

平成 21 年 5 月 26 日現在

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006～2008

課題番号：18380141

研究課題名（和文）

農地土壌の機能に着目した水田農業における環境負荷削減技術の管理手法の提案

研究課題名（英文）

Proposal of management to reduce environmental effluent loadings in paddy field based on various functions of agricultural soil

研究代表者

中村 公人 (NAKAMURA KIMIHITO)

京都大学・農学研究科・講師

研究者番号：30293921

研究成果の概要：日本の水田農業を今後も維持していくためには、水田農業に伴う環境への負のインパクトを軽減するための努力なしにはありえないという観点に立ち、水田農業における様々な環境負荷削減技術の効果を定量化するとともに、効果を最大限に発揮するための管理方法を提案することを目的とした。主に滋賀県琵琶湖周辺の水田農業地帯を対象として、各種管理法の効果検証を行った。その結果、循環灌漑、それと組み合わせた排水路と浄化池、排水路堰上げ、田越し灌漑、排水路側耕作道などが環境負荷削減に有効であることを示した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	7,400,000	2,220,000	9,620,000
2007年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
総計	13,500,000	4,050,000	17,550,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学・農業土木学・農村計画学

キーワード：水田農業、環境負荷削減、水管理、循環灌漑、排水路堰上げ、田越し灌漑、排水路側耕作道、メタン発酵消化液

## 1. 研究開始当初の背景

わが国においては、農業農村の多面的機能の評価とその機能発揮・強化のための管理、環境配慮型・環境調和型の農業のあり方が注目されている。さらに、そうした環境配慮型の農業に対して公的な補助を行う制度（環境直接支払制度）が滋賀県においてはすでに導入され、全国的にも平成 19 年度からの導入が検討されていた。公的資金の投入を行うためには、直接支払いの対象となる様々な管理方法の効果についての定量的な評価を国民に示す必要がある。

本研究では、とくに水田地域からの環境負荷削減のための管理技術に着目した。対象地域は主に滋賀県であり、滋賀県では、琵琶湖水質の悪化抑制のために、水田における環境配慮型の水管理に対する意識が極めて高い。

このような背景から、水田地域における様々な環境負荷削減に寄与すると考えられる管理技術の効果検証を行い、より適切な管理方法の提案を試みることにした。

## 2. 研究の目的

研究開始当初は、①循環灌漑、②浄化型排水路・浄化池、③水位保持型暗渠、④排水路堰上げの 4 つの管理方法の効果検証を目的とした。また、環境負荷削減の物理的メカニズムでキーとなるのは、「農地土壌」と考え、とくに窒素に着目して、農地土壌中の窒素動態メカニズムの解明とそれを利用した管理技術の提案を目指した。その後、検討する管理技術として、⑤田越し灌漑、⑥排水路側耕作道、⑦水田魚道、⑧メタン発酵消化液の水田への投入の 4 項目を加えた。

### 3. 研究の方法

#### (1) 循環灌漑

滋賀県守山市木浜地区の循環灌漑実施地区において水文・水質観測を行った。本地区は約 150ha の水田地区で、地区内圃場からの排水が集まる幹線排水路の排水をポンプアップして再利用できるシステムになっている。水質分析項目は窒素、リン、濁度を中心に行った。

#### (2) 浄化型排水路・浄化池

滋賀県守山市木浜地区の循環灌漑実施地区の浄化型排水路と浄化池（自然護岸、植生を配した排水路と池）において植生量と各植生の種ごとに窒素、リン含有量を測定した。また、排水路内に堆積した底泥中の窒素、リン含量を測定した。さらに、排水路の物質の貯留効果について検討した。

#### (3) 水位保持型暗渠

滋賀県守山市木浜地区の転作田（コムギ、ダイズを栽培）において、暗渠管出口の高さを従来の高さより高く設定することで、物質の土壌内への吸着効果、暗渠排水量抑制効果を期待した水位保持型暗渠の流出量および流出負荷量を調査した。

#### (4) 排水路堰上げ

滋賀県近江八幡市における低平地水田地区において、排水路を三角堰で堰上げることによって、堰上流部の排水位および圃場地下水位を上昇させ、これによる効果、つまり、浸透量抑制、用水量抑制、地表排水量抑制および土壌内での脱窒作用の増加による環境負荷量への影響を検証した。

なお、土壌内の浸透速度の変化が脱窒速度に及ぼす影響について、室内カラム実験を行って明らかにした。

#### (5) 田越し灌漑

滋賀県高島市鴨川流域内の低平地水田地区において、圃場整備済みの標準区画水田 3 筆あるいは 4 筆で田越し灌漑を行うことによる環境負荷削減効果を検証した。筆間の畦畔には 1 箇所あるいは 2 箇所の畦飛ばしを設けた。とくに、降雨時の流出特性が 1 筆圃場と異なり、ピーク排水量と全排水量が田越し区で抑制されることによる効果に着目した。

#### (6) 排水路側耕作道

滋賀県高島市鴨川流域内の低平地水田地区において、排水路側耕作道（幅約 2.5m）を 11 筆にわたって設置し、その環境負荷削減効果を検証した。耕作道は一般に用水路側に設置され、排水路側にある落水口管理が容易でないため、排水路側に耕作道を設ければ、落水口管理が頻繁に行われ、粗放的水管理を避けることができると期待できる。また、排水路側に耕作道を設置することで、排水路への畦畔漏水を抑制でき、これによる環境負荷削減に加え、用水量抑制、地表排水量抑制にも寄与できるのではないかと考えられる。

#### (7) 水田魚道

水質環境だけでなく、生態系（とくに魚類）に配慮した水管理が求められている。ここでは、滋賀県野洲市内の水田圃場に階段式小型水田魚道を設置した場合の水収支、物質収支変化について、対照圃場と比較検証した。

また、先の排水路堰上げを段々に行うことによって魚道構造とした場合の魚類調査を滋賀県近江八幡市において行った。

#### (8) メタン発酵消化液の水田への投入

地域資源循環型社会においては、メタン発酵技術などバイオマスの有効利用が重要となる。このとき副産物として発生するメタン発酵消化液を農地で肥料として処理することなしには持続的な運用はありえない。メタン発酵消化液を水田に施用した場合の環境への影響評価が必要であるため、京都府南丹市八木町において、消化液施用水田における環境への窒素負荷量の把握を試みた。また、水田土壌中でどのように窒素が形態変化し、イネの窒素含有量や収量にどのように影響するかを調査した。

### 4. 研究成果

各管理技術について得られた成果を以下に示す。

#### (1) 循環灌漑

調査した木浜地区は、地区全体が循環のための排水の集水域に一致する循環灌漑地区である。この地区では、循環取水率（揚水量に対する排水再利用量の割合）の増加に伴って、排水路の窒素、リン濃度が上昇した（図 1）。さらに、流域からの窒素の差し引き排出負荷量（流出負荷量－流入負荷量）は、窒素の場合、循環取水率が高くなると一旦増加し、その後、減少することが明らかになった（図 2）。リンの場合は、循環取水率の上昇により差し引き排出負荷量が低下することがわかった（図 3）。つまり、循環取水率の上昇による排水路内濃度の上昇割合が大きい成分（窒素）に対しては、循環灌漑時に高い循環取水率の設定が必要であることがわかる。一方、循環灌漑の効果を上げるためには、過剰な揚

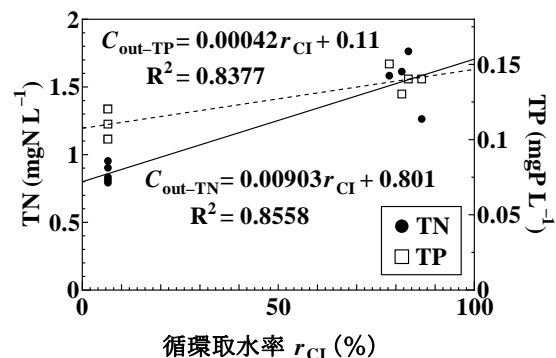
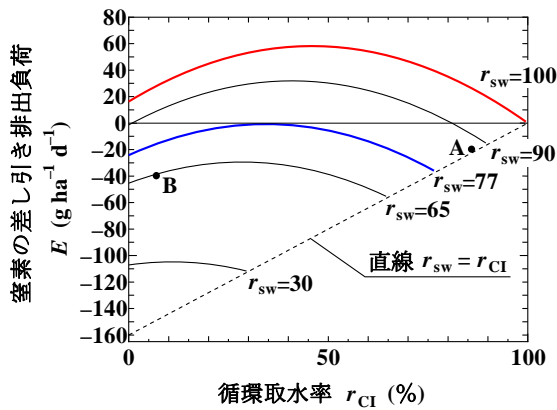


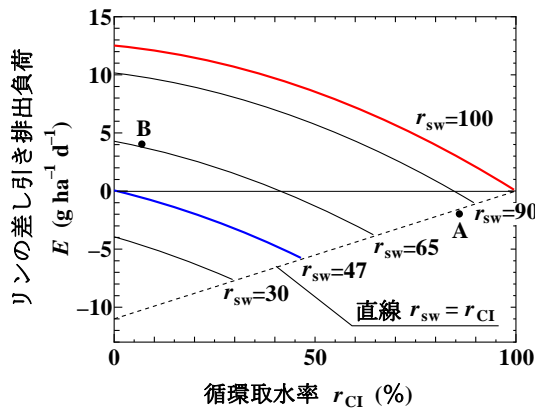
図 1 循環取水率と排水の T-N, T-P (2006 年の実測値)



A (6月の実測値);  $r_{sw}=90$ ,  $r_{CI}=86$ ,  $E=-20$

B (8月の実測値);  $r_{sw}=65$ ,  $r_{CI}=7$ ,  $E=-40$

図2 循環取水率とT-Nの差し引き排出負荷



A (6月の実測値);  $r_{sw}=90$ ,  $r_{CI}=86$ ,  $E=-2$

B (8月の実測値);  $r_{sw}=65$ ,  $r_{CI}=7$ ,  $E=4$

図3 循環取水率とT-Pの差し引き排出負荷

表1 灌漑期の水田における窒素とリンの差し引き排出負荷

(a) 窒素

年	期間	流入		流出	差し引き 排出負荷
		灌漑用水	降雨	表面流出	
2004年	循環	7.2	1.8	6.7	-2.3
2005年	環	10.0	0.6	2.3	-8.3
2006年	灌	4.7	1.4	1.9	-4.3
2007年	漑	12.6	3.4	7.9	-8.1
2004年	逆	2.8	2.1	1.0	-3.9
2005年	水	3.4	3.6	0.9	-6.1
2006年	灌	2.3	4.7	2.0	-5.1
2007年	漑	4.6	4.1	5.3	-3.4

(b) リン

年	期間	流入		流出	差し引き 排出負荷
		灌漑用水	降雨	表面流出	
2004年	循環	0.50	0.04	1.20	0.66
2005年	環	0.70	0.02	0.46	-0.26
2006年	灌	0.30	0.00	0.22	-0.08
2007年	漑	0.92	0.08	1.58	0.58
2004年	逆	0.20	0.05	0.10	-0.15
2005年	水	0.30	0.08	0.12	-0.26
2006年	灌	0.20	0.10	0.27	-0.03
2007年	漑	0.33	0.10	0.88	0.46

水を抑制することが効果的であることも明らかになった。

表1は木浜地区内の一筆水田圃場における流出入負荷量と差し引き排出負荷量を窒素とリンについて示したものである。窒素では、循環灌漑時だけではなく、湖水を揚水する逆水灌漑時においても差し引き排出負荷量がマイナスとなり、水田圃場が浄化機能を有することがわかった。一方、リンでは、プラスの値となる時があり、代かき後の強制落水がこれを引き起こしたと考えられ、水田土壌の浄化機能を発揮させるためには、過度な地表排水を抑制するような水管理が必要であることがわかった。

今後の課題としては、今後の普及のために、循環取水率と差し引き流出負荷量の予測モデルの構築が必要である。そのためには、流域全体での流出負荷予測のモデル化を行わなければならない。

### (2) 浄化型排水路と浄化池

循環灌漑との組み合わせにより排水路と浄化池は一時的な水と物質の貯留の場となり、環境負荷削減に寄与する。ただし、堆積された底泥は定期的に浚渫されなければならない。また、浄化型排水路と浄化池に植え付けられた植生の吸収による窒素、リンの除去量は、全体の物質収支では無視できる大きさであることを確認した。

### (3) 水位保持型暗渠

暗渠管出口を従来より高くした暗渠の設置による、転作田からの暗渠流出量と流出負荷量の削減効果は明確に現れなかった。これは、暗渠管出口を高くすることによる土層中の還元領域の拡大の影響よりも、土壌水分量の増加に伴う硝化量の増加が大きいことなどが原因と考えられる。

### (4) 排水路の堰上げ

排水路を堰上げたとき(写真1)の環境負荷削減効果について調査した結果、堰上流部の水田圃場の地下水水位が堰下流部の地下水よりも上昇して、湛水面と地下水面の勾配が低下することで浸透量が抑制されることを確認した。図4のブロック1は堰高80cmの堰上流部、ブロック2は堰高80cmと堰高50cmの堰に挟まれた中流部、ブロック3は堰高50cmの堰の下流部である。ブロック1,2において浸透量がブロック3の半分以下に抑えられている。よって、必要な用水量が低下し、節水による地表排水量、地表排水負荷量の低下を期待することができる。ただし、現地圃場での農家の水管理の改善には至らなかった。農家の浸透量に応じた適切な水管理への意識向上や半自動給水栓の活用が必要である。また、用水と排水路内の硝酸態窒素濃度の平均値を表2に示す。用水の高い硝酸態窒素濃度に対して、ブロック1末端のWa地点濃度が低い。これは、堰上げ圃場や堰上



写真1 排水路堰上げ

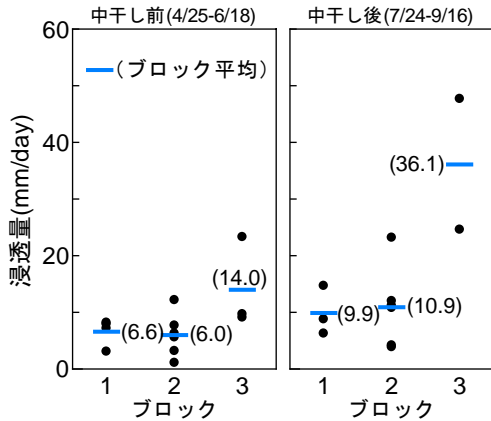


図4 ブロックごとの日単位浸透量 (2007)

表2 用排水平均 NO<sub>3</sub>-N 濃度 (mgN L<sup>-1</sup>) (2007)

用水	Wa地点	Wb地点	Wc地点
	0.64	0.23	0.42
		0.42	0.35

Wa, Wb, Wc 地点: それぞれブロック 1, 2, 3 末端

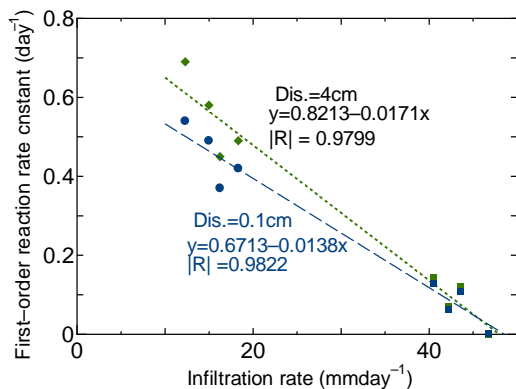


図5 脱窒反応速度定数の浸透速度依存性 (Dis.: 分散長)

げ排水路内での滞留時間増加による浄化機能 (イネによる吸収, 脱窒) が上昇したものと考えられる. 排水路の堰上げには, 環境負荷削減効果があるといえる.

また, 室内土壌カラム実験から, 浸透速度を低下させると, 脱窒速度の上昇により, 硝酸態窒素濃度が低下することを確認した. 図

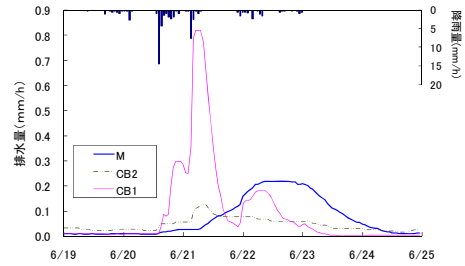


図6 降雨時の排水量経時変化 (2008)  
(M: 4筆田越し区, CB1, CB2: 対照区)

5 は脱窒反応速度定数が浸透速度に依存して変化する様子を示している.

#### (5) 田越し灌漑

図6 はある降雨イベントにおける田越し区 (M区) と対照区 (CB1, CB2区) の排水量の経時変化である. 排水ピーク時間が田越し区で遅れており, 排水量はM区13mm, CB1区6mm, CB2区10mmであった. 降雨時の田面水濃度変化は, 両区とも降雨ピーク時に最大値をとり, 徐々に低下した. つまり, 田越し区では濃度ピーク時間と排水ピーク時間がずれるために対照区よりも排水負荷量を抑制できると考えられる.

また, 水田タンクモデルの運用により, 田越し灌漑によって, 降雨時には, 田面水位が維持されやすく, 排水量が抑えられること, 灌水時には, 水位維持に必要な用水量は増加するものの, 粗放的水管理が行われる場合には節水, 排水抑制効果があることが示唆された.

#### (6) 排水路側耕作道

低平地水田において, 排水路側に新たに耕作道を設置し (写真2), これによる畦畔漏水防止効果, 環境負荷削減効果が非常に大きいことを明らかにした. 排水路側耕作道設置圃場群からの流出量は従来圃場群の約23%であり, 流出負荷量は水質項目により異なるが約10~40%にまで削減された.

耕作者は落水口操作のためのアクセスが車の乗り入れによって容易になったと好意的であった. また, 耕作道路面分だけ草刈り面積が増えるものの畦畔法面の草刈りは従



写真2 排水路側耕作道



写真3 水田と排水路を結ぶ小型水田魚道

来の畦畔よりも作業上安全であり、大型草刈り機械の導入も可能となるという管理上の利点も有する。

#### (7)水田魚道

低平地水田地帯では、排水路堰上げを段々に行うことによって堰を魚道として機能させることが可能である。また、中流域では、個別の圃場に付帯した水田魚道(写真3)が魚類保全に有効であると考えられている。こうした魚道を設置した水田においては、水・物質収支が変化し、生態系配慮のための付加的な用排水が生じる。したがって、今後、環境との調和に配慮した水田が増えるにつれ、これまでの用排水基礎諸元の考え方では適正に評価できない水量が発生し、計画上無視しえない可能性が高い。これに対処するためには、「魚道管理用水」や「魚類保全有効降雨」のような新たな概念の導入が必要となると考えられる。

#### (8)メタン発酵消化液の水田への投入

メタン発酵消化液を水田に肥料として投入した場合の農地土壌の窒素動態を調査し、消化液に含まれる有機物の無機化特性を考慮した、イネの生育にとって最適な消化液投入時期について検討した。

土壌採取日ごとの各態窒素濃度と幼穂分化期および出穂期のイネの生長量(窒素保有量、乾物重、窒素濃度)、収量との相関を検討したところ、6月12日(田植後19日)の $\text{NH}_4\text{-N}$ とイネの窒素保有量の関係が顕著に現れた(図7)。また、同様に収量との相関も高かった。つまり、田植後約20日後における土壌中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の量が多いことが収量増加に対して効果的であると考えられる。また、この $\text{NH}_4\text{-N}$ は有機態窒素の分解、無機化によって生じた可能性が高いため、6/12以前の溶存有機態窒素(DON)濃度と比較したところ、5/29のDONとの相関が見られた(図8)。田植え前の無機化期間を設けるような消化液投入を行ったことで、粗粒有機態窒素が溶存態に分解され、イネの生長に寄与したと考えられる。

今後、有機質肥料の利用が環境配慮型農業において推進されると考えられるが、土壌に

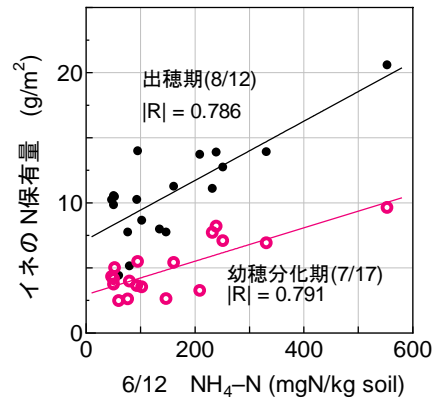


図7 6/12の土壌 $\text{NH}_4\text{-N}$ とイネの窒素保有量

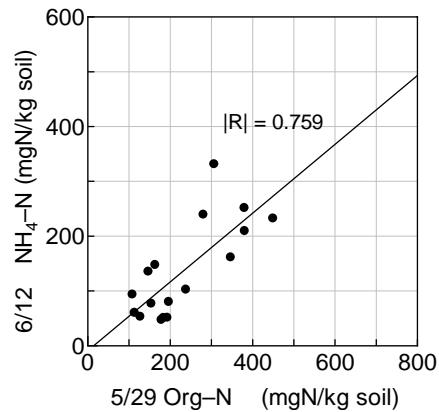


図8 5/29土壌DONと6/12土壌 $\text{NH}_4\text{-N}$

応じた有機物分解、無機化過程を考慮した施肥設計を行わなければ、投入窒素が有効にイネに吸収されず、環境負荷となる恐れがある。

#### (9)面源からの流出負荷削減対策

農地からの流出負荷削減対策として、育苗箱全層施肥、施肥田植機、追肥重点型施肥、無代かき、浅水代かき、止め水灌漑、給排水調整ユニット、被覆肥料(緩効性肥料)、局所施肥を整理した。また、森林からの流出負荷削減対策として、間伐、混交林化、市街地に対して、路面清掃、雨水桝清掃、遊水池(浄化池や内湖)に対しては、適切な維持管理(底泥浚渫、草刈りなど)を挙げることができる。

以上に、水田地区からの環境負荷削減のための管理法について得られた知見を整理した。今後の課題として、窒素、リン、有機物のみに着目した管理から、あらゆるイオンのバランスを考慮した生態系配慮型の水管理技術構築にも力を入れなければならない。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

①濱 武英, 中村公人, 川島茂人, 三野 徹, 普通期晴天日における循環灌漑の窒素・リン差し引き排出負荷削減効果, 農業農村工学会

論文集, 257, 11-17, 2008, 査読有

②濱 武英, 中村公人, 渡部慧子, 三野 徹, 金木亮一, 湖岸水田流域における循環灌漑の濁水負荷削減効果, 農業農村工学会誌, 75(9), 39-43, 2007, 査読有

③中村公人, 船本健正, 三野 徹, メタン発酵消化液が投入された水田内での窒素動態特集 家畜糞尿のメタン発酵処理事業の展望と課題, 環境技術, 36(9), 23-30, 2007, 査読無

④濱 武英, 中村公人, 三野 徹, 循環灌漑を実施する水田流域の窒素・リンの物質収支, 農業農村工学会論文集, 250, 91-97, 2007, 査読有

⑤中村公人, 取出伸夫, 形態変化を1次反応式により考慮した土中の窒素移動モデル, 土壌の物理性, 105, 83-97, 2007, 査読有

⑥濱 武英, 中村公人, 三野 徹, 循環灌漑による濁水負荷削減効果, 農業土木学会論文集, 245, 39-45, 2006, 査読有

⑦中村公人, 濱 武英, 三野 徹, 木浜地区の循環灌漑システムによる水質保全効果, 特集 琵琶湖の生態系と水質の改善, 環境技術, 35(8), 558-563, 2006, 査読無

[学会発表] (計 25 件)

①中村公人, 排水路側耕作道の設置による水田からの流出負荷削減効果, 第 65 回農業農村工学会京都支部研究発表会, 2008 年 11 月, 福井県

②中村公人, 個別付帯型魚道を有した水田圃場における水管理, 平成 20 年度農業農村工学会大会, 2008 年 8 月, 秋田県

③中村公人, 排水路の堰上げによる水田の湿地的水管理が土中水分移動に及ぼす影響, 第 64 回農業農村工学会京都支部研究発表会, 2007 年 11 月 8 日, 和歌山県

④Nakamura, K., Nitrogen management in a paddy plot applied with methane fermentation manure liquid, PAWEES 2007 6th International Conference on Sustainable Rural Development and Management, 2007 年 10 月 18 日, Korea

⑤中村公人, メタン発酵消化液を投入した水田土中の窒素動態, 平成 19 年度農業土木学会大会, 2007 年 8 月 28 日, 島根県

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 水田の節水型漏水防止構造

発明者: 中村公人, 中島吉嗣, 小山孝次, 古川政行, 玉村幸雄, 清水まり, 田中義人, 小池清一, 中村徳章

権利者: 同上

種類:

番号: 2007-312961

出願年月日: 2007 年 12 月 4 日

国内外の別: 国内

[その他]

○アウトリーチ活動 (計 4 件)

①中村公人 (講師), 「きれいな水届けたい-琵琶湖の農家の試み-」, 大宮小学校第 3 回家庭教育学級, 大宮小学校, 2009 年 2 月 27 日

②中村公人 (講師), 「循環灌漑と湖沼水質」, 平成 20 年度 (第 4 回) 湖沼環境保全のための統合的流域管理コース研修講義, (財) 国際湖沼環境委員会, 2009 年 1 月 29 日

③中村公人 (パネラー), 「地域の理解と協働作戦による環境保全」, 田園水循環フォーラム in 東近江~みずすまし構想 10 周年を迎えて~, 滋賀県主催, 滋賀県近江八幡市, 2007 年 2 月 15 日

④中村公人 (パネラー), メタン発酵消化液を投入した水田土壌中の窒素動態, バイオガス事業経営研究会 (平成 18 年度第 2 回), バイオガス事業推進協議会主催, 京都府南丹市, 2006 年 12 月 1 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中村公人 (NAKAMURA KIMIHIITO)

京都大学・農学研究科・講師

研究者番号: 30293921

(2) 研究分担者

三野 徹 (MITSUNO TORU)

京都大学・農学研究科・京都大学名誉教授

研究者番号: 10026453

金木亮一 (KANEKI RYOICHI)

滋賀県立大学・環境科学部・教授

研究者番号: 30074082

濱 武英 (HAMA TAKEHIDE)

京都大学・農学研究科・助教

研究者番号: 30512008

(3) 連携研究者

堀野治彦 (HARUHIKO HORINO)

大阪府立大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号: 30212202

(4) 研究協力者

坂田 賢

京都大学・農学研究科・技術補佐員

中島吉嗣

キタイ設計株式会社

東岡秀高

京都大学・農学研究科・修士課程

廣瀬良一

水土里ネット鴨川流域・事務局長

深見 彩

株式会社建設技術研究所

古川政行

キタイ設計株式会社

渡部慧子

京都大学・農学研究科・博士後期課程