

戦略的国際共同研究プログラム (SICORP)
 日本-タイ-フィリピン-インドネシア共同研究
 終了報告書 概要

1. 研究課題名：「ASEAN 地域の持続可能な発展を目指した藻類からのバイオエネルギー開発」
2. 研究期間：平成 31 年 4 月～令和 5 年 3 月
3. 主な参加研究者名：
 日本側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	キタイン・アルマンド	教授	熊本大学	バイオマス転換プロセスの開発、リーダー (マイクロ波・水熱法・超臨界流体)
主たる共同研究者	木田徹也	教授	熊本大学	触媒開発、リーダー (酸化グラフェン)
研究参加者	佐々木満	准教授	熊本大学	バイオマス転換プロセスの開発 (水熱法)
研究期間中の全参加研究者数 (ポストドク、学生を含む)				34名

タイ側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Suttichai Assabumrungrat	Professor	Chulalongkorn University	バイオマス転換プロセスの開発 (超音波など)
主たる共同研究者	Worapon Kiatkittipong	Associate Professor	Silpakorn University	バイオ燃料の製造・触媒開発
研究参加者	Artiwan Shotipruk	Professor	Chulalongkorn University	抽出・バイオケミカルズの製造
研究期間中の全参加研究者数 (ポストドク、学生を含む)				10名

インドネシア側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Siti Zullaikah	Associate Professor	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),	藻類に関する調査・バイオ燃料の製造
研究参加者	Mahfud	Professor	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	バイオマス転換プロセス
研究期間中の全参加研究者数 (ポストドク、学生を含む)				16名

フィリピン側チーム

	氏名	役職	所属	研究分担
研究代表者	Raymond TAN	Professor	De La Salle University	プロセスの解析・LCA
主たる共同研究者	Kathleen AVISO	Professor	De La Salle University	プロセスの解析・LCA
研究参加者	Joseph AURESENIA	Professor	De La Salle University	バイオマス転換プロセス
研究期間中の全参加研究者数				(ポストドク、学生を含む) 7名

4. 国際共同研究の概要

本共同研究では、マイクロ波、超音波、超臨界流体、二機能性触媒などの低環境負荷技術を用い、各国の強みを生かした独自技術を連携させ、ASEAN 地域に適用可能な藻類バイオマスのバイオエネルギー・生化学変換システムの開発に成功、ASEAN 地域の持続的発展に寄与する。

5. 国際共同研究の成果

5-1 国際共同研究の学術成果および実施内容

日本チーム：酸化グラフェン (GO) とマイクロ波 (MW) 照射、亜臨界水と超臨界二酸化炭素の相乗効果により、微細藻類を有用な化学物質や燃料に変換することに成功した。GO とマイクロ波照射の相乗効果により、微細藻類の *in-situ* トランスエステル化が可能となり、97%という高い収率を得ることができた。また、フルクトースの 5-HMF への変換も相乗効果で可能であった。また、水熱法で微細藻類から得たバイオオイルの *in-situ* 脱アミノ化には、二酸化炭素の添加が大きく影響し、コストのかかる水素化工程を省くことができることが示された。

タイチーム：バイオディーゼルやグリーンディーゼルを製造するための触媒や多機能リアクター (ハイブリッド反応性蒸留、超音波など) の開発に成功した。また、CaO ペレットを開発し、バイオディーゼルの連続生産プロセスに有効であることを確認した。CaO 触媒を用いたバイオディーゼル製造のためのエステル交換反応の速度論に及ぼす原料油中の水の影響を調査した。エステル交換反応の初期速度は、水の量が増えるにつれて増加した (0-5 wt%)。逆に、水濃度が 8-15wt% の場合、初期速度は著しく低下した。また、La₂O₃/CaO は La 含有量が 5%mol で物理混合して得られたもので、塩基性と表面積が最も高い Brønsted と Lewis の二重塩基部位による相乗効果により、最大の FAME 収率 (92.3%) を示すことが明らかになった。

インドネシアチーム：東南アジアに生息するさまざまな微細藻類から、原料候補のスクリーニングを行った結果、脂質含有量と培養の容易さを考慮すると、*Chlorella vulgaris* 種が最も適していることが判明した。マレーシアチームは、日本での実験に使用した *Chlorella vulgaris* 属の微細藻類の生産に協力した。また、インドネシアチームは、超臨界二酸化炭素を用いた水熱処理により、他のバイオマス原料を燃料や化学品に変換する研究にも取り組んでいた。

フィリピンチーム：費用対効果の高いエネルギー生産に関する原材料、変換技術、環境影響の決定など、複数の要素を分析するプロセスシステム工学の研究を行った。ファジー多目的プログラミングモデルを開発し、バイオマスサプライチェーン、統合バイオリファインリー、環境緩和に関する研究で成功裏に実施した。このアプローチでは、需要の不確実性を十分に考慮した上で、利益の最大化と環境フットプリントの最小化を同時に実現することができた。ロバストネスインデックスと呼ばれるパラメータを用いることで、プロセスの複雑なネ

ネットワークにおける様々なプロダクトストリームの影響を評価し、ある目標に向かってシステムを最適化することができた。藻類バイオ燃料の製造に関する研究では、フィリピンのチームが、(1) 統合型微細藻類-バイオディーゼル製造、(2) メタノール製造、(3) バイオ炭製造、(4) 嫌気性消化槽、(5) 熱電併給という 5 つのプロセスユニットからなるバイオリファイナーリーを検討した。この複雑なネットワークは、さまざまな製品の流れ (バイオディーゼル、電力、メタノールなど) と環境フットプリント (二酸化炭素、水、土地など) で構成されている。プロセス全体から 1 つまたは 2 つのプロセスユニットが取り除かれたさまざまなシナリオが評価された。各シナリオを検討することで、プラントマネージャーやエンジニアなどは、あるプロセスの組み合わせが、高収益や低環境負荷といった設定した目標に対してどのようなパフォーマンスを発揮するかを評価できる。今回のプロジェクトでは、バイオ燃料製造の中心的な処理単位である藻類バイオマスの水熱処理について、同様の計算を行い評価を行った。

5-2 国際共同研究による相乗効果

バイオマス資源は持続可能な発展のための再生可能エネルギー源として大きく注目されており、その有効活用は東南アジア各国では非常に重要な課題となっている。そのため、タイ、インドネシア、フィリピン、マレーシアでは長年に渡り技術的な蓄積があり、バイオマスに係る共同研究の国際パートナーとしては最適である。共同研究の結果、マイクロ波、超音波、超臨界流体、二機能性触媒などの低環境負荷技術を用い、藻類バイオマスの有用成分への転換を効率的に行うことができた。また共同ワークショップを計 17 回 (オンライン含む)、日本、タイ、インドネシアで開催した。

5-3 国際共同研究成果の波及効果と今後の展望

炭素系触媒とマイクロ波照射の相乗効果、亜臨界水と超臨界二酸化炭素の併用は、SDGs とカーボンニュートラル社会の実現に向けたグリーンテクノロジーとして大きな可能性を秘めている。これらの技術の相乗効果を利用することで、特に ASEAN 地域において藻類バイオマスを付加価値の高い化学品に変換するための独自のプロセスシステムを構築することができる。

参加した研究チーム間の研究・学生交流も非常に活発であった。日本チームはインドネシア側に 1 ヶ月間の交換留学生を派遣し、タイとインドネシアで開催された共催のワークショップやセミナーに合計 20 名以上の学生を参加させた。日本チームは、フィリピンチームから 3 名、マレーシアチームから 2 名の学生を交換留学生として受け入れ、6~12 ヶ月間日本に留学した。彼らは共同研究プロジェクトの推進に大きく貢献した。このプロジェクトを通じて、日本と東南アジアを結ぶより強力なネットワークが構築された。プロジェクト終了後も、研究交流は継続され、特に東南アジア地域の他の国の研究者にも拡大される予定である。このような観点から、本共同研究は、地域の拡大したバイオマス社会の実現に大きく貢献できると考えている。

Strategic International Collaborative Research Program (SICORP)
 Japan-Thailand-Philippines-Indonesia Joint Research Program
 Executive Summary of Final Report

1. Project title : 「Development of Algal Bioenergy Systems for Green and Sustainable ASEAN Region」
2. Research period : April 2019 ~ March 2023
3. Main participants :
 Japan-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Armando T. Quitain	Professor	Kumamoto University	Microwave/Supercritical Fluid Technology Development
Co-PI	Tetsuya Kida	Professor	Kumamoto University	Catalyst development
Collaborator	Mitsuru Sasaki	Associate Professor	Kumamoto University	Supercritical fluid technology development
Total number of participants throughout the research period: 34 (including students)				

Thai-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Suttichai Assabumrungrat	Professor	Chulalongkorn University	Biomass Conversion Development (Ultrasound, etc.)
Co-PI	Worapon Kiatkittipong	Associate Professor	Silpakorn University	Biodiesel production technology development
Co-PI	Artiwan Shotipruk	Professor	Chulalongkorn University	Biomass conversion to biochemicals
Total number of participants throughout the research period: 10 (including students)				

Indonesia-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Siti Zullaikah	Associate Professor	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	Biomass conversion technology development (hydrothermal, etc.)
Collaborator	Mahfud	Professor	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),	Biomass conversion technology development
Total number of participants throughout the research period: 16 (including students)				

Philippine-side

	Name	Title	Affiliation	Role in the research project
PI	Raymond TAN	Professor	De La Salle University	Process systems engineering and analysis
Co-PI	Kathleen AVISO	Professor	De La Salle University	Process systems engineering and analysis
Co-PI	Joseph AURESENIA	Professor	De La Salle University	Biomass conversion technology development
Total number of participants throughout the research period:				7 (including students)

4. Summary of the international joint research

This collaborative research has successfully developed a system to convert algal biomass into bioenergy and biochemicals applicable to the ASEAN region by linking unique technologies that make use of the strengths of each country using low environmental load technologies such as microwave, ultrasonic, supercritical fluid and bifunctional catalyst, to contribute to the sustainable development of the ASEAN region.

5. Outcomes of the international joint research

5-1 Scientific outputs and implemented activities of the joint research

Japan: The Japan team had successfully applied the synergy of graphene oxide (GO) and microwave (MW) irradiation, and subcritical water with supercritical carbon dioxide for conversion of microalgae into useful chemicals and fuels. In-situ transesterification of microalgae was possible with the synergy of GO and microwave irradiation, obtaining yield as high as 97%. Conversion of fructose to 5-HMF was also possible with the synergy. Results also indicated that addition of carbon dioxide has significant effect on in-situ deamination of biooil obtained from microalgae by hydrothermal method, thus eliminating the costly hydrogenation step.

Thailand: The Thai team had successfully developed catalysts and multifunctional reactors (such as hybrid reactive distillation, ultrasound) for production of biodiesel and green diesel. CaO pellets was developed, and this was found to be effective for continuous biodiesel production process. The effect of water present in oil feedstock on the kinetics of transesterification using CaO catalyst to produce biodiesel was investigated. The initial rate of transesterification was increased with increasing amount of water (0–5 wt%). On the contrary, the initial rate was significantly reduced for the water concentration of 8–15 wt%. It was also found that La₂O₃/CaO obtained from physical mixing with the La content of 5%mol gave the maximum FAME yield (92.3%) due to the synergistic effect indicated by dual Brønsted and Lewis basic sites with the highest basicity and surface area.

Indonesia: The Indonesia team has successfully screened possible candidates for microalgal feedstocks from various species available in Southeast Asia. Results indicated that *Chlorella vulgaris* species was the most suitable one considering its lipid contents and relative ease in cultivation. The Malaysian team helped in the production of *Chlorella vulgaris* species of microalgae, which was used in the experiments performed in Japan. The Indonesian team also worked on the application of hydrothermal treatment coupled with supercritical carbon dioxide for conversion of other biomass feedstocks to fuels and chemicals.

Philippines: The Philippine team has successfully worked on process systems engineering in analyzing several factors such as raw materials, conversion technology, and environmental impact decisions on cost-effective energy production. The Philippine team developed a fuzzy

multi-objective programming model, which was successfully implemented in studies on biomass supply chain, integrated biorefinery, and environmental mitigation. This approach allows for the simultaneous maximization of profit and minimization of the environmental footprint with due consideration to demand uncertainty. By using a parameter known as the robustness index, the effect of various product streams in a complex network of processes can be evaluated and the system can be optimized towards a certain target. In a study on the production of algal biofuels, the Philippine team considered a biorefinery composed of five process units: (1) integrated microalgae-to biodiesel production, (2) methanol production, (3) biochar production, (4) anaerobic digester, and (5) combined heat & power generation. The complex network consisted of various product streams (e.g., biodiesel, power and methanol) and environmental footprints (e.g., carbon dioxide, water, land). Different scenarios where one or two process units were removed from the overall process were assessed. By examining each scenario, plant managers, engineers can evaluate how a certain combination of processes performs against a set target such as high profit or low environmental impact. In this project, the same type of calculations was performed in assessing the hydrothermal treatment of algal biomass as the central processing unit in the production of biofuel.

5-2 Synergistic effects of the joint research

Workshops, seminars and student exchanges were jointly organized every year in Japan, Thailand, and Indonesia. For example:

In Japan: 1) e-ASIA International Symposium on Biomass Utilization and Functional Materials 2019, July 10, 2019. (Kumamoto, Japan). 2) e-ASIA International Symposium on Green Chemistry and Engineering for SDGs (Multidisciplinary and Multicultural Exchanges) 2021, January 20, 2021. (Kumamoto, Japan), also on November 17, 2021. (Kumamoto, Japan) and January 18, 2023 (Kumamoto, Japan).

In Thailand: 1) e-Asia Kick-Off Meeting and Joint Symposium on Biorefinery, April 28~29, 2019, Bangkok, Thailand. 2) Chula - Sheffield- Kumamoto algal network, research and applications toward BCG economy, January 23~25, 2023, Bangkok, Thailand

In Indonesia: 1) e-ASIA Workshop: ITS-Kumamoto-Chula Research Output Dissemination and Future Research Collaboration on Bioenergy and Bio-Products Toward Bio-Circular-Green Economy (hybrid), March 15~17, 2023 at ITS, Surabaya, Indonesia

5-3 Scientific, industrial or societal impacts/effects of the outputs

The synergy of carbon-based catalysts with microwave irradiation and the use of subcritical water with supercritical carbon dioxide offer tremendous opportunities as green technologies to support SDGs and realization of carbon neutral society. The utilization of the synergy of these technologies leads to the creation of unique process systems for conversion of algal biomass to value-added chemicals especially in the ASEAN region.

We had very active research and student exchanges among the participating research teams. The Japan team sent students to the Indonesia side as exchange students for 1 month and sent a total of more than 20 students to participate in co-organized workshops and seminars that were held in Thailand and Indonesia. The Japan team accepted 3 students from the Philippine team and 2 students from the Malaysian team as exchange students, who studied in Japan for 6 to 12 months. They largely contributed to the advancement of the collaborative research project. Through this project, a stronger network linking Japan to Southeast Asia was established. Even after the project has been completed, the research exchanges will continue, and will be extended to include researchers from other countries especially in the Southeast Asian region. In this perspective, our collaboration would greatly contribute to the realization of an expanded biomass-based society in the region.

国際共同研究における主要な研究成果リスト

1. 論文発表等

*原著論文 (相手側研究チームとの共著論文) 発表件数 : 計 27 件
全部査読有り

1. C. L. Yiin, S. Ho, S. Yusup, A.T. Quitain, Y. H. Chan, A. C. M. Loy, and Y. L. Gwee. "Recovery of cellulose fibers from oil palm empty fruit bunch for pulp and paper using green delignification approach." *Bioresource Technology* **2019**; 290:121797
DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121797 「査読有り」
2. S. Totong, P. Daorattanachai, A. T. Quitain, T. Kida, and N. Laosiripojana. "Catalytic depolymerization of alkaline lignin into phenolic-based compounds over metal-free carbon-based catalysts". *Ind. Eng. Chem. Res.* **2019**; 58(29):13041-13052.
DOI: 10.1021/acs.iecr.9b01973 「査読有り」
3. T. Boonyakarn, P. Wataniyakul, P. Boonnoun, A. T. Quitain, T. Kida, M. Sasaki, N. Laosiripojana, B. Jongsomjit, and A. Shotipruk. "Enhanced levulinic acid production from cellulose by combined Brønsted hydrothermal carbon and Lewis acid catalysts". *Ind. Eng. Chem. Res.* **2019**; 58(8):2697-2703.
DOI: 10.1021/acs.iecr.8b05332 「査読有り」
4. B. Ali, S. Yusup, A. T. Quitain, A. Bokhari, T. Kida, and L. F. Chuah. "Heterogeneous Catalytic Conversion of Rapeseed Oil to Methyl Esters: Optimization and Kinetic Study". In *Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels and Bioproducts. Woodhead Publishing Series in Energy* **2019**; 221-238.
DOI: 10.1016/B978-0-12-817937-6.00012-6 「査読有り」
5. S. C. Yim, Y. H. Chan, S. Yusup, K. Johari, A. T. Quitain, and D. JoeDailin. "Supercritical Extraction of Value-Added Compounds From Empty Fruit Bunch: An Optimization Study by Response Surface Methodology". In *Advances in Feedstock Conversion Technologies for Alternative Fuels and Bioproducts, Woodhead Publishing Series in Energy* **2019**; 281-298.
DOI: 10.1016/B978-0-12-817937-6.00015-1 「査読有り」
6. A. C. M. Loy, A. T. Quitain, M.K. Lam, S. Yusup, M. Sasaki, and T. Kida. "Development of high microwave-absorptive bifunctional graphene oxide-based catalyst for biodiesel production". *Energy Conversion and Management* **2019**; 180:1013-1025.
DOI: 10.1016/j.enconman.2018.11.043 「査読有り」
7. N. H. Ramli, S. Yusup, A. T. Quitain, K. Johari, and B. W. B. Kueha. "Optimization of saponin extracts using microwave-assisted extraction as a sustainable biopesticide to reduce *Pomacea canaliculata* population in paddy cultivation". *Sustainable Chemistry and Pharmacy* **2019**; 11:23-35.
DOI: 10.1016/j.scp.2018.12.002 「査読有り」
8. Y. H. Chan, A. T. Quitain, S. Yusup, Y. Uemura, M. Sasaki, and T. Kida. "Liquefaction of palm kernel shell to bio-oil using sub- and supercritical water: An overall kinetic study". *Journal of the Energy Institute* **2019**; 92(3):535-541.
DOI: 10.1016/j.joei.2018.04.005 「査読有り」
9. H. K. G. Singh, S. Yusup, A. T. Quitain, T. Kida, M. Sasaki, K. W. Cheah, and M. Ameen. "Production of gasoline range hydrocarbons from catalytic cracking of linoleic acid over

various acidic zeolite catalysts". *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* **2019**; 26(33):34039-34046.

DOI: 10.1007/s11356-018-3223-4 「査読有り」

10. R. V. C. Rubi, A. T. Quitain, J. K. C. N. Agutaya, B. T. Doma, A. N. Soriano, J. Auresenia, and T. Kida. "Synergy of in-situ formation of carbonic acid and supercritical CO₂-expanded liquids: Application to extraction of andrographolide from *Andrographis paniculata*". *J. of Supercritical Fluids.* **2019**; 152:104546.

DOI: 10.1016/j.supflu.2019.104546 「査読有り」

11. Y. A. Pujiastuti, S. Zullaikah, D. Setiawan, I. Fahrurrozy, A. R. Syafril, Y. Prawira, and Armando T. Quitain. "A non-catalytic process to produce levulinic acid from the flesh fruits of trembesi (*Samanea saman*) using a subcritical water". *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* **2021**; 649: 012028.

DOI: 10.1088/1755-1315/649/1/012028 「査読有り」

12. L Tumkot, AT Quitain, P Boonnoun, N Laosiripojana, T Kida, A Shotipruk, Synergizing Sulfonated Hydrothermal Carbon and Microwave Irradiation for Intensified Esterification Reaction, *ACS Omega* **2020**, 5 (37), 23542-23548.

DOI: 10.1021/acsomega.0c01660 「査読有り」

13. MC Macawile, AT Quitain, T Kida, R Tan, J Auresenia, Green synthesis of sulfonated organosilane functionalized multiwalled carbon nanotubes and its catalytic activity for one-pot conversion of high free fatty acid seed oil to biodiesel. *Journal of Cleaner Production* **2020**, 275, 123146

DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.123146 「査読有り」

14. H. K. G. Singh, S. Yusup, A. T. Quitain, B. Abdullah, A. Inayat, M. Ameen, K. W. Cheah, M. Sasaki, T. Kida, Y. H. Chai, Five-lump kinetic approach on biofuel production from refined rubber seed oil over Cu/ZSM-5 catalyst via catalytic cracking reaction. *Renewable Energy* **2021**, 171, 1445-1453

DOI: 10.1016/j.renene.2021.02.085 「査読有り」

15. A. Anantapinitwatna, K. Ngaosuwan, W. Kiatkittipong, D. Wongsawaeng, A. Anantpinijwatna, A.T. Quitain, S. Assabumrungrat, Water influence on the kinetics of transesterification using CaO catalyst to produce biodiesel. *Fuel* **2021**, 296, 120653.

DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120653 「査読有り」

16. P. Siabbamrung, A. T. Quitain, T. Kida, N. Laosiripojana, P. Boonnoun, A. Shotipruk, Solid acid catalyst prepared via one-step microwave-assisted hydrothermal carbonization: Enhanced stability towards intensified production of 5-hydroxymethylfurfural in water/ γ -valerolactone/NaCl. *Molecular Catalysis* **2021**, 512, 111772, 2021

DOI: 10.1016/j.mcat.2021.111772 「査読有り」

17. A. Anantapinitwatna, K. Ngaosuwan, W. Kiatkittipong, D. Wongsawaeng, A. Anantpinijwatna, A. T. Quitain, S. Assabumrungrat, Water influence on the kinetics of transesterification using CaO catalyst to produce biodiesel. *Fuel* **2021**, 296, 120653

DOI: 10.1016/j.fuel.2021.120653 「査読有り」

18. N. Chanthon, K. Ngaosuwan, W. Kiatkittipong, D. Wongsawaeng, W. Appamana, A. T. Quitain, S. Assabumrungrat, High-efficiency biodiesel production using rotating tube reactor: New insight of operating parameters on hydrodynamic regime and biodiesel yield. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2021**, 151,111430

DOI: 10.1016/j.rser.2021.111430 「査読有り」

19. P. Nuket, Y. Akaishi, G. Yoshimura, P. Vas-Umnuay, T. Kida, Enhanced Interfacial Charge Transfer Between CsPbBr₃ Quantum Dots and Surface-Modified TiO₂/FTO Photoanodes for Photocurrent Generation. *Materials Today Nano* **2021**, 100174

DOI: 10.1016/j.mtnano.2022.100174 「査読有り」

20. A Atmowidjojo, E Rianawati, BLF Chin, S Yusup, AT Quitain, S Assabumrungrat, CL Yiin, W Kiatkittipong, A Srifa, A Eiad-ua, Supporting Clean Energy in the ASEAN: Policy Opportunities from Sustainable Aviation Fuels Initiatives in Indonesia and Malaysia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* **2021**, 940, 012031

DOI: 10.1088/1755-1315/940/1/012031 「査読有り」

21. J. K. C. N Agutaya, A. T. Quitain, Y. L. Kam, S. Zullaikah, J. Auresenia, R. R. Tan, S. Assabumrungrat, T. Kida, Hydrothermal liquefaction of algal biomass to bio-oil. *Value-Chain of Biofuels* **2022**, 159-180.

DOI: 10.1016/B978-0-12-824388-6.00018-X 「査読有り」

22. S. W. Hii, B. L. F. Chin, F. R. S. A. Majing, H. Y. Lim, A. C. M. Loy, C. L. Yiin, S. Yusup, A. T. Quitain, M. N. Acda, P. Unrean, E. Rianawati, Iso-conversional kinetic and thermodynamic analysis of catalytic pyrolysis for palm oil wastes. *Value-Chain of Biofuels* **2022**, 277-300.

DOI: 10.1016/B978-0-12-824388-6.00025-7 「査読有り」

23. M. C. A. Macawile, A. Durian, R. V. Rubi, A. Quitain, T. Kida, R. Tan, L. Razon, J. Auresenia, Green Synthesis, Characterization, and Catalytic Activity of Amine-multiwalled Carbon Nanotube for Biodiesel Production. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* **2022**, 17 (2), 286-303

DOI: 10.9767/bcrec.17.2.13402.286-303 「査読有り」

24. M. Sasaki, Y. Miyagawa, K. Nonaka, R. Miyanomae, A. T. Quitain, T. Kida, M. Goto, T. Honma, T. F., K. Kawamura, Nano-pulsed discharge plasma-induced abiotic oligopeptide formation from diketopiperazine. *Sci Nat* **2022**, 109, 33

DOI: 10.1007/s00114-022-01803-y 「査読有り」

25. C. L. Yiin, E. bin Odita, S. S. M. Lock, K. W. Cheah, Y. H. Chan, M. K. Wong, B. L. F. Chin, A. T. Quitain, S. K. Loh, S. Yusup, A review on potential of green solvents in hydrothermal liquefaction (HTL) of lignin. *Bioresource Technology* **2022**, 364, 128075

DOI: 10.1016/j.biortech.2022.128075 「査読有り」

26. M. N. Rahman, S. Yusup, B. C. L. Fui, I. Shariff, A. T. Quitain, Oil Palm Wastes Co-firing in an Opposed Firing 500 MW Utility Boiler: A Numerical Analysis, *CFD Letters* **2022**, 15 (3), 139-152

DOI: 10.37934/cfdl.15.3.139152 「査読有り」

27. Y. L. Kam, J. K. C. N. Agutaya, A. T. Quitain, Y. Ogasawara, M. Sasaki, M.K. Lam, S. Yusup, S. Assabumrungrat, T. Kida, *Biomass and Bioenergy* **2022**, 168, 106662

DOI: 10.1016/j.biombioe.2022.106662 「査読有り」

*原著論文 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの論文) : 発表件数 : 計 18 件
全部査読有り

1. Md. A. Mannan, Y. Hirano, A. T. Quitain, M. Koinuma, and T. Kida. "Graphene oxide to B, N Co-doped graphene through tris-dimethylaminoborane complex by hydrothermal implantation". *American Journal of Materials Science* **2019**; 9(1):22-28.

DOI: 10.5923/j.materials.20190901.04 「査読有り」

2. N. L. Hamidah, M. Shintani, A. S. A. Fauzi, E. G. Mission, K. Hatakeyama, A. T. Quitain, and T. Kida. "Improving the proton conductivity of graphene oxide membranes by intercalating cations". *SN Applied Sciences* **2019**; 1(6):630.
DOI: 10.1007/s42452-019-0641-y 「査読有り」
3. C. S. C. Issasi, M. Sasaki, A. T. Quitain, T. Kida, and N. Taniyama; "Removal of impurities from low-density polyethylene using supercritical carbon dioxide extraction". *J. of Supercritical Fluids* **2019**; 146:23-29.
DOI: 10.1016/j.supflu.2019.01.003 「査読有り」
4. Y. Akaishi, A. D. Pramata, S. Tominaga, S. Kawashima, T. Fukaminato and T. Kida. "Reversible ON/OFF switching of photoluminescence from CsPbX₃ quantum dots coated with silica using photochromic diarylethene". *Chem. Commun.*, **2019**; 55:8060-8063.
DOI: 10.1039/C9CC03797G 「査読有り」
5. K. Mikami, Y. Kido, Y. Akaishi, A. T. Quitain, and T. Kida. "Synthesis of Cu₂O/CuO nanocrystals and their application to H₂S sensing". *Sensors* **2019**. 19:1-14.
DOI: 10.3390/s19010211 「査読有り」
6. E. G. Mission, J. K. C. N. Agutaya, A. T. Quitain, M. Sasaki, and T. Kida. "Carbocatalysed hydrolytic cleaving of the glycosidic bond in fucoidan under microwave irradiation". *RSC Adv.* **2019**; 9:30325-30334.
DOI: 10.1039/c9ra03594j 「査読有り」
7. N. Norahim, K. Faungnawakij, A. T. Quitain, and C. Klaysom. "Composite membranes of graphene oxide for CO₂/CH₄ separation". *J. Chem. Technol. Biotechnol.* **2019**; 94(9):2783-2791.
DOI: 10.1002/jctb.5999 「査読有り」
8. J. K. C. N. Agutaya, R. Inoue, S. S. V. Tsie, A. T. Quitain, J. de la Peña-García, H. Pérez-Sánchez, M. Sasaki, and T. Kida. "Metal-free synthesis of HMF from glucose using the supercritical CO₂-subcritical H₂O-isopropanol system". *Ind. Eng. Chem. Res.* **2020**; 59(38):16527-16538.
DOI: 10.1021/acs.iecr.0c03551 「査読有り」
9. N. L. Hamidah, M. Shintani, A. S. A. Fauzi, G. K. Putri, S. Kitamura, K. Hatakeyama, M. Sasaki, A. T. Quitain, and T. Kida. "Graphene oxide membranes with cerium-enhanced proton conductivity for water vapor electrolysis". *ACS Appl. Nano Mater.* **2020**; 3(5): 4292-4304.
DOI: 10.1021/acsanm.0c00439 「査読有り」
10. A. S. A. Fauzi, N. L. Hamidah, S. Sato, M. Shintani, G. K. Putri, S. Kitamura, K. Hatakeyama, A. T. Quitain, T. Kida, Carbon-based potentiometric hydrogen sensor using a proton conducting graphene oxide membrane coupled with a WO₃ sensing electrode, *Sensors and Actuators B: Chemical* **2020**, 323, 128678
DOI: 10.1016/j.snb.2020.128678 「査読有り」
11. R. Inoue, J. K. C. N. Agutaya, A. T. Quitain, M. Sasaki, M. J. Cocero, and T. Kida. "Supercritical CO₂-subcritical H₂O system: A green reactive separation medium for selective conversion of glucose to 5-hydroxymethylfurfural". *J. of Supercritical Fluids* **2021**; 168:105079.
DOI: 10.1016/j.supflu.2020.105079 「査読有り」
12. N. L. Hamidah, M. Shintani, A. S. A. Fauzi, S. Kitamura, E. G. Mission, K. Hatakeyama,

- M. Sasaki, A. T. Quitain and T. Kida. "Electrochemical hydrogen production from humid air using cation-modified graphene oxide membranes". *Pure Appl. Chem.* **2021**; 93(1): 1-11.
DOI: 10.1515/pac-2019-0807 「査読有り」
13. S. Balasubramaniam, S. Ninomiya, M. Sasaki, A. Quitain, T. Kida, M. DA Saldaña, Carbon-based solid acid catalyst derived from *Undaria pinnatifida* and its application in esterification. *Algal Research* **2021**, 55
DOI: 10.1016/j.algal.2021.102272 「査読有り」
14. C. S. Castro Issasi, K. Mori, R. M. Ibarra, M. Sasaki, A. T. Quitain, T. Kida, S. Okubayashi, T. Furusato, One-Pot Synthesis of Thermoresponsive Poly(N-Isopropylacrylamide) Assisted by Pulsed Arc Discharge in Contact with the Water Interface for Wound Dressing Purposes. *ACS Appl. Polym. Mater.* **2021**, 4, 1, 74–83
DOI: 10.1021/acsapm.1c00949 「査読有り」
15. A. T. Quitain, E. G. Mission, J. K. C. N Agutaya, M. Sasaki, T. Kida, Thermal, hydrothermal liquefaction, and electromagnetic processes for biomass conversion, *AZ of Biorefinery* **2021**, 421-446.
DOI: 10.1016/B978-0-12-819248-1.00014-2 「査読有り」
16. A. S. A. Fauzi, N. L. Hamidah, S. Kitamura, T. Kodama, K. Sonda, G. K. Putri, T. Shinkai, M. Sohail Ahmad, Y. Inomata, A. T. Quitain, T. Kida, Electrochemical Detection of Ethanol in Air Using Graphene Oxide Nanosheets Combined with Au-WO₃. *Sensors* **2022**, 22(9), 3194
DOI: 10.3390/s22093194 「査読有り」
17. M. Sasaki, Y. Miyagawa, K. Nonaka, R. Miyanomae, A. T. Quitain, T. Kida, M. Goto, T. Honma, T. Furusato, K. Kawamura, Nano-pulsed discharge plasma-induced abiotic oligopeptide formation from diketopiperazine. *Sci Nat* **2022**, 109, 33
DOI: 10.1007/s00114-022-01803-y 「査読有り」
18. M. Sasaki, H. T. Manalu, R. Kamogawa, C. S. Castro Issasi, A. T. Quitain, T. Kida, Fast and selective production of quercetin and saccharides from rutin using microwave-assisted hydrothermal treatment in the presence of graphene oxide, *Food Chemistry* **2022**, 405, 134808
DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.134808 「査読有り」
- *その他の著作物 (相手側研究チームとの共著総説、書籍など) : 発表件数 : 計 3 件
1. S. W. Hii, B. L. F. Chin, F. R. S. A. Majing, H. Y. Lim, A. C. M. Loy, C. L. Yiin, S. Yusup, A. T. Quitain, M. N. Acda, P. Unrean, E. Rianawati, Iso-conversional kinetic and thermodynamic analysis of catalytic pyrolysis for palm oil wastes, In. *Value-Chain of Biofuels: Fundamentals, Technology, and Standardization* Elsevier (Publication Date: November 15, 2021)
DOI: 10.1016/B978-0-12-824388-6.00025-7 「査読有り」
2. J. K. Christopher N. Agutaya, A. T. Quitain, Y. K. Lam, S. Zullaikah, J. Auresenia, R. Tan, S. Assabumrungrat, and T. Kida, Hydrothermal Liquefaction of Algal Biomass to Bio-oil" In. *Value-Chain of Biofuels: Fundamentals, Technology, and Standardization* Elsevier (Publication Date: November 15, 2021)
DOI: 10.1016/B978-0-12-824388-6.00018-X 「査読有り」
3. K. Ngaosuwan, A. Eiad-ua, A. Srifa, W. Kiatkittipong, W. Appamana, D. Wongsawaeng,

A. T. Quitain, and S. Assabumrungrat, "Application of Catalysts Derived from Renewable Resources in Production of Biodiesel", Chapter 12 in *Biodiesel Production: Feedstocks, Catalysts, and Technologies*, Wiley, 2022, pp. 229-248. (Published date: 2022 May 6)
DOI: 10.1002/9781119771364.ch12 「査読有り」

*その他の著作物 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの総説、書籍など) : 発表件数 : 計 1 件

1. A. T. Quitain, E. G. Mission, J. K. C. N. Agutaya, M. Sasaki, and T. Kida. "Thermal, Hydrothermal Liquefaction, and Electromagnetic Processes for Biomass Conversion". In *A-Z of Biorefinery: A Comprehensive Review*. Elsevier (Published date: 2021 September 1).
DOI: 10.1016/B978-0-12-819248-1.00014-2 「査読有り」

2. 学会発表

*口頭発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 11 件 (うち招待講演 : 11 件)

*口頭発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 128 件 (うち招待講演 : 9 件)

*ポスター発表 (相手側研究チームとの連名発表)

発表件数 : 計 0 件

*ポスター発表 (相手側研究チームを含まない日本側研究チームの発表)

発表件数 : 計 62 件

3. 主催したワークショップ・セミナー・シンポジウム等の開催

- 1) e-Asia Kick-Off Meeting and Joint Symposium on Biorefinery, 主催者 : Suttichai ASSABUMRUNGRAT and Armando T. QUITAIN、チュラロンコン大学、バンコク、タイ、2019年4月28~29日、参加人数60名程
- 2) さくらサイエンス講演会「e-ASIA International Symposium on Biomass Utilization and Functional Materials」主催者 : キタイン・アルマンド、熊本大学木田研究室、熊本大学、熊本市、日本、2019年7月10日、参加人数80名程
- 3) 「Biomass Scenario in ASEAN and Japan」主催者 : Armando T. Quitain, Suttichai Assabumrungrat, Artiwan Shotipruk, Navadol Laosiripojana, and Worapon Kiatkittipong、タイ、バンコク、チュラロンコン大学、モンクット王工科大学トンプリー校、シラパコーン大学、NSTDA、バンコク、タイ、2019年9月12日~19日、参加人数60名程
- 4) 「Biomass Scenario in ASEAN and Japan」主催者 : Siti Zullaikah、スラバヤ工科大学、インドネシア、スラバヤ、2020年2月26日~28日、参加人数25名程
- 5) Biomass Scenario in ASEAN and Japan」主催者 : Suzana Yusup、ペトロナス工科大学、マレーシア、Seri Iskandar、2020年3月2日~6日、参加人数25名程
- 6) First International Conference on Engineering and Industrial Technology (ICEIT 2020)、シラパコーン大学、Suttichai Assabumrungrat, Armando T. Quitain, パタヤ、タイ、2020年9月11日~13日、参加人数600名程 (オンライン)
- 7) さくらサイエンス講演会「e-ASIA International Symposium on Green Chemistry and Engineering for SDGs (Multidisciplinary and Multicultural Exchanges)」、主催者 : キタイン・アルマンド、熊本大学木田研究室、熊本大学、熊本市、日本、2021年1月20日、参加人数185名程 (オンライン)

- 8) Workshop on ASEAN Biomass Conversion Technologies、主催者：キタイン・アルマンド、熊本大学、熊本市、日本、2021年1月28日、参加人数15名程
- 9) 2nd International Conference on Engineering and Industrial Technology (ICEIT 2021), シラパコーン大学, Suttichai Assabumrungrat, Armando T. Quitain, パタヤ、タイ、2021年11月3日~5日、参加人数500名程 (オンライン)
- 10) さくらサイエンス講演会「e-ASIA International Symposium on Green Chemistry and Engineering for SDGs (Multidisciplinary and Multicultural Exchanges)」、主催者：キタイン・アルマンド、熊本大学木田研究室、熊本大学、熊本市、日本、2021年11月17日、参加人数140名程 (オンライン)
- 11) Workshop on ASEAN Biomass Conversion Technologies、主催者：キタイン・アルマンド、熊本大学、熊本市、日本、2022年1月27日、参加人数17名程
- 12) ISFACHE 2022 (ITS): The 4th International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering/Session: e-Asia Collaborative Research Project on Algal Biomass, 主催者：Siti Zullaikah、スラバヤ工科大学、インドネシア、スラバヤ、2022年10月26日~27日、参加人数100名程
- 13) Workshop/Research Exchanges on Biomass Scenario in Thailand, 主催者：Armando T. Quitain, Suttichai Assabumrungrat, Navadol Laosiripojana, and Wo:apon Kiatkittipong, タイ、バンコク、チュラロンコン大学、モンクット王工科大学トンプリー校、シラパコーン大学、NSTDA、バンコク、タイ、2022年12月1日~10日、参加人数150名程
- 14) さくらサイエンス講演会「e-ASIA International Symposium on Green Chemistry and Engineering for SDGs (Multidisciplinary and Multicultural Exchanges)」、主催者:キタイン・アルマンド、熊本大学木田研究室、熊本大学、熊本市、日本、2023年1月18日、参加人数150名程 (オンライン)
- 15) Workshop and Site Tour on BCG Technologies, 主催者 :Suttichai ASSABUMRUNGRAT、チュラロンコン大学、バンコク、タイ、2023年1月23日~25日、参加人数10名程
- 16) Chula - Sheffield- Kumamoto algal network, research and applications toward BCG economy、チュラロンコン大学、バンコク、タイ、2023年1月8日、参加人数50名程
- 17) e-ASIA Workshop: ITS-Kumamoto-Chula Research Output Dissemination and Future Research Collaboration on Bioenergy and Bio-Products Toward Bio-Circular-Green Economy、主催者：Siti, Zullaikah, Armando T. Quitain, Suttichai Assabumrungrat、スラバヤ工科大学、インドネシア、スラバヤ、2023年3月15日~17日、参加人数100名程 (ハイブリッド型)

4. 研究交流の実績 (主要な実績)

【合同ミーティング】

- ・2019年4月28日:キックオフミーティング、チュラロンコン大学化学工学科、バンコク、タイ
- :2019年9月13日：タイチームとのミーティング、チュラロンコン大学化学工学科、バンコク、タイ
- ・2020年2月26日:インドネシアチームとのミーティング、スラバヤ工科大学化学工学科、スラバヤ、インドネシア
- ・2020年3月2日:マレーシアチームとのミーティング、ペトロナス工科大学、ペラク、マレーシア
- ・2020年10月29日:フィリピンチームとのミーティング、オンライン
- ・2021年1月8日:インドネシアチーム、タイチーム、マレーシアチームとのミーティング、オンライン
- ・2022年1月27日:インドネシアチーム、タイチーム、マレーシアチームとのミーティング、オンライン
- ・2022年9月17日:フィリピンチームとのミーティング、デラサール大学化学工学科、マ

ニラ、フィリピン

- ・2022年12月4日:タイチームとのミーティング、チュラロンコン大学化学工学科、バンコク、タイ
- ・2023年1月8日:タイチームとのミーティング、チュラロンコン大学化学工学科、バンコク、タイ
- ・2023年1月23日:タイチームとのミーティング、チュラロンコン大学化学工学科、バンコク、タイ
- ・2023年3月15日:タイチーム、インドネシアチームとのミーティング、スラバヤ工科大学化学工学科、スラバヤ、インドネシア

- ・2019年4月:フィリピンチームから学生3名が半年間熊本大学に留学した。
- ・2019年4月:マレーシアチームから学生2名が5カ月熊本大学に留学した。
- ・2019年5月:マレーシアチームから学生1名が8カ月熊本大学に留学した。
- ・2019年7月:フィリピンチームから学生2名、教員1名、インドネシアチームから学生1名、タイチームから学生2名、教員1名、マレーシアチームから研究者が1週間熊本大学に滞在した。
- ・2023年1月:フィリピンチームから学生2名、教員2名、研究員1名、タイチームから学生3名、が1週間熊本大学に滞在した。

備考:2020年度及び2021年度は、COVID-19パンデミックの影響によりオンライン交流を行った。

5. 特許出願

研究期間累積出願件数 : 0 件

6. 受賞・新聞報道等

1. Student Best Oral Presentation, Jonas Karl Christopher N. Agutaya, 18th Asian Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCChE 2019), 2019年9月27日
2. Young Scientist Awards, Nur Laila Hamidah, 13th Asian conference on chemical sensors, Bali, Indonesia, 2019年11月20日
3. Kumamoto University Research Award, Armando T. Quitain, 2019年11月25日
4. The Best Presentation Award, Shimpei Kawashima "The 14th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) 2019 Kumamoto", 2019年11月29日
5. "Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya", Siti Zullaikah, 2020年4月6日
6. "Outstanding Scientist Award (Foundation for the Promotion of Science and Technology under the Patronage of His Majesty the King), Suttichai Assabumrungrat, 2020年8月18日
7. 発表奨励賞 (応用物理学会 九州支部), Takeshi Shinkai, 2020年12月23日
8. Kumamoto University Education Award (Multidisciplinary Approach to Global Education), Armando T. Quitain, 2021年11月20日
9. The Best Presentation Award, Shunsuke Kimura, "The 16th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) 2021 Kumamoto", 2021年12月2~3日
10. The Best Poster Presentation Award, Yuri Ogasawara, Armando T. Quitain, Yusuke Inomata, Tetsuya Kida International Congress on Science, Technology and Technology-Based Innovation (STT48), 2022年11月29日~12月1日

7. その他