

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2013～2016

課題番号：25220104

研究課題名(和文) プランテーションのダイナミックモデル開発による持続性評価と地域システムへの展開

研究課題名(英文) Development of system dynamic model of plantation to evaluate the sustainable production of crops by appropriate recycle of biomass residues

研究代表者

藤江 幸一 (FUJIE, Koichi)

横浜国立大学・先端科学高等研究院・教授

研究者番号：30134836

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 98,200,000円

研究成果の概要(和文)：環境・生態系への多大なインパクトが懸念される熱帯プランテーションにおいて、サトウキビ、パーム、キャッサバの栽培、加工・精製、排水・廃棄物処理とリサイクルに係る物質フロー分析に加えて、不耕起とバイオマス残渣を併用した保全農法による土壌環境と収穫量に対する効果の実測を行い、1) 保全農法は土壌への有機物蓄積、微生物の量と多様化の増加をもたらす、収穫量は慣行法に劣らぬこと、2) 加工残渣と排水の飼料化、肥料化、メタン発酵、エネルギー回収等を評価する現場データが蓄積され、3) バイオマス残渣循環システムの有効性を予測・評価するモデル構築が実現し、限られたバイオマス残渣の活用に貢献できる。

研究成果の概要(英文)：Research on tropical plantations of sugarcane, palm and cassava was carried out in south Sumatra, Indonesia. We have found that no-tillage increased both litter and soil microbial biomass and diversity, and mulching increased microbial biomass, whereas diversity was decreased by mulching. No-tillage with bagasse mulching gave the similar crop yield of sugarcane with the conventional practice. Material flow analyses were performed in the crop processing factories, biomass residue and wastewater treatment, and the recycling systems such as methane fermentation, composting, beef cattle fattening, and so on. Based on the obtained data and information, a system model to design and evaluate the biomass residue recycle system for the plantation was developed. Environmental impact of plantation and requirements for the disseminating the biomass residue recycle system into the plantation have been clarified through this research.

研究分野：環境工学、化学工学、資源循環工学、バイオマス利用、水環境

キーワード：バイオマス残渣 プランテーション リサイクル 土壌環境 保全農法 物質フロー 温室効果ガス 持続可能性

### 1. 研究開始当初の背景

熱帯・亜熱帯地方の広大なプランテーションで栽培された作物とその加工産物は広く世界に流通するとともに、温室効果ガスの排出削減を期待したバイオ燃料の増産が推進されてきた。しかし、森林皆伐など土地利用改変を伴うプランテーションの拡大は、1)生態系への多大なインパクトにとどまらず、2)土壌浸食、流出土壌や肥料による河川汚濁など、多くの環境問題をもたらしている。落枝・落葉等による樹木から土壌へ、土壌から樹木への物質循環が遮断され、3)土壌有機物の分解による大気中へ一方的に二酸化炭素が放出される。土壌有機物の分解・無機化は、4)土壌肥沃度の低下による作物単収の減少をもたらすので、5)過剰な化学肥料の施用や新たなプランテーション拡大に拍車を掛けてきた。さらに、6)バイオマス産物の加工工程排水は熱帯の温暖湿潤環境下では多大なメタン発生源となり、7)バイオマス残渣の分解による二酸化炭素発生とともに、バイオマス産物や燃料の利用が、かえって環境・生態系に対するインパクトの増大をもたらしてきたと判断される(論)。

### 2. 研究の目的

上記した多様かつ深刻な課題に対して、総合的な環境負荷低減と作物単収の向上とを併せて実現できる持続可能なプランテーション・システムを構築するためのソリューションを提供するために、本研究では以下の目的を設定した。

- 1) 強風化土壌のため生産力が低いスマトラ島南部において、土壌管理が土壌生態系の変化を通して生産力の回復をもたらす仕組みを明らかにする。
- 2) プランテーションおよび作物の加工・精製工程における主に炭素・窒素に着目した物質収支の分析・評価を行い、製品収率、残渣・排水の性状と発生量をはじめ、プランテーションにおける生産・加工から環境負荷までの総合的な診断に基づいて、課題の抽出と改善の可能性を明らかにする。
- 3) 各種の加工残渣と排水の処理・リサイクルに利用される技術やプロセスの物質・エネルギー収支の分析に基づく評価とバイオマス残渣等の土壌施用と土壌管理の効果を明らかにする。
- 4) バイオマス残渣・排水等を効果的に循環利用する持続可能なプランテーション・システムの設計手法構築し、その効果を示しながら普及を推進する活動を行う。

### 3. 研究の方法

本研究はサトウキビ、パームおよびキャッサバを対象として、インドネシア・スマトラ島 Lampung 州のプランテーションにおいて作物栽培農地、産物加工工場、残渣・排水の処理とリサイクル工程を対象に現地での調査・研究を実施した。土壌管理とキャッサバ

栽培については Lampung 大学実験圃場で、サトウキビの栽培・有機質土壌還元については宮古島で並行した実験研究を行った。

プランテーションにおける作物栽培、産物の加工および発生する排水・廃棄物の処理・処分を含む一連の機能を纏めてプランテーション・システムと呼び、これを機能と物質フローに基づいて、作物を栽培・収穫する Zone1、収穫作物の加工と分離精製を行う Zone2、工程排水・廃棄物の処理・リサイクルを担う Zone3 に分類し、それぞれについて、以下の方法で研究を推進した(図1参照)。

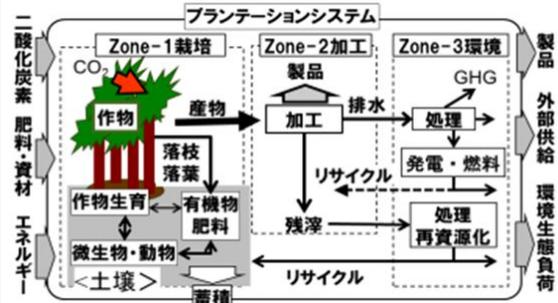


図1 機能と物質フローに基づくプランテーション・システムの構造化

1) 因果ループと因子の特定：プランテーション・システムにおける、収穫量の増大、環境負荷低減、バイオマス残渣・エネルギーの供給能力等に対する予想される影響因子と相互関係を把握し、各 Zone における要調査研究項目を抽出する。

2) 各 Zone の研究：以下の内容で実施した。  
Zone1：サトウキビプランテーションに 20 区画 (4ha) の試験圃場を設定し、不耕起とバガスマルチによる保土管理の効果を検証した。慣行法との比較を通して土壌環境と生態系、収穫量、物質収支の変化等を分析した。

キャッサバ圃場では牛糞堆肥の施用と耕起・不耕起の効果、宮古島ではサトウキビ栽培での化学肥料と牛糞堆肥の長期施用の効果の比較を実施した。

土壌動物の同定と現存量・個体数の測定、リン脂質、呼吸鎖キノン、DNA 塩基配列の分析による細菌・糸状菌の群集構造および変化を解析し、収量増加のための土壌環境改善の方策に繋げた。

Zone2：製糖工場、パーム製油工場に加えて、大 (500~700t/日) 小 (30~40t/日) のタピオカ工場において、物質フロー (重量、炭素、窒素、水分等) に加えて、バイオマス残渣と排水の量・組成を実測・把握した。

Zone3：製糖工場では、バガス、ろ過ケーキ等の発生量と用途に加えて、土壌還元可能量を把握した。タピオカ工場では、残渣の飼料化による肉牛肥育、牛糞堆肥化、メタン発酵、発酵廃液の液肥化等における物質・エネルギー収支を実測・分析した。パーム製油工場では、中果皮繊維、空果房 (EFB)、製油排水 (POME) について、エネルギー化、堆肥化、バイオガス化の実測に加えて、ラグーン流出水

のパームへの施用効果を把握した。

3) バイオマス残渣循環システム設計への展開：収穫量の増大と環境負荷低減に加えて余剰産物の有効利用を実現するバイオマス残渣等循環システムの設計と評価に供するモデルを構築し、集積された必要情報とともに、プランテーションおよび関連するセクターへの提供・発信に活用した。宮古島では、地下水汚染と島外への依存を低減する方策の検討ツールとした。

#### 4. 研究成果

本研究の成果について、5. 主な発表論文等を引用しながら、以下にまとめる。雑誌論文の引用は雑であり、以下、国際学会は際、国内学会は内 などとした。

##### 1) Zone1のまとめ

サトウキビプランテーションでは開設後30年で約3割単収が低下していた。マルチ施用は土壌表層の有機物含有率を増加させ、落葉層と土壌の微生物バイオマス量を増加させたが、土壌生物の多様性は低下した。不耕起は微生物のバイオマス量と多様性を増加させ、土壌の透水性を改善した。ミミズはランブ州の広い範囲で在来種が失われており、調査地でも外来種が主要なバイオマスを占め、保安全管理により増加した。保安全管理の収穫量は年々増加し4、5年目には慣行管理との差は見られなかった(図2)。

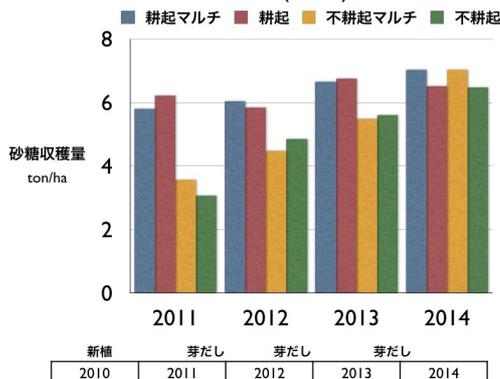


図2 保安全管理導入後のサトウキビ収穫量変化

ランブ大学構内の不耕起・草生の試験区では除草剤使用の有無の比較を行った。3作目のキャッサバ栽培において、不耕起+草生は耕起+除草剤と同様の生産量を示し、土壌のパラメータは不耕起+草生で最も良くなった。不耕起+除草剤では、土壌浸食が増加し生産量も低かった。不耕起+除草剤の管理は土壌の改善と生産量の増大にはつながらなかったことを明らかにできた。保全的な管理により土壌微生物バイオマスが増加し、植物による窒素利用効率が高まっており、土壌生態系の機能の改善を通して、効率的な窒素循環を達成していることが明らかになった(論、際、内、他、多数)。Roth-Cモデルでは保安全管理で長期に土壌炭素が増加することが予測された。

##### 2) Zone 2のまとめ

・製糖工場：物質・エネルギー収支の分析に基づいて、土壌還元できるバガス量が不足しており、発電用バガス量の削減、リターや被覆作物の併用などが必要となることを示した(論)。

・パーム製油工場：工程に物質収支分析から粗パーム油(CPO)、燃料用 mesocarp fibre(果皮繊維)、排水(POME)、空果房(EFB)等の発生量を把握し、炭素、窒素、カリウム等の元素収支を把握し、再資源化の可能性を検討した。(論、際等)

・タピオカ工場：大小のタピオカ工場(前出)におけるプロセスの大きな違いは、キャッサバから湿潤状態で分離されたタピオカの乾燥に大工場では気流乾燥を、小工場では天日乾燥を用いていることであり、前者のエネルギー消費が大きい。プロセスと規模の違いによる物質収支、製品収率等を実測した結果では、大小規模での差は小さく、キャッサバ含有炭素の約60%が残渣と排水に排出されていた(論)。単位排水量当たり発生するバイオガス量はパーム製油排水の3倍程度に達し、ラグーンからの温室効果ガスが著大となる(際)。

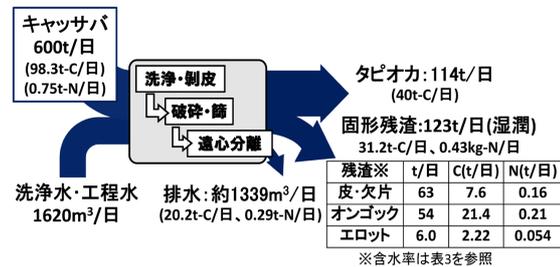


図3 大規模タピオカ工場における物質収支

##### 3) Zone 3のまとめ

・製糖工場：土壌還元を利用できるバガス、ろ過ケーキ等の発生量は、Zone1で検討したマルチ施用量を大きく下回り、土地有機物量の増大による肥沃度の向上は困難であること判断された。製糖工場におけるエネルギー有効利用や発電効率の向上による燃料としてのバガス消費量を削減し土壌還元に向けなければならない。収穫前のキビ畑での枯葉焼却を止めて土壌へのリター供給量を増大するとともに、不耕起による土壌中での有機物分解の抑制と蓄積を図る必要がある。

・パーム製油工場：メタン発酵によって POME からバイオガス回収し、液肥を兼ねた灌漑用水として発酵廃液をパームプランテーションに施用する場合における、1)メタン生成効率と、2)施用した土壌の物質収支およびパーム単収への効果を把握した。発酵廃液の施用は、土壌有機物の蓄積と単収向上をもたらすと判断された(際、内)。しかし、製油工場は電力系統には接続せず、果皮繊維等を燃料とした発電でエネルギー的に自立しているため、バイオガス利用に対する投資意欲は低い。

・タピオカ工場：図4に示すバイオマス残渣と排水の循環利用システム構築のための設計・評

備手法の確立を目指した。システムの構成ユニットはメタン発酵とバイオガス利用（発電、加熱等）発酵処理水の液肥化、キャッサバ残渣の飼料化による肉牛肥育、牛糞尿の堆肥化によるキャッサバ栽培への施肥等である。

このシステム設計に必要な各構成ユニットの物質収支の分析を行った。加工残渣を主飼料とした肉牛肥育について半年間の物質収支（炭素、窒素を含む）を現地で分析した（図5）。体重を250kgから450kgまで肥育する際の必要飼料量（湿潤）は残渣（オンゴック）1440kg、トウモロコシ900kgなどであった。同様の物質収支分析を牛糞尿堆肥化、メタン発酵、牛糞堆肥施用キャッサバ実験圃場で実施した（論）。

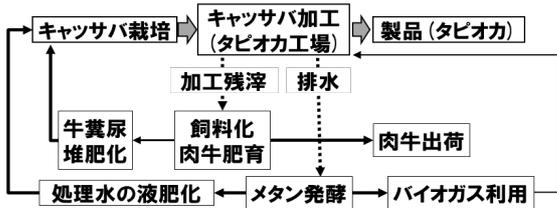


図4 タピオカ工場の残渣・排水の再資源化・循環利用システムの構成

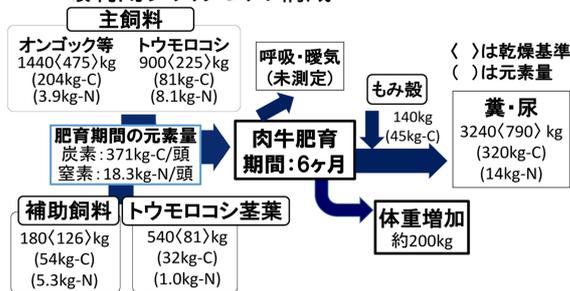


図5 残渣による肉牛肥育における物質収支

#### 4) システムダイナミックモデルへの展開

バイオマス残渣や排水の循環利用を基盤としたプランテーション・システムを記述する数理モデルを提案した。物質、炭素、エネルギーを変数として各ユニットプロセス内、各プロセス間での物質・エネルギーフローの設計により単収の向上、環境負荷低減、バイオマスとエネルギーの外部供給能力等に関して、俯瞰的視点からこれらを予測できる（論、内）。

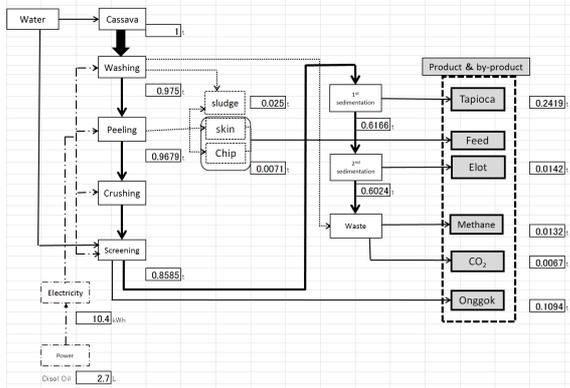


図6 システムダイナミックモデル概略

タピオカ工場排水のメタン発酵によるバ

イオガス回収は60%の温室効果ガスを削減できる。上記での物質収支分析結果と現地の実勢条件を加味したバイオガス利用設備の投資回収年数を図7に再録した（論、内）。メタン回収率60%では約4年となり、プランテーション側が期待する年数を大きく超えていた。しかし、エネルギー回収量の大きさが注目され、加工工場は独自にカバーラゲーンや低コストコンクリート槽の利用を開始しており、セミナーや工場への研究協力依頼等を通して、研究成果の移転による実用化が実現している。完成した実装置に関する性能評価も引き続き実施している。

宮古島で実施した研究では、牛糞とバガスの混合堆肥をサトウキビ栽培に長期間施用することで、土壌からの窒素溶脱の低減と作物単収の向上が見込め、繁殖牛の頭数増大は、化学肥料と有機肥料の島外依存度を低減できる可能性が高いことが分かった（内）。

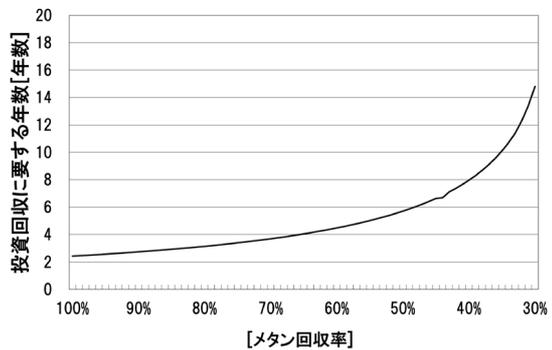


図7 メタン回収率による投資回収年数の変動

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計18件)

J. R. Amelia, S. Suprihatina, N. S. Indrastia, U. Hasanudin, R. Murakami, K. Fujie, Effect of treated palm oil mill effluent application on the soil microbial community structure and oil palm plantation productivity, Journal of Water and Environmental Technology, 2017(掲載決定) DOI: 10.2965/jwet.16-039

金子信博, 三浦季子, 南谷幸雄, 荒井見和, 藤江幸一, 一次生産の持続可能性のための土壌管理-熱帯プランテーションにおける保全管理の効果-. 環境科学会誌(査読有), 30(2) 82-87 2017 DOI: 10.11353/sesj.30.82

三浦季子, 熱帯地域における農業活動に対する土壌微生物群集の変動, 環境科学会誌(査読有), 30(2) 75-81, 2017 DOI: 10.11353/sesj.30.75

金井 亮太, 大和田健登, 藤江幸一, 橘隆一, 塚本真大, 後藤尚弘, Udin Hasanudin, キャッサバの加工および残渣・排水の再資源化における物質フロー分析, 環境科学会誌(査読有)30(2) 57-66, 2017 DOI: 10.11353/sesj.30.57

後藤尚弘, 藤江幸一, 橘隆一, U. Hasanudin,

塚本真大、金井亮太、大和田健登、熱帯プランテーションにおける物質・エネルギー・経済収支の改善を目指した物質フローモデルの提案 - バイオガス利活用を例として - , 環境科学会誌(査読有), 30(2) 67-74, 2017  
DOI: 10.11353/sesj.30.67

T. Miura, K. Owada, K. Nishina, M. Utomo, A. Niswati, N. Kaneko, and K. Fujie, The Effects of Nitrogen Fertilizer on Soil Microbial Communities Under Conventional and Conservation Agricultural Managements in a Tropical Clay-Rich Ultisol, *Soil Science*(査読有), 2016, 181(2), 68-74  
DOI: 10.1097/SS.0000000000000140

Miura, T., Niswati, A., Swibawa, I. G., Haryani, S., Gunito, H., Arai, M., Yamada, K., Shimano, S., Kaneko, N. & Fujie, K., Shifts in the composition and potential functions of soil microbial communities responding to a no-tillage practice and bagasse mulching on a sugarcane plantation, *Biology and Fertility of Soils*(査読有), 2015, 1-16  
DOI: 10.1007/s00374-015-1077-1

Hasanudin, U., Sugiharto, R., Haryanto, A., Setiadi, T. & Fujie, K., Palm oil mill effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industries, *Water Science and Technology*(査読有), 2015, 72(7), 1089-1095 DOI: 10.2166/wst.2015.311

Furukawa, T., Kayo, C., Kadoya, T., Kastner, T., Hondo, H., Matsuda, H., Kaneko, N., Forest harvest index: Accounting for global gross forest cover loss of wood production and an application of trade analysis, *Global Ecology and Conservation*(査読有), 2015, 4, 150-159.  
DOI: 10.1016/j.gecco.2015.06.011

Miura, T., Niswati, A., Swibawa, I.G., Haryani, S., Gunito, H., Shimano, S., Fujie, K., Kaneko, N., Diversity of fungi on decomposing leaf litter in a sugarcane plantation and their response to tillage practice and bagasse mulching: Implications for management effects on litter decomposition, *Microbial Ecology*(査読有), 2015, 70(3), 646-658.  
DOI: 10.1007/s00248-015-0620-9

Arai, M., Minamiya, Y., Tsuzura, H., Watanabe, Y., Yagioka, A., Kaneko, N., Changes in water stable aggregate and soil carbon accumulation in a no-tillage with weed mulch management site after conversion from conventional management practices. *Geoderma*(査読有), 2014, 221-222C, 50-60.  
DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.01.022

Shinta, S., Miura, T., Nobuhiro, K., Fujie, K., Hasanudin, U., Niswati, A., Haryani, S., Soil Microbial Biomass and Diversity Amended with Bagasse Mulch in Tillage and No-tillage

Practices in the Sugarcane Plantation, *Procedia Environmental Sciences*(査読有), 2014, 20, 410-417.DOI:10.1016/j.proenv.2014.03.052

Mori, Y., Fujihara A., Yamagishi K., Installing artificial macropores in degraded soils to enhance vertical infiltration and increase soil carbon content, *Progress in Earth and Planetary Science*(査読有), 2014, 1:30  
DOI: 10.1186/s40645-014-0030-5

S. Tamura and K. Fujie, Material Cycle of Agriculture on Miyakojima Island: Material Flow Analysis for Sugar Cane, Pasturage and Beef Cattle, *Sustainability*(査読有), 2014, 6, 812-835  
DOI: 10.3390/su6020812

(他、査読有論文 4 件)

〔学会発表〕  
(主な国際学会) (計 12 件)

J R Amelia, S Suprihatin, N S Indrasti, U Hasanudin, K Fujie, Performance evaluation of integrated solid-liquid wastes treatment technology in palm oil industry, International Conference on Biomass-Technology, Application and Sustainable Development-, Tower Hotel Salak, Bogor, Indonesia, October 10-11, 2016

Arai M, Fujie K., Mori Y., Niswati A., Swibawa IG, Haryani S, Gunito H, Kaneko N. Short term effect of no-tillage and bagasse mulching on soil carbon through modification of water stable aggregate under sugarcane field in Lampung Province, Sumatra, Indonesia. First Global Soil Biodiversity Conference. Dijon, France. December 2014.

Mori, Y., Fujihara A, Yamagishi K. Artificial Macropore Installation in Degraded Soils for Enhancing Infiltration to Restore Soil Environment, International Annual Meetings of ASA, CSA, and SSSA, Long Beach, US. November, 2014,

Hasanudin U., Sugiharto R, Haryanto A, Setiadi T, Fujie K. Palm Oil Mill Effluent treatment and utilization to ensure the sustainability of palm oil industry. ARGO'2014-9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries. Kochi, Japan. November 2014.

Banuwa I.S., Andhi, Hasanudin U., Fujie K., Erosion and nutrient enrichment under different tillage and weed control systems. ARGO'2014-9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries. Kochi, Japan. November 2014

Hasanudin U., Utomo TP, Suroso E, Shivakoti BR., Fujie K. Sustainable wastewater treatment in small scale tapioca factory. ARGO'2014- 9th IWA International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries.

Kochi, Japan. November 2014.

Miura T. Niswati A., Swibawa IG, Haryani S, Gunito H, Shimano S, Fujie K., Kaneko N., Fungal specific response in decomposing sugarcane leaf litter to no-tillage and bagasse mulching practices determined by Ion torrent ITS amplicon sequencing. 2nd Thunen Symposium on Soil Metagenomics, Braunschweig, Germany. December 2013. (他、国際学会発表論文 5 件)

(主な国内学会)(計 22 件)

村上遼、藤江幸一、金子信博、後藤尚弘、U. Hasanudin, 循環型パームプランテーションに向けた物質収支解析と加工残渣土壌還元効果の評価, (公社)環境科学会 2016 年会、東京都市大学、2016 年 9 月 8-9 日.

伊藤菜津生、三ヶ尻智晴、田村修一、橘隆一、藤江幸一、島外依存と環境負荷の低減を目指した宮古島内バイオマス残渣循環システムのデザイン, P29, (公社)環境科学会 2015 年会、大阪大学.

金井亮太、村上 遼、小原俊一、伊藤菜津生、藤江幸一、キャッサバ加工残渣のリサイクルシステム構築のための物質収支解析と再資源化技術評価、P28、同上.

伊藤菜津生、山田健太、金井亮太、大和田健登、田村修一、藤江幸一、宮古島における有機物循環利用がサトウキビ畑の土壌環境と収量に与える影響の評価, (公社)環境科学会 2014 年会、つくば国際会議場

金井亮太、山田健太、伊藤菜津生、大和田健登、三浦季子、田村修一、藤江幸一、家畜由来の有機肥料を用いた土壌における炭素・窒素収支解析と微生物群集構造の変化の把握, 同上,

南谷幸雄、金子信博、Swibawa IG、Niswati A. 密かに進行する地中の生物多様性の危機～スマトラの様々な環境下におけるミミズ相の比較～. 第 37 回日本土壌動物学会大会. 飯能. 2014 年 5 月.

森也寸志、荒井見和、金子信博、Swibawa IG、Niswati A. 不耕栽培が熱帯サトウキビ畑の物理性の回復に及ぼす影響 Japan Geoscience Union Japan Geoscience Union, Yokohama, Apr 2014. (他、1 6 件)

(図書)(計 5 件)

Goto, N., Nova U., Kamahara H., Hasanudin U., Tachibana R., Fujie K., Sustainability Assessment of Renewables-Based Products (Jo Dewulf., Steven De Meester and Rodrigo A. F. Alvarenga Edit), Material and Energy Flow Analysis, Wiley, 125-140, 2016

Kaneko, N., Biodiversity Agriculture Supports Human Populations, in: Kaneko, N., Yoshiura, S., Kobayashi, M. (Eds.), Sustainable Living with Environmental Risks. Springer, 2014, Tokyo, pp. 19-25. (他 3 件)

(産業財産権)

出願状況(計 0 件)、取得状況(計 0 件)

[その他]

研究活動および成果の発信に関する活動  
ホームページ等

1)<http://www.kbnsfujie.ynu.ac.jp/>

2)[http://soil-ecology.ynu.ac.jp/Soil Ecology YNU/](http://soil-ecology.ynu.ac.jp/Soil_Ecology_YNU/)

3)<http://www.envlab.ynu.ac.jp/>

研究成果普及活動

インドネシア National Symposium on Agriculture での企画セッション開催  
テーマ: Strengthening Sustainable Agriculture to achieve Food Sovereignty and Biomass-based Energy Development, 2014 年 8 月 19-20 日、Lampung 大学

(公社)環境科学会年会企画シンポジウム  
テーマ: バイオマス残渣リサイクルによるプランテーションの持続性と生産性向上の検証, 2015 年 9 月 8 日、大阪大学

Management Research Dissemination Seminar on Sustainable Production of Crops by Appropriate Recycle of Biomass Residues, 2016 年 9 月 20 日、会場: Lampung 大学  
・共催: 横浜国立大学、Lampung 大学  
・講演件数: 12 件(横国大 2, Lampung 大 9)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤江 幸一 (FUJIE, Koichi)

横浜国立大学・先端科学高等研究院・教授  
研究者番号: 3 0 1 3 4 8 3 6

(2) 研究分担者

金子 信博 (KANEKO, Nobuhiro)

横浜国立大学・大学院環境情報研究院・教授  
研究者番号: 3 0 1 8 3 2 7 1

森 也寸志 (MORI, Yasushi)

岡山大学・環境理工学部・教授  
研究者番号: 8 0 2 5 2 8 9 9

後藤 尚弘 (GOTO, Naohiro)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 5 0 3 0 3 7 0 6

橘 隆一 (TACHIBANA, Ryuichi)

東京農業大学・地域環境科学部・准教授  
研究者番号: 2 0 4 3 2 2 9 7

(4) 研究協力者

・ムハジール・ウトモ (Muhajir Utomo)  
ランブン(Lampung)大学・農学部・教授

・ウディン・ハサヌディン(Udin Hasanudin)  
ランブン(Lampung)大学・農学部・教授

・アイニン・ニスワティ(Ainin Niswati)  
ランブン(Lampung)大学・農学部・教授

・南谷幸雄(MINAMIYA, YUKIO)  
横浜国立大学・元科学研究費研究員

・三浦季子(MIURA, TOSHIKO)  
横浜国立大学・元科学研究費研究員