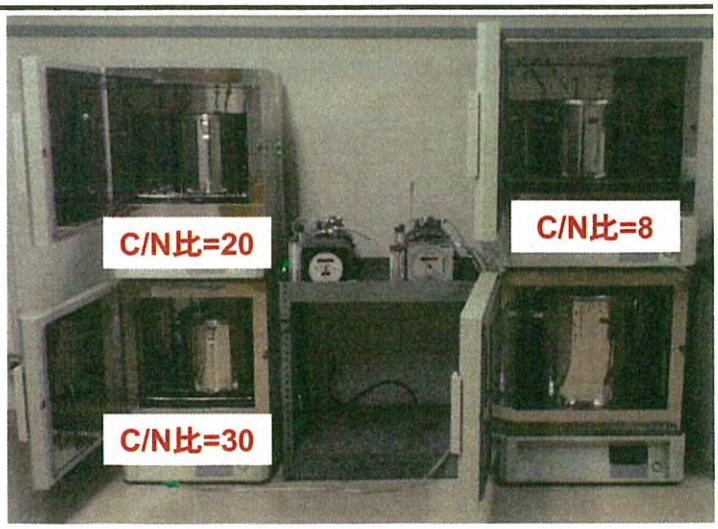
C/N比 [-]	種汚泥 [kg]	豚ふん尿 [kg]	稲ワラ [kg]	水 [kg]	含水率 [%]	稲ワラ混合率 [稲ワラ/豚ふん尿]
8	10	10	0	0	90	0.00
20	10	8.16	1.84	0	73	0.24
30	10	4.04	2.40	3.56	73	0.59

種汚泥

20 Lリアクター

豚ふん尿

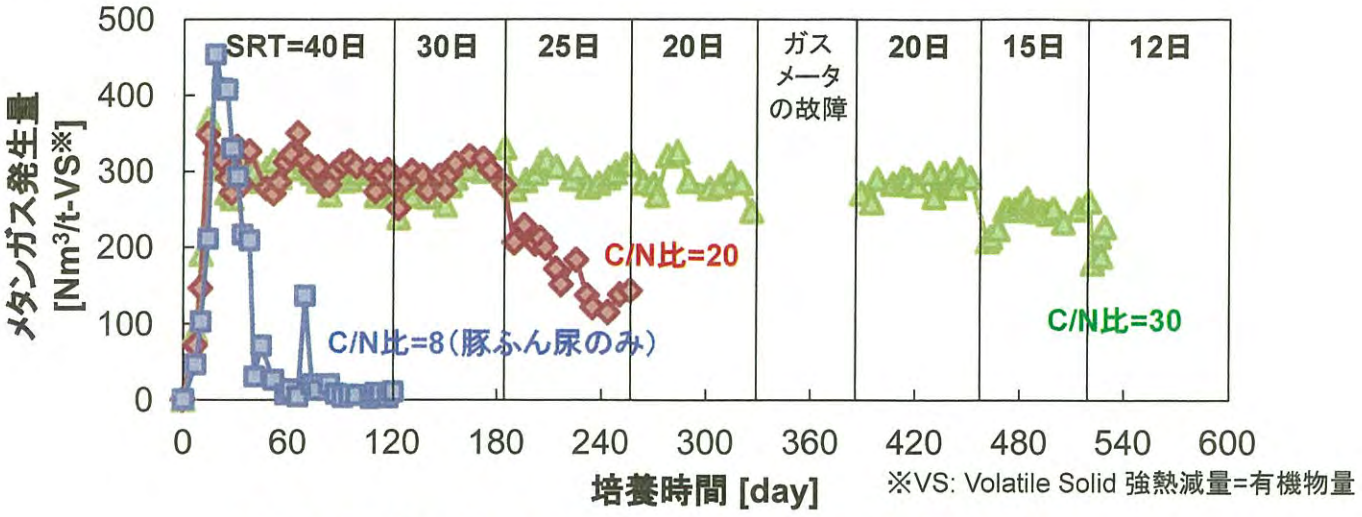
稲ワラ(約5 cm)



最適なC/N比および有機物負荷(汚泥滞留時間)の検討

TAT

乾式メタン発酵の連続運転可能性



※VS: Volatile Solid 強熱減量=有機物量

- C/N=8: アンモニア阻害により急激な低下
- C/N=20: SRT=30日で連続培養可能
- C/N=30: SRT=20日で連続培養可能

C/N比毎で最適なSRT（汚泥滞留時間）を解明

TAT

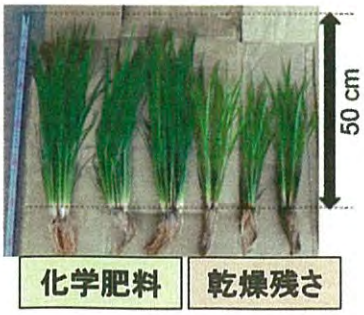
発酵残渣による飼料イネ栽培

実験サイト ・・・茨城県行方市八木蒔の水田

実験系	C（慣行）	MC	MI
肥料	化学肥料	発酵残渣	発酵残渣
水管理	常時湛水	常時湛水	間断灌漑
負荷量 (kg-N/ha)	100	300	300
炭素量 (kg-C/ha)	0	5496	5496

乾燥した発酵残さの施用

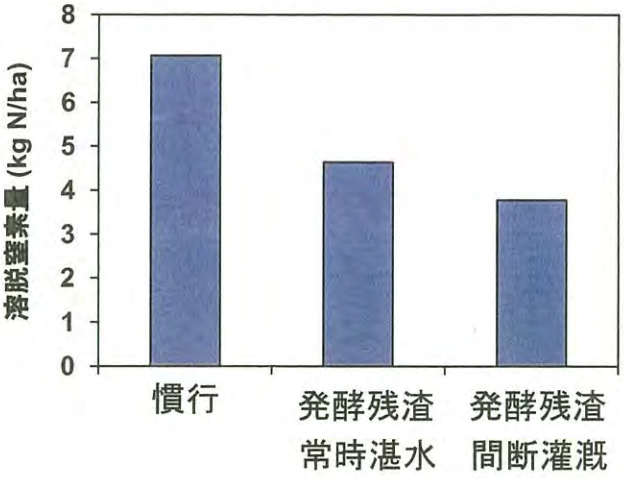
肥効不足



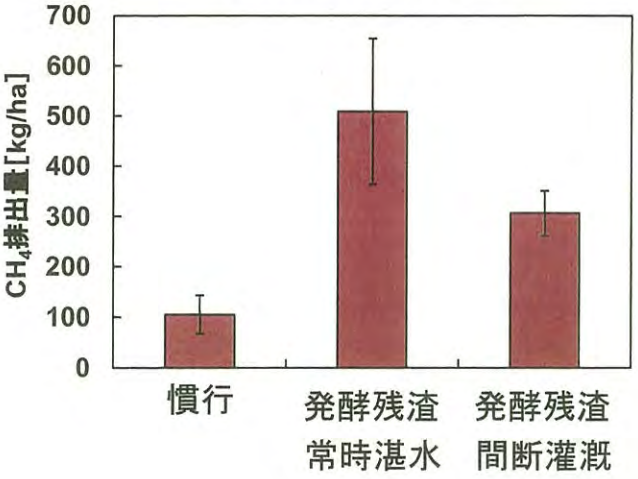
TAT

飼料イネ栽培における環境負荷

溶脱窒素量
（地下水汚染）



メタン排出量
（温室効果ガス）



- 発酵残渣施肥による地下水汚染のリスクは慣行栽培より少ない
- 間断灌漑によりメタン排出を削減可能

発酵残渣による多収米の生産性

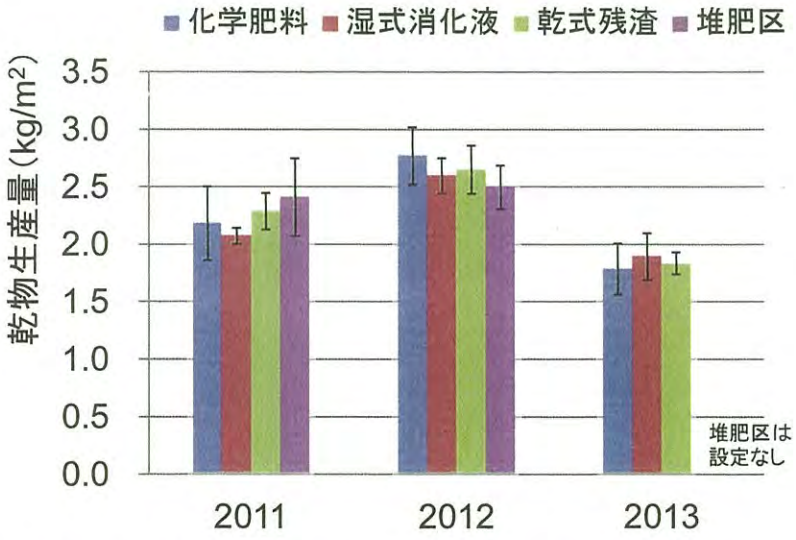


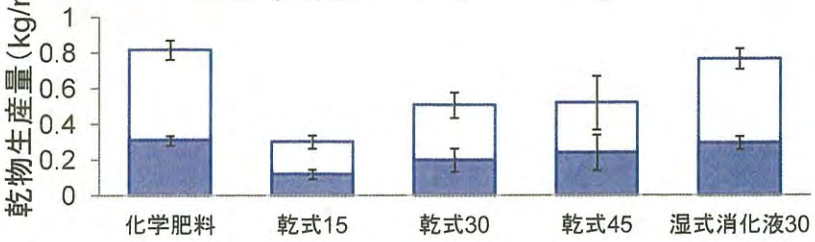
図. 多収米品種（タカナリ）の乾物生産量（穂＋茎葉部）に及ぼす肥料タイプの影響 -ライシメータ試験-

施肥量:
化肥と湿式区＝無機態窒素30g/m^2
乾式と堆肥区＝可給態窒素含量30g/m^2

- 3年間のいずれの年度も、両タイプ間で乾物生産量に違いなし
- 両残渣には化学肥料と同程度の肥料効果
- 2013年度は低い値となったが、連作障害ではなく、気候等の影響

発酵残渣によるムギの生産性

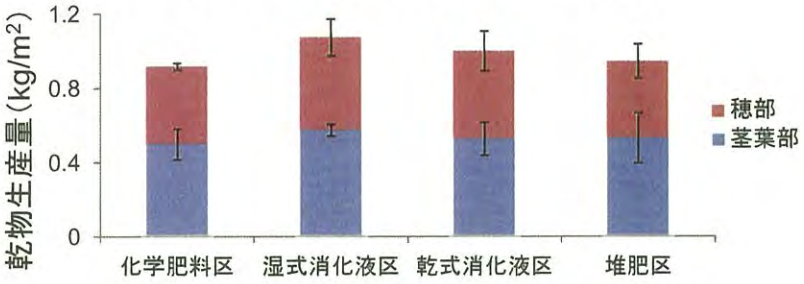
ムギ(農林二号)への肥料効果
-ポット試験、2011冬～2012春-



・乾式残渣15gN/m²に対し30、45と施用量を増やすと生産量約2倍に増加→施肥効果あり

・追肥ありの化学肥料、湿式消化液に比べ、追肥なしの乾式残渣は収量低い→翌年度はすべての処理区に基肥のみ施用

ムギ(農林二号)への肥料効果
-ライシメータ試験、2012冬～2013春-



施肥量:
化肥と湿式区＝無機態窒素30g/m²
乾式と堆肥区＝可給態窒素含量30g/m²

・両残渣には化学肥料と同程度の肥料効果

発酵残渣による野菜の土壌病害抑制効果

作物	病害	病害抑制・遅延効果	
		湿式消化液	乾式残渣
トマト	青枯病 (*Ralstonia solanacearum*)	△	△
	萎ちょう病 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*)	ー	△
	ネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita*)	ー	△
ニラ	葉腐病 (*Rhizoctonia solani*)	ー	○
キュウリ	苗立枯病 (*Pythium aphanidermatum*)	△	○
ダイコン	ネグサレセンチュウ(*Pratylenchus penetrans*)	○	○
ホウレンソウ	萎ちょう病 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*)	ー	△

ー:効果なし、
△:若干
○:効果有り

・乾式残渣は複数の土壌病害に対して抑制効果有り

病原菌接種	なし	あり			
乾式残渣	なし	なし	10	20	20 (kg-N/kg土壌)

図. ホウレンソウ萎ちょう病に対する乾式残渣施用の効果

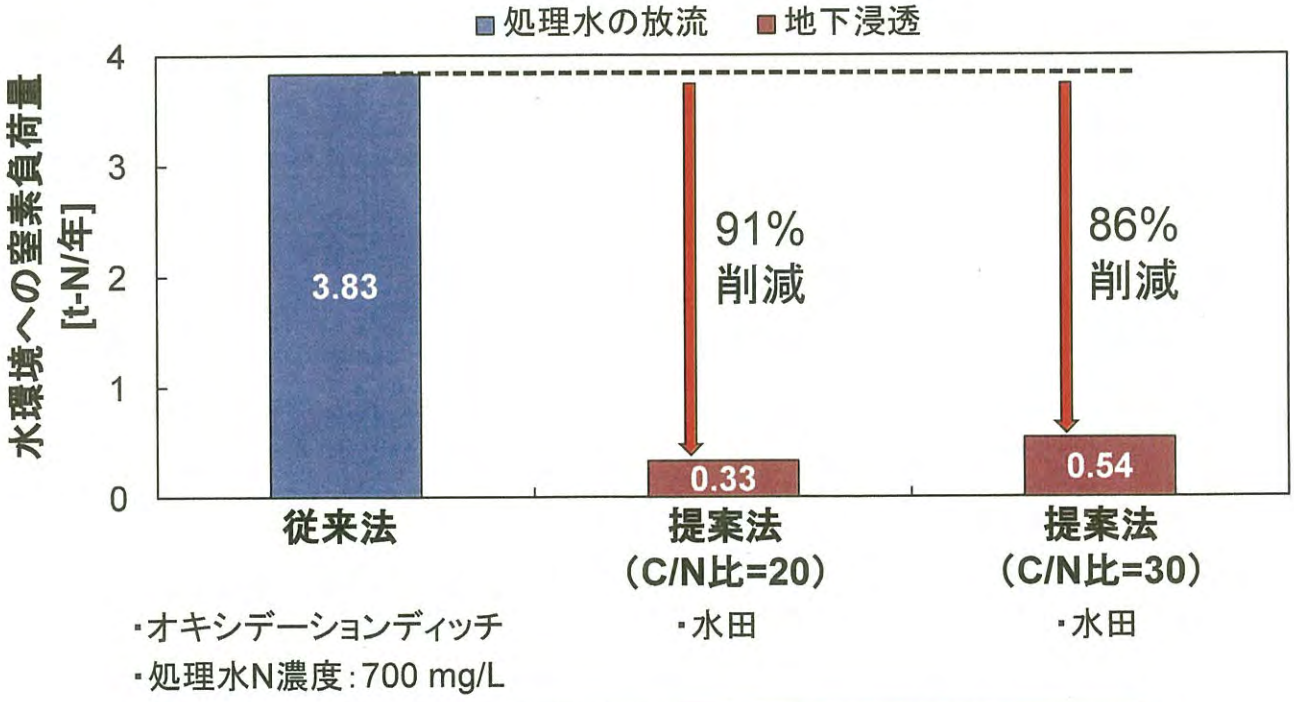
収支解析の前提条件

	従来法	提案法(C/N比=20)	提案法(C/N比=30)
養豚の規模[頭]	1000	1000	1000
距離[km]	-	10	10
水田の水管理方法	-	常時湛水	常時湛水

評価項目
(1) 水環境への窒素負荷量(環境負荷)
(2) 温室効果ガス排出量(環境負荷)
(3) 経済性

TAT

水環境への窒素流出



・オキシデーションディッチ
・処理水N濃度:700 mg/L

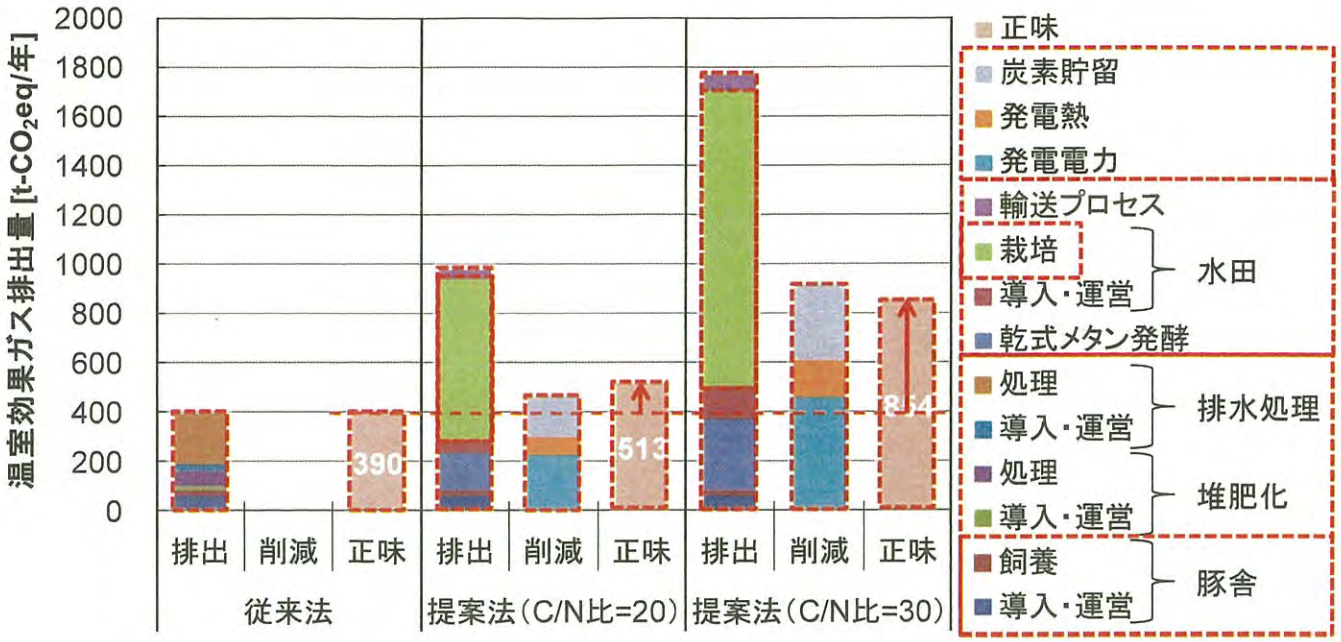
・水田

・水田

乾式メタンにより排水処理が不要であり水環境への窒素負荷量を大幅に削減可能

TAT

温室効果ガス排出量（環境負荷）

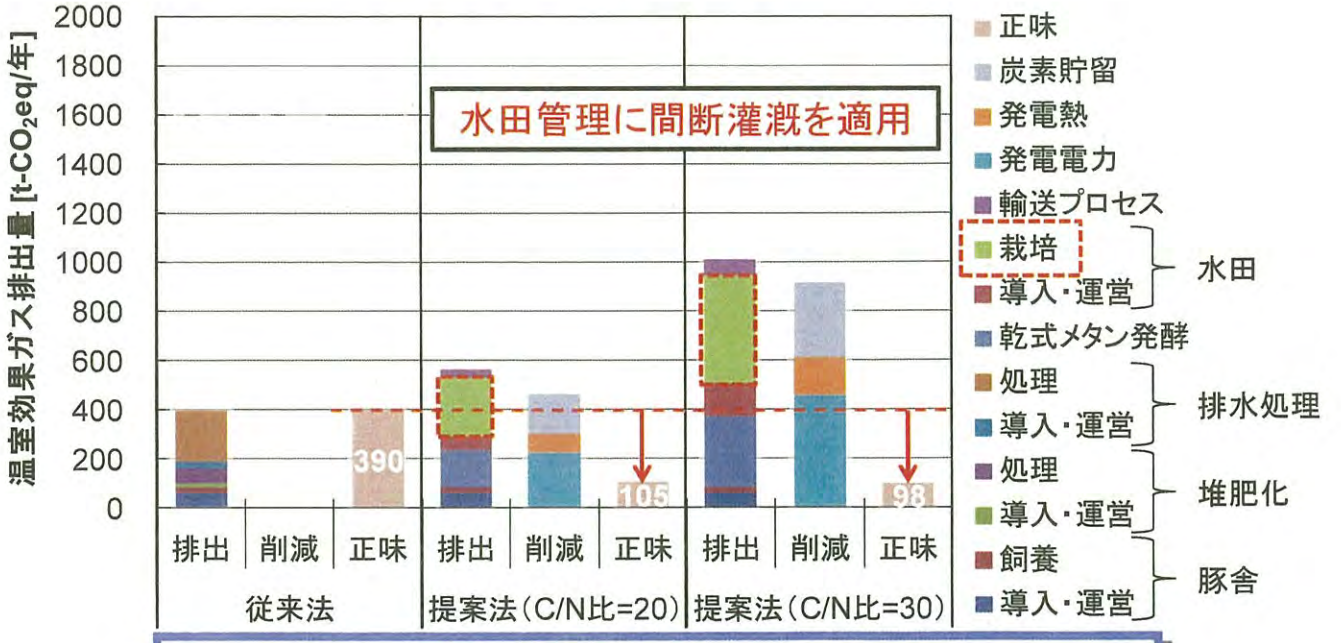


正味の温室効果ガス排出量は増加

栽培時における温室効果ガス排出量が支配的

TAT

水田管理に間断灌漑を適用した場合

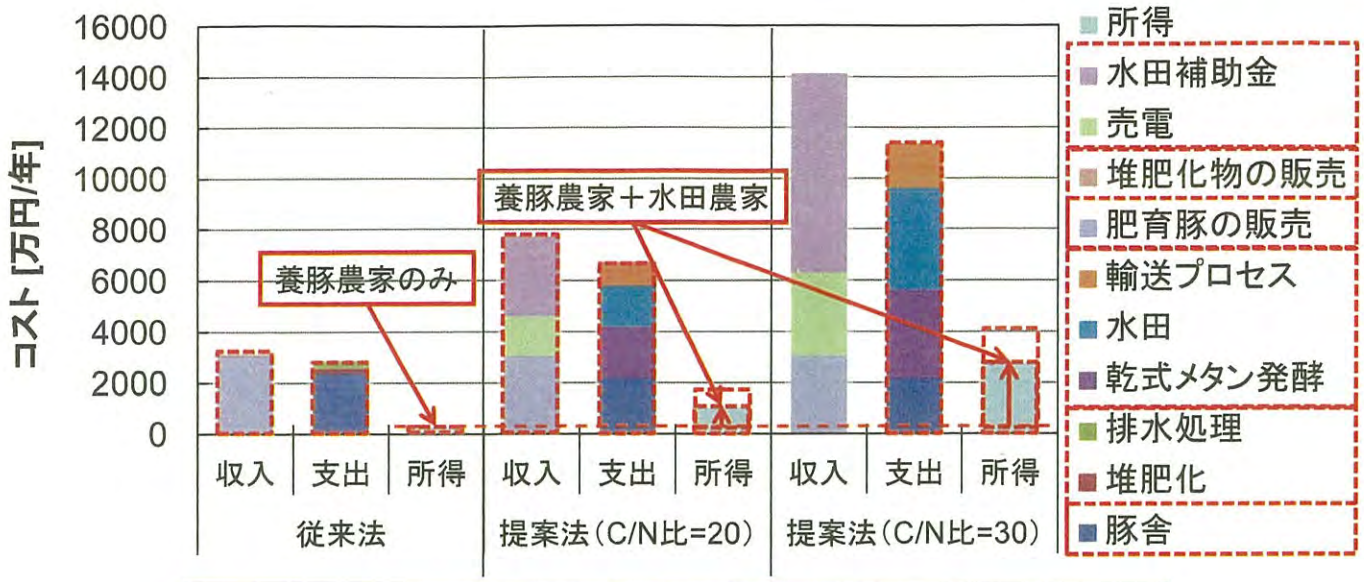


栽培時における温室効果ガス排出量を63%削減
→ 温室効果ガス排出量を73~75%削減可能

提案システムは環境負荷を大幅に低減可能

TAT

経済性の評価



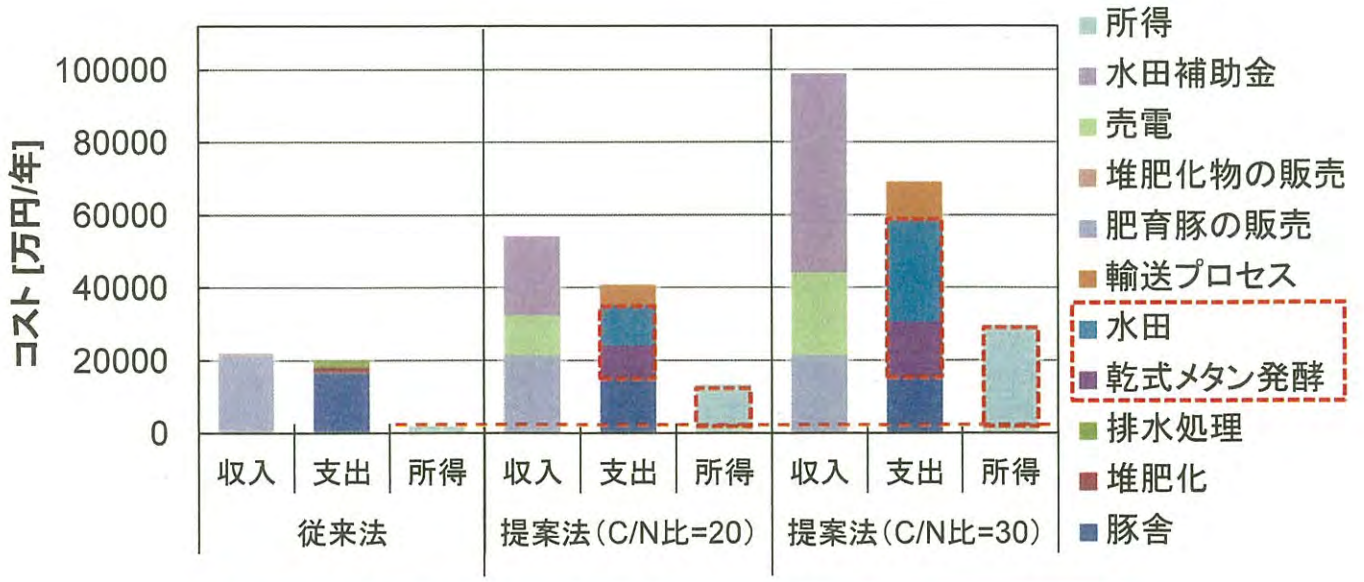
従来法以上の所得を確保可能

水田農家の所得4.7万円/10aを確保する必要がある

水田農家の所得を確保することは不可能

TAT

養豚を7000頭規模に拡大した場合の経済性



乾式メタン発酵および飼料イネ水田にスケールメリット

養豚規模7000頭以上のとき経済的に自立可能

TAT

収支解析のまとめ

提案システムが持続可能な条件およびメリット

条件	提案法（C/N比=20）	提案法（C/N比=30）
養豚の規模[頭]	7000＜	7000＜
距離[km]	10	10
水田の水管理方法	間断灌漑	間断灌漑
メリット	**提案法（C/N比=20）**	**提案法（C/N比=30）**
水環境への窒素負荷量[t-N/年]	91%cut	86%cut
温室効果ガス排出量[t-CO2-eq/年]	81%cut	88%cut
所得[万円/年]	34%up	20%up

乾式メタン発酵の処理性能に関わらず
環境負荷および経済性にメリット

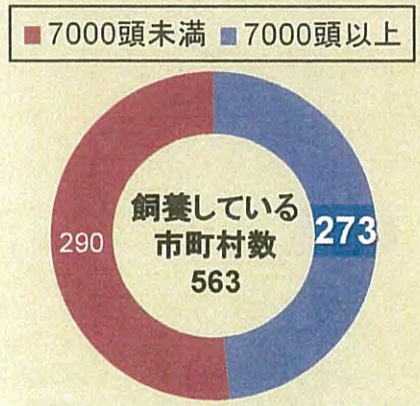
マスバランス的には実現可能な場所はあるか？

全国各市町村への実現可能性

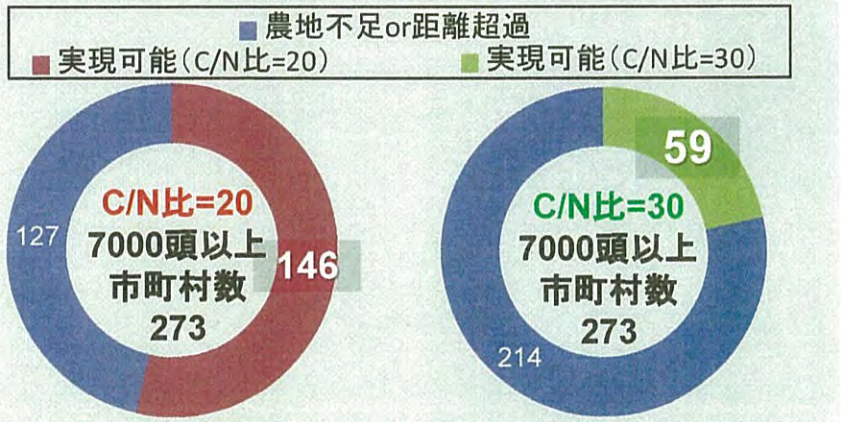
Question: 全国各市町村でマスバランス的に実現可能な場所はどのくらいあるの？

C/N比	20	30
作付面積[ha/7000頭]	236	589
距離[km]	10	10

◆ 養豚の規模別の市町村数



◆ 実現可能な市町村数（作付面積＜休耕田面積，距離<10km）



総合評価によりC/N比=20で提案システムが実現可能

総括

ST1: 乾式メタン発酵プロセスの最適設計及び運転管理手法の確立

豚ふん尿と稲わらの乾式メタン発酵の連続運転可能な条件を明らかにした

ST2: 発酵残さを施用した多収米水田における環境負荷の評価・最小化法の開発

間断灌漑の温室効果ガス削減効果の確認および溶脱量を把握

ST3: 発酵残さを用いた多収米生産の評価

多収米への肥効、ムギ栽培および野菜栽培への適用可能性を明らかにした

ST4: システムの物質・エネルギー収支の解明

提案システムが低環境負荷かつ経済的に成り立つ条件を明らかにした

乾式メタンと多収米栽培による
新規養豚排水処理システムの可能性が示唆

今後の展望

小規模(1000頭規模)の養豚農家における提案システム実現へ向けて

課題1:乾式メタン発酵にかかるコストの削減

→ 簡易式乾式メタン発酵の開発

課題2:水田にかかるコスト(面積)の削減

→ 二毛作や稲ワラ代替バイオマス(炭素源)の検討

課題3:発酵残渣の肥料効果の向上

→ 発酵残渣の施肥方法の検討