

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510008

研究課題名(和文)高濃度二酸化炭素と窒素施肥が農耕地土壌有機物の化学特性や元素滞留に与える影響

研究課題名(英文)Effect of elevated CO₂ and N fertilization on chemical properties and element retention of soil organic matter in agricultural soil

研究代表者

上野 秀人(Hideto, Ueno)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：90301324

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円、(間接経費) 1,290,000円

研究成果の概要(和文)：大気中の炭酸ガス濃度の増加と窒素施肥が、土壌中の窒素・炭素化合物の化学的特性変化や代謝速度に与える影響を解析した。CO₂濃度が高まると、土壌中の有機窒素化合物濃度が高まる。また窒素施肥量が高めると、さらに有機窒素化合物濃度が高まるため、土壌の肥沃度が高くなり、農業生産に有利になることが明らかとなった。

土壌腐植物質の主成分であるフェノール酸の¹³C存在割合を調べたところ、エーテル結合フェノール酸は、エステル結合フェノール酸より大気炭素の取り込み速度が速いことが明らかとなった。また高濃度CO₂ほどフェノール酸の炭素回転率が高くなる傾向もはっきり確認された。施肥窒素の影響はほとんど受けなかった。

研究成果の概要(英文)：The effects of elevated CO₂ and N fertilization on chemical properties and turnover rates of soil organic compound were investigated. Elevated CO₂ increased concentration of organic compounds in the soil. Higher rate of N fertilization also increased organic N compounds. Elevated CO₂ and higher N input may improve soil fertility by increase of easily-decomposable organic matter.

Carbon turnover rates of phenolic acids in the soil were affected with CO₂ concentration markedly, but they were little affected with rate of N fertilization. As phenolic acids, phenol, Vanillin, 4-Hydroxybenzoic acid, Vanillic acid, Acetovanillone, Syringaldehyde, Syringic acid, Ferulic acid were detected. Ether-linked phenolic acids showed higher turnover rate than Ester-linked one.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：土壌有機物 炭素蓄積 窒素動態 高濃度二酸化炭素 ¹³C ¹⁵N 腐植物質 FACE

1. 研究開始当初の背景

(1)地球温暖化は、土壌有機物分解を促進する一方、大気中の CO₂ 増加は、光合成効率の向上をもたらし、作物生産を増加させるとともに、作物栽培期間中に Rhizodeposition(植物根からの放出)等として土壌中へ供給されるため、土壌中の炭素蓄積においては、重要な位置を占めることが明らかになりつつある。

(2)Swiss FACE Project は、1996 年から野外条件で草原に、¹³CO₂ と ¹⁵N 肥料を連続的に暴露・施用し続け、高濃度二酸化炭素と窒素施肥の影響下における長期間の影響を調べることを目的として国際的な研究体制の元、多元的な研究が行われてきた。土壌炭素・窒素動態においても多くの成果が、カリフォルニア大学の研究グループによって、インパクトファクターの高い学術雑誌に次々と報告されている。本課題は、この一連の研究成果を受け、さらに深化させるものである。

2. 研究の目的

(1)本研究は、地球温暖化に伴う土壌中の有機物分解速度の増加、大気炭酸ガス濃度の増加、土壌生物活性の変化、さらに施肥や作物種等が、土壌中の窒素・炭素化合物の化学的特性変化や代謝回転率、炭素・窒素の元素蓄積に及ぼす複雑な影響を解析することを目的とした。

(2)具体的には、安定同位体元素 (¹³C, ¹⁵N) を圃場に 10 年間施用した非常に貴重な土壌サンプルを用いて、土壌中の各種炭素・窒素化合物を分画し、精密測定や安定同位体による元素動態モデル解析を行うものであり、カリフォルニア大学デービス校と連携しながら研究を国際的に遂行した。

3. 研究の方法

(1)スイスの草地土壌において非マメ科草種 *Lolium perenne* を栽培し、2水準の ¹³CO₂ および 2水準の ¹⁵N 肥料を 10 年間連続施用した土壌を供試した。

(2)土壌サンプル中の無機態窒素(硝酸、アンモニア)および易分解有機物であるアミノ酸、アミノ糖、アミド等の加水分解物、さらに難分解有機物である非加水分解物を化学的に分画し、それぞれの分画の ¹³C、¹⁵N 安定同位体存在比を測定した。

(3)土壌サンプル中の腐植物質中のフェノール化合物をエステル結合、エーテル結合、水抽出、EDTA 抽出によって分画するとともに、それらの抽出物中の化合物を GC-IRMS 分析機器によって分離し、各ピークの ¹³C、¹⁵N 安定同位体存在比を測定した。標準試薬として Phenol、Acetophenone、Vanillin、4-Hydroxybenzoic acid、Vanillic acid、

Acetovanillone、Syringaldehyde、*p*-Coumaric acid、3',5'-Dimethoxy-4'-hydroxyacetophenone、Syringic acid、Ferulic acid、Sinapic acid を用いた。

4. 研究成果

(1)二酸化炭素濃度が 10 年間上昇しても土壌中の炭素含量は有意に変化しなかった。サンプル土壌中の各種窒素化合物中の窒素量が全窒素量に占める割合は、高い方から順にアミノ酸、アミド、非加水分解物、アミノ糖、硝酸、アンモニアの順になった(図 1)。無機態窒素と易分解性窒素化合物を合わせた割合が 8 割程度を占め、高いことが示された。処理区間に有意差はあまり見られなかったが、硝酸態窒素において窒素が高いほど、また CO₂ 濃度が高いほど高い傾向が見られた。

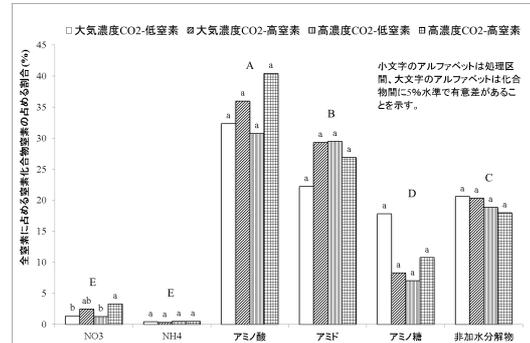


図 1 土壌中の各種窒素化合物中の窒素量が全窒素量に占める割合

(2)高濃度 CO₂ 条件下において、暴露された CO₂ は土壌に蓄積され、非加水分解性有機化合物画分へ優先的に蓄積する傾向が見られた。暴露 CO₂ は ¹³C が低いため、非加水分解性有機物の ¹³C も低くなった(図 2)。窒素施肥効果については、窒素施肥量を高めるほど、肥料窒素濃度が高まるが、その割合は、高濃度 CO₂ 条件の方が高かった。

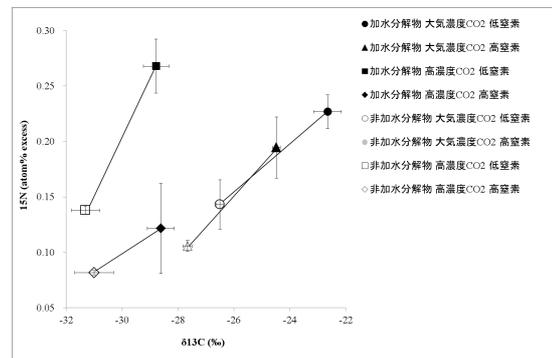


図 2 土壌中の加水分解物と非加水分解物の ¹³C および ¹⁵N 存在比の関係

(3)施肥された化学肥料窒素が土壌中の各窒素化合物窒素に占める割合(fN)は、硝酸とアンモニアが高く、非加水分解物、アミノ糖、アミド、アミノ酸が続いた(図 3)。fN は、窒素施肥量が高いほど、また CO₂ 濃度が高いほど高い傾向が見られた。このことから、高

窒素、高 CO₂ 条件下では、土壤有機物の生成分解サイクル（回転率）が高くなること示された。二酸化炭素増加により fN の硝酸、アンモニア、アミノ酸画分が増加したことについては、過去にも報告されていない研究成果である。

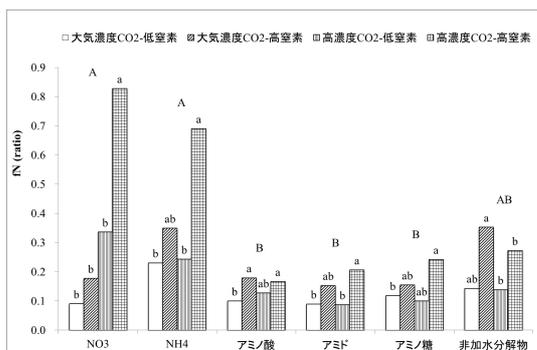


図3 施肥された化学肥料窒素が土壤中の各窒素化合物窒素に占める割合

(4) 窒素施肥はアンモニアの形態で行われた。10年間の間に施用された窒素は「新しい窒素」であり、実験開始時まで存在した窒素は「古い窒素」と言える。土壤中の各窒素化合物における新しい窒素の蓄積量を図4に示した。新しい窒素が蓄積した画分は高い方から、アミノ酸 > 非加水分解物 > アミド > アミノ糖 > 硝酸 > アンモニアの順になった。ほとんどの化合物において施肥量が多いほど、新しい窒素の蓄積量が高くなった。また CO₂ 濃度が高いほど新しい窒素の蓄積量が高くなった。さらにアミノ酸、アミド、アミノ糖については、高濃度 CO₂ と高窒素の交互作用も見られた。

これらのことから、CO₂ 濃度が高まると、土壤中の有機窒素化合物濃度が高まる。そして窒素施肥量を高めると、さらに有機窒素化合物濃度が高まるため、土壤の肥沃度が高くなり、農業生産に有利になることが示唆された。

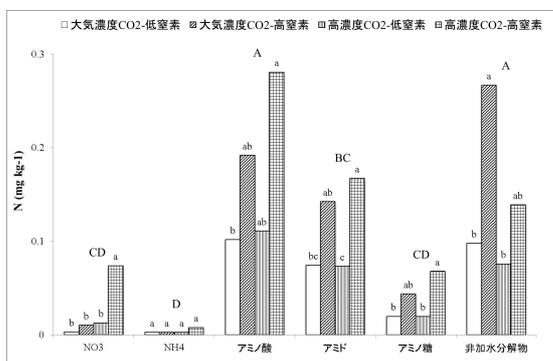


図4 施肥窒素が土壤中の各窒素化合物に取り込まれた量の比較

(5) 水抽出および EDTA 溶液抽出を行った場合は、フェノール酸の抽出はほとんど行えなかった。エステル結合フェノール酸（図5）およびエーテル結合フェノール酸（図6）に

ついては、複数のピークが観察された。最も高いピークはバニリン酸であった。他の主要な成分として、バニリン、シリングアルデヒド、4-ヒドロキシベンズアルデヒド、アセトシリンゴン、シリング酸、フェルラ酸、フェノールが同定された。抽出法により成分比率の違いがやや認められた。

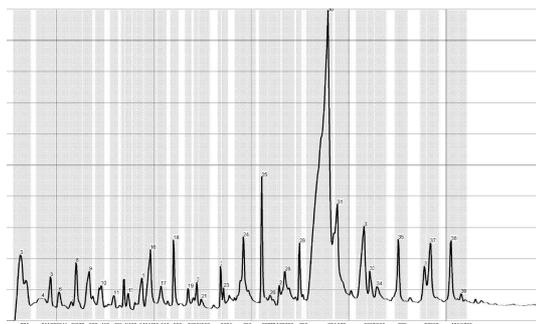


図5 エステル結合フェノール酸のガスクロマトグラム（高濃度 CO₂ - 高窒素区）

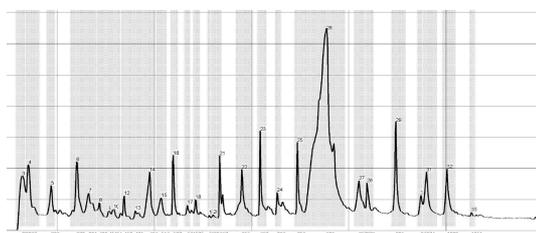


図6 エーテル結合フェノール酸のガスクロマトグラム（高濃度 CO₂ - 高窒素区）

(6) 土壤腐植物質の主成分であるフェノール酸の ¹³C 存在割合を図7に示した。炭素回転率が高いほど ¹³C は低く現れる。エーテル結合フェノール酸は、エステル結合フェノール酸より ¹³C が低く、大気炭素の取り込み速度が速いことが明らかとなった。また高濃度 CO₂ ほどフェノール酸の炭素回転率が高くなる傾向もはっきり確認された。しかしながら、施肥窒素の影響はほとんど受けないと言える。

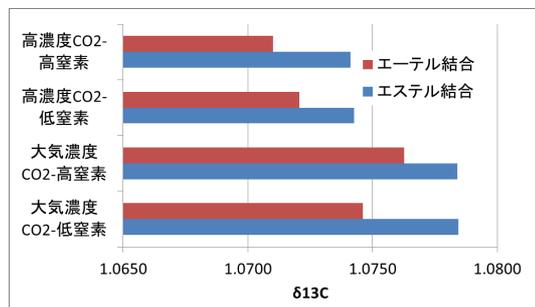


図7 エステル結合およびエーテル結合フェノール酸の平均 ¹³C の比較

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Sugihara Y, Ueno H, Hirata T, Araki H, Hairy vetch derived-N uptake by tomato grown in a pot containing fast- and slow-release N fertilizer, Journal of

Japanese Society of Horticulture Science、査読有、in press、2014

DOI:10.2503/jjshs1.CH-061

小久保利明、宮崎彰、吉田徹志、山本由徳、浅木直美、上野秀人、居静、王余龍、中国産多収性水稻品種の吸収窒素利用効率に及ぼす緩効性肥料の施用効果、日本作物学紀事、査読有、82(4)巻、2013、337-344

Hossain ST, Sugimoto H, Asagi N, Araki T, Ueno H, Morokuma M, Kato H, The use of desalinated-dried jellyfish and rice bran for controlling weeds and rice yield, Journal of Organic Systems、査読有、8(1)、2013、337-344

上野秀人、緑肥作物の利活用法、農耕と園芸、査読無、68(7)、2013、12-19

Sugihara Y, Ueno H, Hirata T, Araki H, Uptake and distribution of nitrogen derived from hairy vetch used as a cover crop by tomato plant, J. Japan. Soc. Hort. Sci., 査読有、82 巻、2013、30-38

Ghoneim A, Ueno H, Asagi N, Watanabe T, Indirect ¹⁵N isotope techniques for estimating N dynamics and N uptake by rice from poultry manure and sewage sludge, Asian J. Earth Sci., 査読有、5 巻、2012、63-69

DOI:10.3923/ajes

〔学会発表〕(計49件)

西原紫織、山内絵利奈、上野秀人、当真要、横山正、窒素固定菌 *Bacillus pumilus* を接種した水稻の生育および収量、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

大森信吾、丸山明日香、当真要、上野秀人、永田修、耕起回数と肥料の種類が水稻の生育・収量および水田のメタン発生に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

三宅由美菜、上野秀人、当真要、石岡基、竹炭および牛糞堆肥等の有機物施用が水稻生育と収量に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

田中遼、上野秀人、当真要、岡寛、クリンカー施用が水稻の生育、収量および土壌特性に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

横山泰士、上野秀人、当真要、岡寛、クリンカー施用がコマツナとハツカダイコンの生育・収量・土壌特性に及ぼす影響、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

森田展樹、樋口武、当真要、上野秀人、加藤也寸彦、泉屋亨、バイオエタノール蒸留廃液肥料の施肥量・回数の違いがト

ウモロコシの生育・収量および土壌の化学的特性に与える効果、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

岩本玲奈、稲吉佳緒里、当真要、長崎信行、上野秀人、浅床・有機栽培がレンコンの生育と収量および土壌肥沃度に与える影響、日本作物学会四国支部会、2013年11月28日、香川県善通寺市

Asagi N, Miya T, Shiotsu F, Kokubo T, Nitta Y, Ueno H, Distribution of ¹³C-labelled rhizodeposition of sweet sorghum into soil microbial biomass under treatments applied with organic matter, International Annual Meeting of Soil Science Society of America、2013年11月3日、Tampa, FL, USA

Ueno H, Miyazaki T, Araki H, Application Effects of Legumes on Growth, Yield of Vegetables and Nitrogen Dynamics by Using ¹⁵N Tracer, 18th International Congress on Nitrogen Fixation、2013年10月14日、Miyazaki, Japan

西原紫織、山内絵利奈、当真要、横山正、上野秀人、窒素固定菌を接種した水田における水稻の生育・収量および窒素固定能、日本土壌肥料学会、2013年9月11日、名古屋市

樋口武、大久保明香、当真要、上野秀人、トウモロコシ栽培におけるバイオエタノール蒸留廃液施用が土壌肥沃度へ与える影響、日本土壌肥料学会、2013年9月11日、名古屋市

稲吉佳緒里、当真要、長崎信行、上野秀人、レンコンの浅床栽培における窒素動態 - 有機質肥料施用で窒素固定が増加する - 、日本土壌肥料学会、2013年9月11日、名古屋市

Ueno H, Utilization of organic wastes in local area to improve plant production and soil quality for building sustainable agricultural systems in Japan, International Conference on Sustainable Rural Development 2013、2013年8月25日、Purwokerto, Indonesia

辻静華、西原紫織、上野秀人、当真要、津曲徹、長期自然農法管理水田における水稻の生育・収量と土壌特性、日本農作業学会、2013年3月18日、松山市

井上恭佑、当真要、大久保直樹、山内孝志、河野貴幸、上野秀人、バイオエタノール蒸留廃液の施用が温州ミカンの生育・品質および亜酸化窒素発生に与える影響、日本農作業学会、2013年3月18日、松山市

八木岡敦、小松崎将一、浅木直美、上野秀人、不耕起・草生管理による有機栽培体系での作業体系と土壌養分動態、日本農作業学会、2013年3月18日、松山市

- 上野秀人、浅木直美、水田でのカバーク
ロップ利用と地域農業日本農作業学会、
2013年3月18日、松山市
- 当真 要、丸山明日香、上野秀人、柑橘
の発酵脱汁カスの水田への施用は水稻栽
培に有効か？、日本作物学会四国支部会、
2012年11月30日、香川
- 丸山明日香、当真要、上野秀人、永田 修、
耕起回数が水稻の生育・収量および水田
のメタン発生に与える影響、日本作物学
会四国支部会、2012年11月30日、香川
山内絵利奈、西原紫織、上野秀人、当真
要、横山正、窒素固定菌を接種した水稻
の生育、収量および品質の評価、日本作
物学会四国支部会、2012年11月30日、
香川
- 21 宮崎崇史、上野秀人、当真要、荒木肇、
マメ科緑肥カバークroppがトウモロコ
シ生育収量・養分動態に与える効果、日
本作物学会四国支部会、2012年11月30
日、香川
- 22 樋口武、大久保明香、当真要、上野秀人、
加藤也寸彦、泉屋 亨、バイオエタノール
蒸留廃液のトウモロコシ栽培に対する肥
料効果、日本作物学会四国支部会、2012
年11月30日、香川
- 23 稲吉佳緒里、当真要、長崎信行、上野秀
人、レンコンの浅床・有機栽培における
生育と収量、日本作物学会四国支部会、
2012年11月30日、香川
- 24 越智由紀恵、Haofang Y、杉本秀樹、荒木
卓哉、上野秀人、諸隈正裕、クラゲと米
ぬかの併用が水稻の初期生育と根の機能
に及ぼす影響、日本作物学会四国支部会、
2012年11月30日、香川
- 25 Ueno H、Miyazaki T、Araki H、
Application effects of legumes on
growth, yield of vegetables and
nitrogen dynamics by using ¹⁵N tracer、
International Annual Meeting of Soil
Science Society of America、2012年10
月24日、Cincinnati, OH, USA
- 26 戸井和彦、上野秀人、小学校におけるコ
ンパニオンプランツ導入の試み、日本農
業教育学会、2012年9月17日、知立市
- 27 宮崎崇史、上野秀人、荒木 肇、マメ科
緑肥施用したハウストマトの生育収量お
よび養分動態、日本土壤肥料学会、2012
年9月4日、鳥取市
- 28 西原紫織、上野秀人、当真 要、津曲 徹、
自然農法水田における土壌の生物的・化
学的特性と水稻収量・品質特性の関係、
日本土壤肥料学会、日本土壤肥料学会、
2012年9月4日、鳥取市
- 29 宮達也、浅木直美、新田洋司、小松崎将
一、上野秀人、C/N比の高い有機物の
施用が化学肥料由来Nの動態と作物の生
育に及ぼす影響、日本土壤肥料学会、2012
年9月4日、鳥取市
- 30 杉本秀樹、久保真実、荒木卓哉、上野秀
人、ホセイン ST、諸隈正裕、加藤尚、天
然資源（クラゲ、米ぬか）活用の安全・
安心米作り、日本作物学会、2012年3月
29日、東京
- 31 上野秀人、宮崎崇史、辰巳悠、柴田朋美、
荒木肇、ヘアリーベッチおよびシロクロ
ーバーを表面施用したトマト栽培におけ
る生育収量および養分動態、日本農作業
学会、2012年3月24日、つくば市
- 32 浅木直美、宮達也、本間貴司、新田洋司、
塩津文隆、小松崎将一、上野秀人、C/N
比の高い作物残渣施用土壌における化学
肥料由来窒素の動態と作物生育、日本農
作業学会、2012年3月24日、つくば市
- 33 八木岡敦、小松崎将一、金子信博、上野
秀人、不耕起・草生栽培による有機野菜
栽培の体系化、日本農作業学会、2012年
3月24日、つくば市
- 34 Yagioka A, Wako R, Komatsuzaki M, Asagi
N, Kaneko N, Ueno H, Nutrient cycle
on Nature Farming、日本生態学会、2012
年3月19日、大津市
- 35 上野秀人、柴田朋美、当真要、横山正、
窒素固定菌接種が有機栽培水稻の生育・
収量および土壌特性に与える効果、茨城
大学「自然共生型農業への転換・移行に
関する研究」公開シンポジウム、2012年
2月11日、茨城県阿見町
- 36 宮崎崇史、上野秀人、荒木肇、マメ科緑
肥リビングマルチ栽培におけるトウモロ
コシ生育およびリン動態、日本土壤肥料
学会関西支部会、2011年12月8日、豊
中市
- 37 柴田朋美、上野秀人、当真要、横山正、
窒素固定菌接種水田における化学的・生
物学的土壌特性と水稻生育、日本土壤肥
料学会関西支部会、2011年12月8日、
豊中市
- 38 宮崎崇史、上野秀人、辰巳悠、柴田朋美、
荒木肇、マメ科緑肥施用したハウストマ
トの生育収量および養分動態、日本作物
学会四国支部会、2011年11月25日、南
国市
- 39 西原紫織、上野秀人、当真 要、津曲 徹、
自然農法水田土壌の生物的・化学的の特
性および水稻収量特性、日本作物学会四
国支部会、2011年11月25日、南国市
- 40 石岡健太、細川めぐみ、当真 要、上野秀
人、栽培環境及び植物体分析による柑橘
水腐れ症発生要因の探索、日本作物学会
四国支部会、2011年11月25日、南国市
- 41 石掛桂士、山下陽一、阿立真崇、上野秀
人、山下 淳、杉本秀樹、無代かき水稻綿
マルチ直播栽培における収量、品質およ
び環境保全機能、日本作物学会四国支部
会、2011年11月25日、南国市
- 42 大久保明香、当真要、上野秀人、加藤也
寸彦、泉屋亨、バイオエタノール蒸留廃
液を施用したトウモロコシの生育、収量
および養分吸収、日本作物学会四国支部

- 会、2011年11月25日、南国市
- 43 土井涼佳、大久保明香、当真要、上野秀人、加藤也寸彦、泉屋亨、バイオエタノール蒸留廃液が水稻の生育・収量・養分吸収に及ぼす影響、日本作物学会四国支部会、2011年11月25日、南国市
- 44 山下淳、杉本秀樹、上野秀人、山下陽一、阿立真崇、石掛桂士、水稻布マルチ直播栽培のための機械システムの開発(2)、日本作物学会四国支部会、2011年11月25日、南国市
- 45 柴田朋美、上野秀人、横山正、窒素固定菌を接種した水田における水稻生育と収量及び土壌特性、日本作物学会四国支部会、2011年11月25日、南国市
- 46 宮崎崇史、上野秀人、マメ科緑肥施用土壌におけるコマツナとハツカダイコンの生育収量および窒素動態、日本土壌肥料学会、2011年8月8日、つくば市
- 47 高野義巳、上野秀人、長崎信行、菅家文教、福田直大、森本聡、竹粉堆肥施用と綿マルチがハウレンソウとキャベツの収量及び品質に与える影響、日本土壌肥料学会、2011年8月8日、つくば市
- 48 柴田朋美、上野秀人、石綿薫、千嶋英明、降幡郁子、岩石真嗣、栽培管理の異なるキャベツ栽培土壌における微生物叢の基質資化性および生物活性測定、日本土壌肥料学会、2011年8月8日、つくば市
- 49 上野秀人、細川めぐみ、杉本秀樹、山下 淳、綿マルチが水稻生育及び水稻栽培土壌の窒素動態に及ぼす影響、2011年7月15日、日本農作業学会、京都市

〔図書〕(計4件)

垣原登志子、上野秀人他、共立出版、食育入門 生活に役立つ食のサイエンス、2014、172

稲山光男、上野秀人他7名、日本土壌協会、有機栽培技術の手引(果菜類編)、2014、394

水谷房雄、上野秀人他13名、日本土壌協会、有機栽培技術の手引(果樹・茶編)、2013、422

塩谷哲夫、上野秀人他13名、日本土壌協会、有機栽培技術の手引(水稻・大豆等編)、2012、386

〔産業財産権〕

取得状況(計1件)

名称：農業用マルチシートの製造方法
発明者：上野秀人他
権利者：同上
種類：特許
番号：特許第 5103592 号
取得年月日：24年10月12日
国内外の別：国内

〔その他〕

ホームページ等

<http://web.agr.ehime-u.ac.jp/~seisan/soil/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上野 秀人 (UENO, Hideto)

愛媛大学・農学部・教授

研究者番号：90301324