

令和 2 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2016～2019

課題番号：16H06126

研究課題名(和文) 資源制約下で物質・エネルギーの生産を可能にする先制的ライフサイクル設計手法の開発

研究課題名(英文) Pre-emptive life cycle design for material and energy production under resource constraints

研究代表者

菊池 康紀(Kikuchi, Yasunori)

東京大学・未来ビジョン研究センター・准教授

研究者番号：70545649

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,200,000円

研究成果の概要(和文)：物質やエネルギーを生産する技術は多種開発されてきており、社会への実装が期待されている。適用可能性は、地域性を考慮した評価に基づくべきであるが、研究開発中の技術システムオプションは情報量が不足しており、詳細な評価困難となっている。本研究では、先制的ライフサイクル設計手法(pre-emptive LCD)を提案し、技術開発中のオプションであっても将来の性能向上やインフラ整備を想定したシステム設計・評価を可能とした。多様な技術に関するケーススタディを通じ、pre-emptive LCDが技術導入を支援可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

新たな技術システムオプションが研究開発後に社会へ導入されるためには、様々な試験を繰り返す必要があり、多くの組み合わせが存在するオプション全体を対象とした検討は現実的ではない。本研究で提案したpre-emptive LCDでは、ライフサイクル評価や産業連関分析といった、比較的既に存在しているシステムに対する評価を実施してきた手法を、導入前に実施可能とするために必要となる要件を明らかにした。これにより、新規な技術システムをより迅速かつ高効率に社会へ実装する支援となる。

研究成果の概要(英文)：Technology options for producing materials and energy have widely been developed and should be implemented into society. The suitability of such technology options must be carefully examined with the current regional characteristics such as local resources, infrastructure, regulations, and stakeholders. While the information of technology options under development is not sufficiently clarified, the system design and assessment should be conducted on the future possibility of available options, otherwise the mid- and long-term strategy cannot be enacted for social systems. In this study, pre-emptive life cycle design (LCD) was proposed to assess the technology systems options for sustainable materials and energy production. Case studies on various technology options were conducted and demonstrated that the pre-emptive LCD enables the system design based on their future possibilities on environmental impacts and local circulation.

研究分野：プロセスシステム工学

キーワード：地域資源 再生可能資源 バイオマス プロセスシミュレーション ライフサイクルアセスメント 産業連関分析 消費者選好性調査

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

将来の物質・エネルギー生産システムのビジョンとその実現のためのシナリオ作成は世界が直面する課題であり<sup>1)</sup>、プロセス工学において解決すべき重要な課題である。枯渇性資源の制約がある中で、植物資源を原料とした物質・エネルギー生産は持続可能なプロセスシステムの構築に向けて重要な開発要素となっている。これまでの植物資源から生産する製品の増産については、面的な圃場の拡大によるものが世界的にも一般的であった<sup>2)</sup>が、サトウキビ品種改良と変換技術の農工横断的な組合せに基づくことでより高い生産性を持つ革新的なプロセスシステムにつながる<sup>3)</sup>、製糖工場において植物資源由来の未利用な物質・エネルギーが発生しており産業共生により化石資源の消費を大幅に低減しうる<sup>4)</sup>、植物資源を変換して得られるバイオエタノール等を化成品原料として用いることが従来の化石由来製造よりも低環境負荷であること<sup>5)</sup>などが明らかとなってきた。他にも国内外において様々な植物由来原料を利用した特定用途の個別事例に関する技術開発やライフサイクル評価(LCA)といった研究成果も蓄積されてきており<sup>6-10)</sup>、植物資源由来の物質・エネルギー生産システムを設計する研究環境は整ってきていた。

供給可能な資源の制約条件には、発生・集積速度や品質といった項目が含まれる。さらに食料との競合の考慮や土地改変による二次的な環境影響<sup>11)</sup>、関連資源の制約<sup>12)</sup>など従来の石油化学では想定されない波及効果を考慮したプロセスシステムの設計・評価を実行可能とする方法論の提案が必要であり、プロセスシステム工学が果たすべき役割といえる。図1に植物資源由来の製品製造システムと本研究の構想を示す。従来の特定原料、特定用途の研究や特定プロセスの経済性、集中型の製造消費に着目した技術開発から脱却し、地理的条件や間接影響を考慮して、技術開発段階から先制的にライフサイクルを設計できる方法論を開発し、実証・実装を支援することが有効といえる。

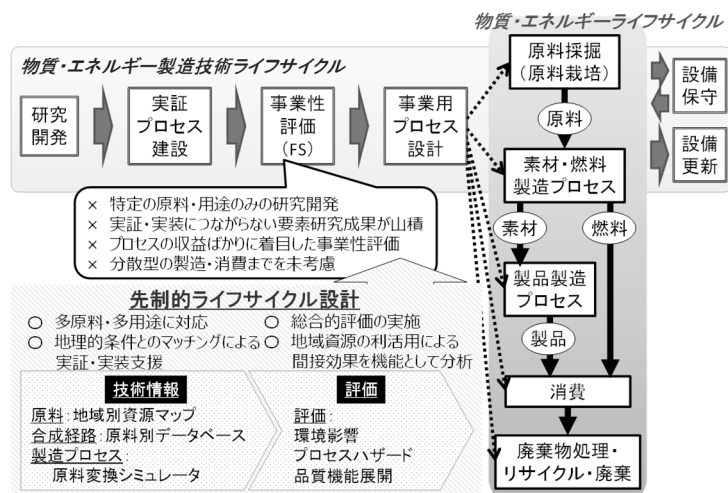


図1 植物資源由来の製品製造と研究構想

### 2. 研究の目的

本研究では先制的ライフサイクル設計(Pre-emptive LCD: Life cycle design)を提案する。バイオマスをその化学構造と前処理の観点からセルロース系、デンプン系、糖類系に大別し、それぞれを発生させる農・林・工システムとして、林業、サトウキビ、製糖に焦点をあてる。また、資源制約下において適用可能な地域の資源として廃棄物についても対象とし、物質・エネルギー生産における原料としての適用可能性を検討する。この目的を達成するために、(1) Pre-emptive LCDに基づく物質・エネルギー生産システム設計、(2) 植物資源・変換技術データベースの構築、(3) 具体的地域におけるケーススタディと日本全体におけるマッピング、を行う。

### 3. 研究の方法

以下の項目を実施していく。

#### (1) Pre-emptive LCDに基づく物質・エネルギー生産システム設計

農林工および廃棄物処理における技術オプションを特定地域に導入することを想定して、当該地域において農林工システムと静脈系システムにおきる物質循環の変化と発生するバイオマスを変換して得られる新規製品を含めたライフサイクルを設計評価する手法をPre-emptive LCDとして構築する。(3)における検証について、導入技術の効率や資源価格といった変数と生産システムの設計値・評価値の関係を感度解析によって定量化し、支配的な技術的・地域的特性を品質機能展開により結び付けて明らかにする。さらに、技術的・経済的・社会的実装可能性を考慮しながら、資源制約下で物質・エネルギーを生産するシステムを地域ごとに設計可能とする。

#### (2) 植物資源・変換技術データベース構築

日本における当該農林工業および廃棄物発生・処理の状況の推移とプロセス分析から、3種類のバイオマスの発生・集積速度と品質情報をデータベースに蓄積する。それぞれのバイオマスに対して、前処理と変換・合成技術の入出力・インベントリを特許等の情報から抽出して同時にデータベース化する。

#### (3) 具体的地域におけるケーススタディと日本全体におけるマッピング

地域特性に基づく技術導入により生産される植物資源由来物質・エネルギーを Pre-emptive

LCDを用いて解析する。具体的な地域として種子島・佐渡島・紀伊半島およびその他地域を取り上げ、関係する地域特性の抽出と意思決定の評価軸を明らかにし、さらに公開統計情報と地理情報システムを用いて日本全体に拡張した解析を行う。得られた情報から、提案する Pre-emptive LCD の検証を行う。

#### 4. 研究成果

##### (1) Pre-emptive LCD に基づく物質・エネルギー生産システム設計

###### Pre-emptive LCD と社会実装のフェーズ

技術を社会に実装するフェーズについては、ビジョニング、ロードマッピング、シナリオプランニングなど、多様な分野で多様な表現で議論されてきた。図2には環境省において提案されていた技術成熟度(TRL)と科学技術振興機構 RISTEX において分析されていた社会実装フェーズをもとに作成した、技術開発と社会への普及に関するフェーズの例を示す。ここではフェーズがフェーズ A~M で表現されている。各フェーズにおいて研究開発が必要であるが、ここで議論すべきはフェーズが進むときに必要となるきっかけである。フェーズ A は、課題を認識・特定し、技術開発の方針を策定する。ここから情報収集、要件定義、開発、システム化を通じてフェーズ E・F まで進展することができる。フェーズ E・F までは、研究開発実施者により進めていくことができるが、フェーズ G・H となると、開発した技術システムを導入、使用するユーザが関わることが必須であり、研究者だけでは実施が困難となる。ここに、技術と社会実装の間のデスパレーが形成しうる。このフェーズ F~H のデスパレー を超えても、社会に技術が浸透するためには、実証等の試験を行った地域以外や、当該目的以外への応用などが展開することが必要であり、ここにデスパレー が存在しうる。

Pre-emptive LCD とは、社会実装のフェーズがまだ低位にあるような技術システムに対し、デスパレーを超えた状態をシミュレーション等により推定しながら、実際に導入がなされたときに得られうる効果や、そこに至るまでに直面しうる障壁、その回避・克服に貢献しうる設計変数、などを明らかにしながら、当該技術システムのライフサイクルを設計するものである。フェーズが低位である場合、得られている情報には限りがあり、通常は評価等を実施することは困難である。ただ、フェーズが低位であった方が、設計の自由度は高く、変更可能となる範囲も広い。限られた情報からいかに評価の詳細さを高めることができるかが重要であり、後述する各種技術オプションのケーススタディにおいて、LCA、産業連関分析、選好性調査などの評価・分析手法が、低位な社会実装のフェーズでも実施できることを確認し、さらにその結果を当該技術システムのプレイヤーと共有・討議することで、Pre-emptive LCD としての価値を検討してきた。持続可能な開発目標やパリ協定といった、本研究費の申請当初には存在しなかった国際的な目標の設定をはじめ、変動性再生可能エネルギーの出力抑制、異常気象、固定価格買取制度における買取価格の変更と導入状況への影響など、想定しづらい社会的変化が起きる中、資源の制約を考慮しながら物質とエネルギーを持続的に生産するためには、科学的な知見に基づくシステム設計・評価を開発初期から実施していくことが重要であることを明らかにすることができた。

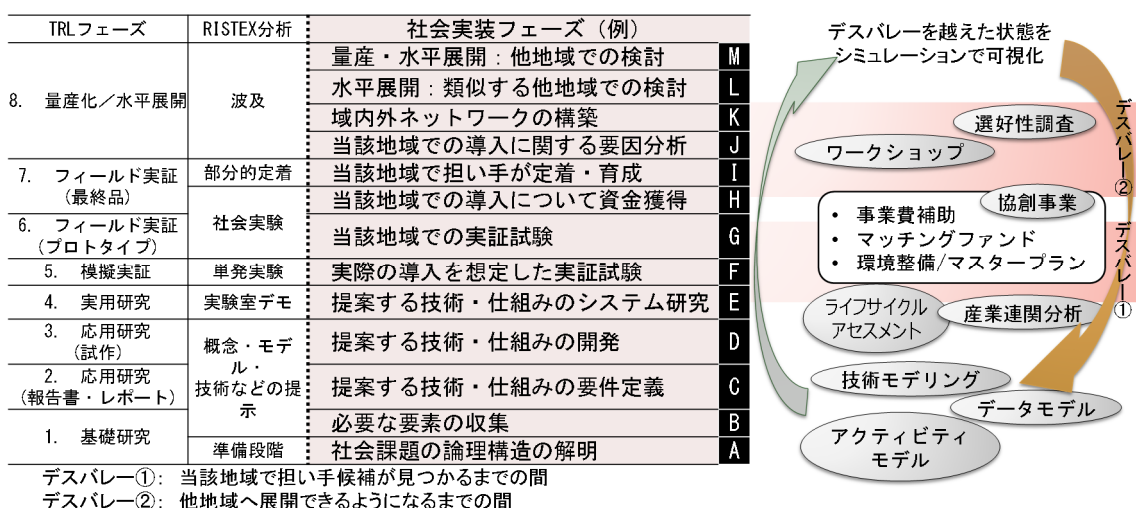


図2 社会実装フェーズにおける Pre-emptive LCD の適用

##### 技術評価において必要となる項目

社会実装に向けた技術システムの評価の項目を、過去の技術評価やシステム実証・実装に関する学術研究論文に対し計量書誌分析により特徴を抽出することによって、図3に示すような要素が少なくともも存在することが分かった。技術システムの評価においては、技術経済性 (technoeconomic)、社会技術性 (socioeconomic)、社会技術性 (Sociotechnical) の側面があり、技術面、経済面、社会面をつなぐような特性がある。これらを構成する指標は無数に存在し、それぞれ定量的・定性的に評価する手法が開発されてきている。Pre-emptive LCD において

これらの要素を評価することが求められる。

個別の技術オプションのケーススタディ  
に示す技術システム評価がPre-emptive に実施可能であるかどうかを、各種ケーススタディにおいて検証した。それぞれ以下に示す。詳細は各段落に記載した業績にまとめている。

サトウキビ産業をケーススタディとして、農業側の技術オプションと工業側の技術オプションを統合的に最適に組み合わせることにより、システム全体の効率を飛躍的に高められる可能性を示すことができた。ここでは未導入の品種と生産技術を導入した結果をシミュレーションし、導入における利害関係者となる農家、製糖工場、自治体らへ、それぞれが懸念している観点に関する評価結果を示すことにより、社会実装へ近づけられることが明らかとなった。(Ochida et al., AIChE J, 2017; Kikuchi et al., J Chem Eng Jpn, 2017; 大内田ら、化学工学論文集, 2018; 小原ら、化学工学論文集, 2018; Ouchida et al., J Clean Prod, 2019)

森林は伐りすぎても伐らな過ぎても持続不可能であり、国内の森林の中には伐らな過ぎても持続が困難となっている地域があることが分かっている。林業健全化だけでなく、森林を維持するために必要となる森林管理は、持続的な樹齢分布へ森林を改変するまで 100 年を要することが森林資源のシミュレーションにより明らかとなった。間伐に限らず皆伐を行う場合、得られた森林資源を利用するプロセスが必要であるが、地域熱供給システム等により地域の森林資源を脱炭素化資源として利用できることを明らかとした。(Kanematsu et al., Appl Enege, 2017)

脱化石を推進するためには化学物質を再生可能資源から生産できるようになる必要があり、プラスチックはその中の1つの候補と言える。しかし、現在バイオマス由来生産技術の多くは開発・実証段階にあり、大規模な生産となっていない。バイオマス資源を生産できる農林業の持続性と合わせた長期的な解析が必要であり、LCA だけでなく産業連関におけるキャッシュフローの変化をPre-emptive に解析することが有効であることが分かった。(Kikuchi et al., J Clean Prod, 2017)

太陽光型植物工場と人工光型植物工場の実証試験結果を用いた LCA を実施し、当該技術により、代替性の高いエネルギーを用いて、代替性の低い水・土地・リンなどの栄養素を節約できることを明らかとした。地域性や気象変動等による影響を緩和し、食料生産を維持できる技術であり、適材適所な導入によるセキュリティの増強につながりうることが分かった。同時に、廃熱等の未利用エネルギーの活用が効果的であることを明らかとし、他産業との組み合わせが可能であることを明らかとした。(Kikuchi et al., J Clean Prod, 2018)

基礎自治体数を超える施設数を持つ下水汚泥処理サイトについて、適用可能な資源・エネルギー回収技術を適用するシミュレーションを実施した。汚泥の基礎情報と適用する技術特定の組み合わせにより、施設ごとに導入効果が異なることを明らかとした。老朽化が問題視されている中、有効活用法を個々の施設に対して示しうるということがわかった。(Shimizu et al., Comput Aid Chem Eng, 2018)

出力制御等により太陽光が余剰となる地域が出てきている中、蓄電池を援用した太陽光パネル由来水電解水素製造の将来コストを分析することにより、新たな蓄エネルギーの仕組みの技術経済的実行可能性を明らかとした。各要素技術の2030年段階での性能を想定し、その段階での導入可能性を分析することで、現時点でできるシステム設計・技術導入・開発を議論可能とした。(Kikuchi et al., Int J Hydrogen Energy, 2019)

蓄電や水素等への変換とは異なる蓄エネルギー技術として、蓄熱システムを取り上げ産業への導入による地域のエネルギーマネジメントの可能性を解析した。余剰の太陽光や風力といった資源を、全て電力に変換・蓄電するには、特に蓄電の導入規模が大きくなりすぎることが懸念されている。蓄熱は、大規模化しやすく、産業などのように熱電併給設備を有しているサイトでの導入が有効であることを明らかとした。(Yamaki et al., Energy, in press)

地域資源を活用することは、地域外資源を活用することよりも、一般に地域内での経済の循環が起こりやすいとされる。実際には、当該地域の産業連関の中で、地域内で閉じたサプライチェーンになっているかどうかで、経済の循環性が異なる。こうした地域性を反映させた産業連関表の作成方法を考察し、技術の導入効果を分析する上での留意点を明らかとした。(尾下ら、日本LCA学会誌、2019)

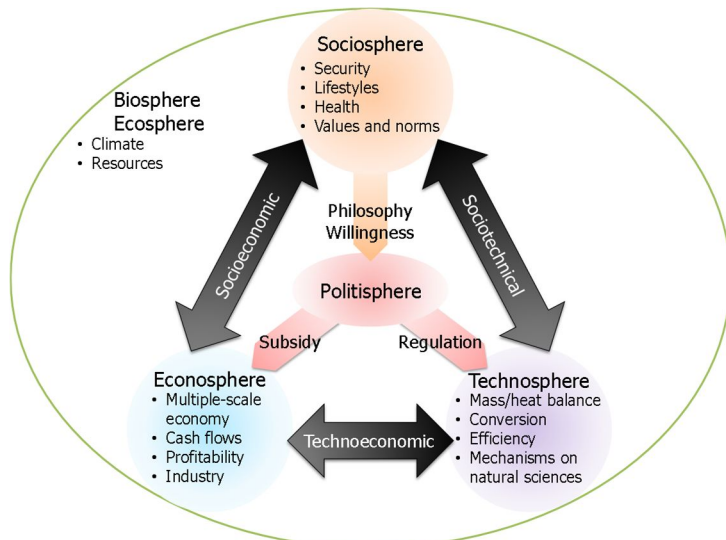


図3 技術システムの評価において必要となる要素  
(Kikuchi et al., Sustainability Science, 2020)

地域で生産された物質・エネルギーに対する消費者の選好性を分析した。消費者が持っているエネルギーに関するイメージや知識といった要素が、選択に影響を与えており、消費者と共有すべき情報の種類を明らかとした。(Nakai et al., Energy Res Soc Sci, 2018; 中井ら、日本 LCA 学会誌、2019)

## (2) 植物資源・変換技術データベース構築

(1)において実施してきたケーススタディを通し、技術システムオプションを格納しうるデータベースの構造と要件定義を行った。(兼松ら、2017)Pre-emptive LCDを遂行するためには、データベースはシミュレータとクエリ等によって接続されている必要があり、技術のデータベースだけでなく、地域性として社会・経済統計や地理情報などの既存のデータベースと連携できている必要がある。資源制約下において、物質・エネルギーの生産を持続するためには、必ずしも行政の区分が適切ではない場合があるが、基礎的な統計データが行政区分ごとに存在しているため、最小の単位は基礎自治体の大きさとしたデータベース構造となる。なお、技術は開発により性能を向上させるため、新規に開発した技術のデータベースだけでなく、既存のインフラや技術の将来変化についても合わせて解析できるデータベースである必要がある。技術ロードマップは、こうした将来の性能を示しているものが多く、データソースとして利用可能であることを明らかとした。

## (3) 具体的地域におけるケーススタディと日本全体におけるマッピング

図4に本研究において実施してきた具体的地域におけるケーススタディの例を示す。地域産業や自治体、公共団体、教育機関、などと協創関係を構築し、(1)(2)におけるモデリングやデータ構造の分析だけではなく、実際に得られた設計・評価結果を、地域で開催されるセミナーやワークショップ、シンポジウム等で発信し、Pre-emptive LCDの検証を行ってきた。特に種子島をはじめとする離島地域においては、当該地域において新規な技術システムを導入した時の環境性能、地域経済循環、消費者選好性について、シミュレーション用モデルを構築して解析用データを作成し、実施した。他の地域についても、例えば、地域別の資源を活用し、当該地域のエネルギー需要を満たすことができるエネルギーキャリアの生産量、使用量、温室効果ガス排出削減効果、その環境負荷物質の増減について、分析できるモデルを開発し、日本国内の都道府県別、雇用圏別の解析を実施した。地域特性によって技術の導入効果が異なり、地域にとって最適な技術の組み合わせを探索可能な方法論を開発した。(Shimizu et al., Int J Hydrogen Energy, 2019; J Ind Ecol, 2020)

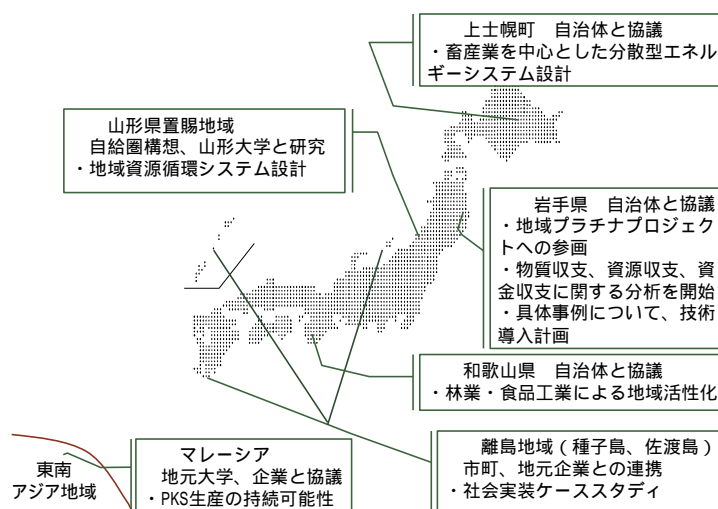


図4 地域におけるケーススタディ例

以上を通し、Pre-emptive LCDを通して新規な物質・エネルギー生産技術システムの導入を支援できることが、具体的なケーススタディとともに明らかとなった。

### <引用文献>

- 1) 例 European Commission, Europe 2020 initiative - Energy Roadmap 2050, (2011)
- 2) BFT Rudorff et al. Remote Sensing, 2, 20, (2010)
- 3) Y. Kikuchi et al., Comput-Aided Chem Eng, 30 182-186 (2012)
- 4) Y. Kikuchi et al., J. Ind. Ecol.,
- 5) T. T. H. Nguyen et al., Environ. Prog. Sustain. Energ.,
- 6) S Ohara et al, Biomass Bioenerg, 42, 78-85, (2012)
- 7) 例えば J Sánchez, CA Cardona, Biores Tech, 99, 5270-5295 (2008)
- 8) IC Macedo et al. Biomass Bioenerg, 32, 582-595, (2008)
- 9) ETH Vink et al. Polym Degrad Stab, 80(3), 403-419, (2003)
- 10) GJ Ruiz-Mercado et al. Ind. Eng. Chem. Res. 52(20), 6747-6760, (2013)
- 11) J Fargione et al. Science, 319(5867), 1235-1238, ((2008)
- 12) K Matsubae et al, Chemosphere, 84(6), 767-772, (2011)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計24件（うち査読付論文 24件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Ouchida Kotaro, Hattori Taiichiro, Terajima Yoshifumi, Okubo Tatsuya, Kikuchi Yasunori	4. 巻 44
2. 論文標題 Implementation Analysis of Bagasse Power Plants Considering Technology Options on Sugarcane Cultivars and Power Plants	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU	6. 最初と最後の頁 113 ~ 122
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.113">https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.113</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohara Satoshi, Terajima Yoshifumi, Kikuchi Yasunori, Fukushima Yasuhiro, Yasuhara Takaomi, Sugimoto Akira	4. 巻 44
2. 論文標題 Pilot Scale Demonstration of Technologies for Enhancing Production of Sugar and Ethanol from Sugarcane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 KAGAKU KOGAKU RONBUNSHU	6. 最初と最後の頁 260 ~ 270
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.260">https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.44.260</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Yasunori, Kanematsu Yuichiro, Yoshikawa Naoki, Okubo Tatsuya, Takagaki Michiko	4. 巻 186
2. 論文標題 Environmental and resource use analysis of plant factories with energy technology options: A case study in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 703 ~ 717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.110">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.110</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakai Miwa, Okubo Tatsuya, Kikuchi Yasunori	4. 巻 46
2. 論文標題 A socio-technical analysis of consumer preferences about energy systems applying a simulation-based approach: A case study of the Tokyo area	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Energy Research & Social Science	6. 最初と最後の頁 52 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.004">https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.06.004</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Yasunori、Oshita Yuko、Nakai Miwa、Heiho Aya、Fukushima Yasuhiro	4. 巻 43
2. 論文標題 A computer-aided analysis on regional power and heat energy systems considering socio-economic aspects: A case study on an isolated island in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 1347 ~ 1352
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50236-9">https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50236-9</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Akinori、Okubo Tatsuya、Kikuchi Yasunori	4. 巻 43
2. 論文標題 Simulation-based Analysis of Sewage Sludge Treatment Considering Regional, Social, and Technological Characteristics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 1353 ~ 1358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50237-0">https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64235-6.50237-0</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Yasunori、Ouchida Kotaro、Kanematsu Yuichiro、Okubo Tatsuya	4. 巻 44
2. 論文標題 Design Support of Smart Energy Systems based on Locally Available Resources: A Case Study in Isolated Islands in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 2515 ~ 2520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50414-6">https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50414-6</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ouchida Kotaro、Okubo Tatsuya、Kikuchia Yasunori	4. 巻 44
2. 論文標題 How can we solve systemic problems in plant-derived production based on simulation-based analysis?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 1741 ~ 1746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50285-8">https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64241-7.50285-8</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 FUKUSHIMA Yasuhiro, NAKAMURA Ryotaro, OHNO Hajime, OHARA Satoshi, KIKUCHI Yasunori, OUCHIDA Kotaro, TERAJIMA Yoshifumi, HATTORI Taiichiro, SUGIMOTO Akira	4. 巻 14
2. 論文標題 Statistics-based Yield Estimation Model for Designing Integrated Plant Resource Utilization System Considering Interannual Meteorological Variances: Implications from Case Studies on Combined Sugar-ethanol Production from Sugarcane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Life Cycle Assessment, Japan	6. 最初と最後の頁 302 ~ 318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3370/lca.14.302">https://doi.org/10.3370/lca.14.302</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kikuchi Yasunori, Ichikawa Takayuki, Sugiyama Masakazu, Koyama Michihisa	4. 巻 44
2. 論文標題 Battery-assisted low-cost hydrogen production from solar energy: Rational target setting for future technology systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 1451 ~ 1465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.119">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.119</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 OHARA Satoshi, KIKUCHI Yasunori, OUCHIDA Kotaro, SUGIMOTO Akira, HATTORI Taiichiro, YASUHARA Takaomi, FUKUSHIMA Yasuhiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Reduction of Greenhouse Gas Emissions in the Introduction of <i>Inversion System</i> to Produce Sugar and Ethanol from Sugarcane	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Life Cycle Assessment, Japan	6. 最初と最後の頁 86 ~ 100
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.3370/lca.15.86">https://doi.org/10.3370/lca.15.86</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fujii Shoma, Horie Naoyuki, Nakaibayashi Ko, Kanematsu Yuichiro, Kikuchi Yasunori, Nakagaki Takao	4. 巻 238
2. 論文標題 Design of zeolite boiler in thermochemical energy storage and transport system utilizing unused heat from sugar mill	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Energy	6. 最初と最後の頁 561 ~ 571
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.104">https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.104</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 菊池康紀	4. 巻 42
2. 論文標題 バイオマス由来化学品製造におけるライフサイクル思考	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PETROTECH	6. 最初と最後の頁 199 ~ 206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 中井美和、栗島英明、倉阪秀史、菊池康紀	4. 巻 11
2. 論文標題 産学公の協創による柔軟な地域づくりへの挑戦	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 環境経済・政策研究	6. 最初と最後の頁 65 ~ 69
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kikuchi, Yuichiro Kanematsu, Naoki Yoshikawa, Tatsuya Okubo, Michiko Takagaki	4. 巻 186
2. 論文標題 Environmental and resource use analysis of plant factories with energy technology options: a case study in Japan	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 703-717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.110">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.110</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shimizu Teruyuki, Tsukushi Yohei, Hasegawa Kei, Ihara Manabu, Okubo Tatsuya, Kikuchi Yasunori	4. 巻 44
2. 論文標題 A region-specific analysis of technology implementation of hydrogen energy in Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Hydrogen Energy	6. 最初と最後の頁 19434-19451
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.128">https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.11.128</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kikuchi, Miwa Nakai, Kazutake Oosawa, Yuichiro Kanematsu, Kotaro Ouchida, Tatsuya Okubo	4. 巻 40
2. 論文標題 A computer-aided socio-technical analysis on national and regional energy systems considering local availability of renewable resources	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 2485-2490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi	4. 巻 40
2. 論文標題 A design of rural energy system by industrial symbiosis considering availability of regional resources	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 1987-1992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kotaro Ouchida, Yosuke Hamada, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi	4. 巻 40
2. 論文標題 Simulation-based analysis for operational decision support on scheduling in sugar crystallization considering quality of molasses and syrup	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Computer-Aided Chemical Engineering	6. 最初と最後の頁 1807-1812
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kikuchi, Yuko Oshita, Kazuya Mayumi, Masahiko Hirao	4. 巻 167
2. 論文標題 Greenhouse gas emissions and socioeconomic effects of biomass-derived products based on structural path and life cycle analyses: A case study of polyethylene and polypropylene in Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Cleaner Production	6. 最初と最後の頁 289-305
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.179">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.179</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀	4. 巻 43
2. 論文標題 農林業地域における産業共生の計画プロセスのアクティビティモデルとデータモデル	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 化学工学論文集	6. 最初と最後の頁 347-357
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.43.347">https://doi.org/10.1252/kakoronbunshu.43.347</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi	4. 巻 198
2. 論文標題 Designing the scale of a woody biomass CHP considering local forestry reformation: a case study of Tanegashima, Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applied Energy	6. 最初と最後の頁 160-172
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apenergy.2017.04.021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kikuchi	4. 巻 50
2. 論文標題 Simulation-Based Approaches for Design of Smart Energy System: A Review Applying Bibliometric Analysis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Engineering of Japan	6. 最初と最後の頁 385-396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.16we374	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasunori Kikuchi, Kotaro Ouchida, Yuichiro Kanematsu, Satoshi Ohara, Yasuhiro Fukushima	4. 巻 50
2. 論文標題 Retrofit Energy Integration for Selective Fermentation in Cane Sugar Mills under Hot/Cold Energy Availability	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Chemical Engineering of Japan	6. 最初と最後の頁 297-308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1252/jcej.16we130	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計30件(うち招待講演 9件/うち国際学会 11件)

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 Life cycle thinking of biomass-derived production
3. 学会等名 5th Annual Meeting of Innovation for Cool Earth Forum(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Yuichiro Kanematsu, Tatsuya Okubo
2. 発表標題 Simulation-based design of indoor hydroponic farming systems considering energy-water-food nexus
3. 学会等名 The 8th International Symposium on Design, Operation, and Control of Chemical Processes, PSE Asia 2019(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima
2. 発表標題 Scenario analysis of decentralized energy systems considering socioeconomic and sociotechnical aspects
3. 学会等名 The 3rd Japanese-German Workshop on Renewable Energies(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima
2. 発表標題 Application of life cycle thinking for Regional Transformation considering local resource circulation with energy technology options
3. 学会等名 International Conference on EcoBalance 2018(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuko Oshita, Yasuhiro Fukushima, Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 Analysis of socio-economic effects on local area induced by renewable energy utilization: A case of Tanegashima, Japan
3. 学会等名 International Conference on EcoBalance 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 将来社会のビジョンに向けたシナリオ分析と設計
3. 学会等名 化学工学会第84年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 未利用資源の活用による温室効果ガス削減
3. 学会等名 化学工学会第84年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 バイオマス資源活用におけるライフサイクル思考
3. 学会等名 石油学会 次世代バイオ燃料分科会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 バイオマス資源利活用におけるライフサイクル思考
3. 学会等名 バイオインダストリー協会 第3回LCA勉強会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Miwa Nakai, Kazutake Oosawa, Yuichiro Kanematsu, Kotaro Ouchida, Tatsuya Okubo
2. 発表標題 A computer-aided socio-technical analysis on national and regional energy systems considering local availability of renewable resources
3. 学会等名 the 27th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 A design of rural energy system by industrial symbiosis considering availability of regional resources
3. 学会等名 the 27th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Ouchida, Yosuke Hamada, Tatsuya Okubo, Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 Simulation-based analysis for operational decision support on scheduling in sugar crystallization considering quality of molasses and syrup
3. 学会等名 the 27th European Symposium on Computer-Aided Process Engineering (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 バイオマス利活用のための技術システムの設計と評価
3. 学会等名 化学工学会第82年会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 ブラチナ社会における植物資源の役割
3. 学会等名 第69回日本生物工学会大会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 地域特性を考慮した植物工場の導入シナリオ分析に向けて：要件定義
3. 学会等名 化学工学会 関西支部「未来の食糧生産を支えるスマートアグリ：植物工場の社会実装を考える」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池康紀
2. 発表標題 種子島の事例に見る地域のエネルギーと技術導入の試み
3. 学会等名 石油学会 新エネルギー部会次世代バイオ燃料分科会 研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大内田弘太郎、兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 植物資源の利活用に向けた農工横断型シナリオ計画のアクティビティモデリング
3. 学会等名 化学工学会第82年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水亮智、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 地域性を考慮した下水汚泥処理における技術選定
3. 学会等名 化学工学会第82年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水亮智、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 下水汚泥処理における技術オプションの地域別代替案生成
3. 学会等名 日本LCA学会第13回研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大内田弘太郎、兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 植物資源由来生産におけるシステミックな問題とライフサイクル思考
3. 学会等名 日本LCA学会第13回研究発表会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Kazutake Oosawa, Yuichiro Kanematsu, Kotaro Ouchida, Miwa Nakai, Aya Heiho and Tatsuya Okubo
2. 発表標題 A regional empowerment by industrial symbiosis involving agriculture and forestry: A case study of remote island in Japan
3. 学会等名 The 9th biennial conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kotaro Ouchida, Yasuhiro Fukushima, Satoshi Ohara, Tatsuya Okubo and Yasunori Kikuchi
2. 発表標題 System design of combined sugar and bioethanol production based on analysis integrating agricultural and industrial processes
3. 学会等名 The 9th biennial conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yasunori Kikuchi, Yuichiro Kanematsu, Kazutake Oosawa, Miwa Nakai, Tatsuya Okubo
2. 発表標題 A Computer-Aided Scenario Planning of Future Regional and National Energy Systems Based on Feasible Technology Options in Japan
3. 学会等名 AIChE 2016 Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大澤一岳、徐夢荷、兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 将来の国産材需給と木質バイオマス発電所の立地適性
3. 学会等名 日本LCA学会第12回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 富永華子、兼松祐一郎、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 導入シナリオ分析のための植物工場モデリング
3. 学会等名 日本LCA学会第12回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池康紀、尾下優子、福島康裕
2. 発表標題 ライフサイクル思考の社会実装：種子島の例
3. 学会等名 日本LCA学会第12回研究発表会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菊池康紀、尾下優子、兵法彩、兼松祐一郎、平尾雅彦、大久保達也
2. 発表標題 環境性と社会経済性の分析に基づくバイオマス由来製品製造プロセス設計：汎用樹脂の例
3. 学会等名 化学工学会 第82年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 清水輝之、筑紫洋平、菊池康紀
2. 発表標題 地域特性を考慮した技術導入シナリオ設計：エネルギーキャリアの例
3. 学会等名 化学工学会 第82年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 大内田弘太郎、藤井祥万、兼松祐一郎、尾下優子、中村遼太郎、陳怡靜、福島康裕、中垣隆雄、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 農工横断型プロセスモデリングによる持続可能な植物資源利活用のためのシナリオ計画
3. 学会等名 化学工学会 第82年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 兼松祐一郎、大澤一岳、大久保達也、菊池康紀
2. 発表標題 木質バイオマスを用いた地域熱電供給システムの設計問題の分析
3. 学会等名 化学工学会 第82年会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京大学 「プラチナ社会」総括寄付講座 メンバー：菊池康紀  <a href="http://platinum.u-tokyo.ac.jp/members/yasunorikikuchi.php">http://platinum.u-tokyo.ac.jp/members/yasunorikikuchi.php</a></p>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考