

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12369

研究課題名(和文) IoTネットワーク構築のための気中ナノ粒子(PM0.1)リアルタイムセンサの開発

研究課題名(英文) Development of PM0.1 real-time sensor for IoT networks

研究代表者

畑 光彦 (Hata, Mitsuhiro)

金沢大学・地球社会基盤学系・准教授

研究者番号：00334756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では「IoTネットワーク構築を想定した0.1 μ m以下の気中ナノ粒子(PM0.1)リアルタイムセンサの開発」を目的として、実用化を想定した光学式パーティクルカウンタの大気ナノ粒子検出性能の検討を行い、ナノ粒子検出率が粒子径のみならず、粒子の種類にも依存して変化することを確認した。本技術に基づくナノ粒子濃度測定法を検討するために様々な環境での実証データが必要であることが判明したため、大気観測実験を継続してデータを蓄積したほか「東アジアナノ粒子国際観測網」と「タイ・ハジャイ市スマートシティ計画」の中でIoTネットワーク構築を含む実証試験のための装置を試作し、アジア各都市で実証データを取得した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究のターゲットとして設定した「安価・小型で」「ナノ粒子(PM0.1)を」「オンライン観測する」センサ技術は開始時点には存在せず、終了時点でもまだそのような商品は存在しない。製品の完全な実用化には実証データからに基づく調整が必要であり、いくつか技術的な問題が残されているが、実現すればナノ粒子モニタリングの敷居が下がり「粒子の大きさ」に着目した研究が進むことが期待される。

研究成果の概要(英文)：In order to develop a real-time sensor for airborne nanoparticles (PM0.1) for IoT network construction, we investigated the detection performance of an optical particle counter for airborne nanoparticles. We found that the nanoparticle detection rate varies depending not only on particle size but also on particle type. Because we need data in various environments to develop the nanoparticle concentration measurement function based on this technology, we accumulate data through atmospheric observation experiments in collaboration monitoring in the "East Asia International Nanoparticle Observation Network" and the "Hajai City Smart City Project" in Thailand.

研究分野：大気環境工学

キーワード：ナノ粒子 大気汚染 エアロゾル

1. 研究開始当初の背景

研究代表者(畑)は、ナノ粒子分離・捕集技術の開発とそれらを用いた大気中のナノエアロゾル粒子の動態解析、開発途上国の大気環境評価、発生源対策技術、バイオマス利用による環境負荷・リスク評価等を主な研究分野としてきた。4頁でも説明したように、申請者らは十年以上にわたって「PM_{0.1}の分級」技術開発にあたってきた。大谷・古内らが開発した慣性フィルタを使用した最初の「ナノ粒子大気サンプラ(ANS)」(2010年発表)が完成するまで、繊維の充填量・ノズル径・流量と分級特性・圧力損失の関係を検討し度重なる改良を経たが、未だ細かいノウハウまで理論的に解明するには至っておらず、「アンダーセンサンプラ用慣性フィルタステージ(ANIF)」(2012年発表)「ナノ粒子個人サンプラ(PNS)」(2010年,2014年発表)「大流量ナノ粒子サンプラ(HV-NS)」(2012年,2016年発表)の開発の都度、それぞれの流量に合わせた細かい検討と、粉塵負荷耐性の向上や跳ね返りの抑制などを経て、いまなお改良を続けている。

本研究では、小型・静音化のため、小流量の分級装置が必要になる。現時点で発表された最小流量は5L/minのPNSであり、その圧力損失は約5kPaである。それより小さな1L/min程度の小流量の慣性フィルタを、2012年当時から並行して検討しているが、流路が狭くなるためか粒子の跳ね返りと圧力損失上昇が大きく、まだ実用に至っていない。

本研究では5L/min未満の小流量がターゲットとなるため、インパクトと慣性フィルタの分級曲線をあえて重ねる「複合型慣性フィルタ(hybrid inertial filter)」(2017年発表)を応用して実現する予定であり、既に1~3L/minの流量をターゲットにした検討を始めている。インパクトと慣性フィルタの精密な調整が必要となるが、十分な可能性があることを確認済である。

一方で、畑にはOPC、CPC、EC(AE)、QCMなどナノ粒子の検出・測定技術そのものにかかる開発や、IoT技術開発の経験が少ない。そこで、本申請では、ビッグデータやIoT技術開発に詳しい藤生、エアロゾル荷電・測定技術を応用してPM₁₀、PM_{2.5}観測機器を開発したPanich講師、タイ国立電子コンピューター技術研究センターでQCM他センサ開発を行っているKata研究員を研究分担者とし、申請前に数回直接打ち合わせを行い、実現可能性を確認した上で申請した。

2. 研究の目的

「安価・小型で」「ナノ粒子(PM_{0.1})を」「オンライン観測する」センサ技術は現存せず、本申請研究はブレイクスルーとしての技術開発である。IoTネットワークを利用した交通量や人間動態、大気汚染等のビッグデータは現状数百mから1kmのメッシュ単位の詳細度、1時間程度の時間解像度が主流であり、都市内のリスクや発生源の分析に供するにはデータの密度が低すぎる。本研究は喫煙や道路交通などに由来して局地的に発生するPM_{0.1}リスクを可視化できるIoTネットワーク構築のため、100m以下の詳細度、30分以下の観測を実現する機材開発を目標とする。

「PM_{0.1}分級技術」として応用される「慣性フィルタ(IF)」技術は申請者ら独自の技術であり、3つの要素技術「QCM」「EC」「OPC」は原理、感度、課題、得られる情報が異なるため、「PM_{0.1}のオンライン観測として有効なリアルタイムセンサ」としての適性や限界も含めた比較検討、議論を行う。このようなセンサの比較検討が行われた例は少なく、PM_{0.1}については皆無である。

3. 研究の方法

図1に慣性フィルタとインパクトを組み合わせて機能する複合慣性フィルタ(HIF)の構造を示す。図2に示した慣性フィルタの性能測定実験装置でNaCl多分散粒子を生成し、HIFホルダを通過した後の10-420nmのサイズ範囲における数濃度分布を観察した。粒子径別の透過率を、空のHIFホルダ下流で測定された粒子径別個数濃度を、通常のHIF下流の粒子個数濃度で割ったものとして定義し、1から透過率を引いて粒子捕集効率を算出した。図3にOPCの検出率試験の模式図を示す。TSI 1-JETアトマイザーで発生させた塩化ナトリウム水溶液の液滴粒子を拡散ドライヤで乾燥し、DMAで分級したNaClたん分散粒子を試験用エアロゾル粒子として使

用した。この粒子個数濃度を SMPS (TSI 3034)と OPC (Particles Plus 5301)で測定し、OPC で検出された個数濃度を SMPS と CPC で検出された個数濃度で割って検出率を測定した。図 4 に大気粒子を使用した開発装置の性能評価の模式図を示す。個数濃度数濃度が低いいため、以下の式からの関数フィッティングから検出率を推定した。

$$N = \int_{d_{p1}}^{d_{p2}} N_{OPC}(d_p) \frac{1}{\text{detection rate}(d_p)} \frac{1}{\text{penetration rate}(d_p)} dd_p \quad (1)$$

ここで、 N は推定粒子数濃度、 N_{OPC} は OPC で検出された個数濃度、 detection rate は OPC の検出率、 penetration rate は HIF の透過率である。

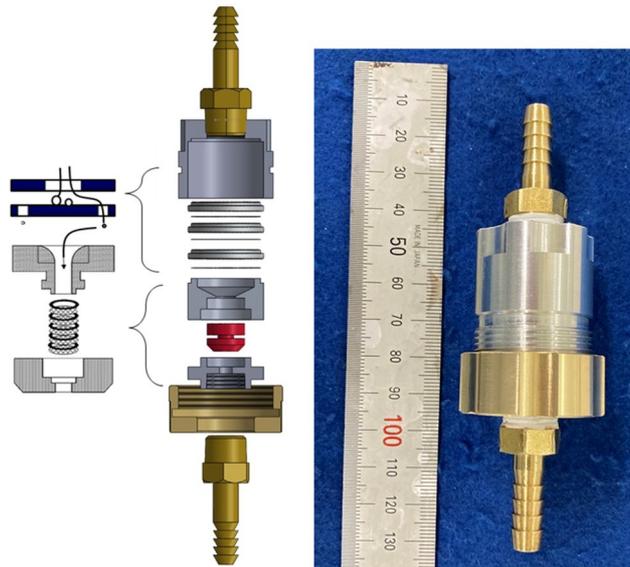


図 1 複合慣性フィルタの構造

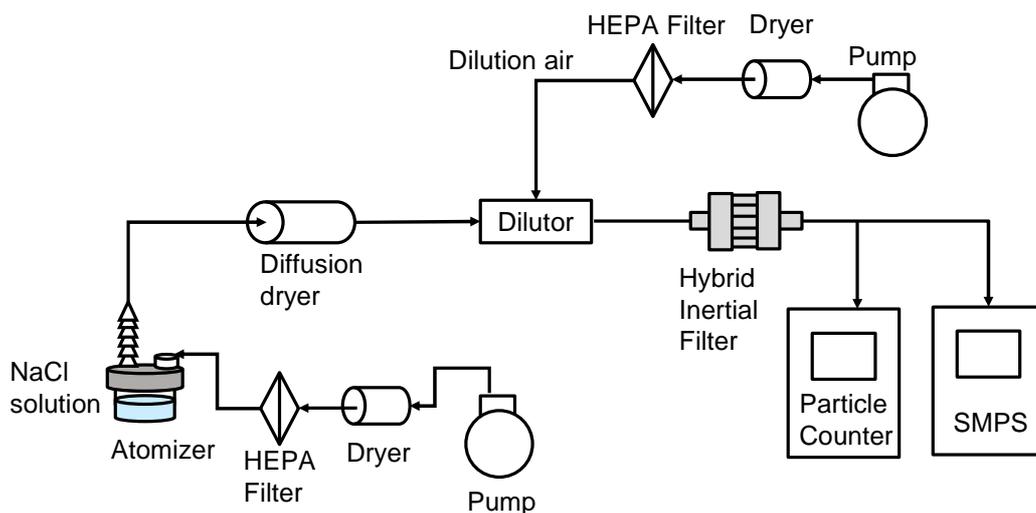


図 2 慣性フィルタの性能測定実験装置の概略

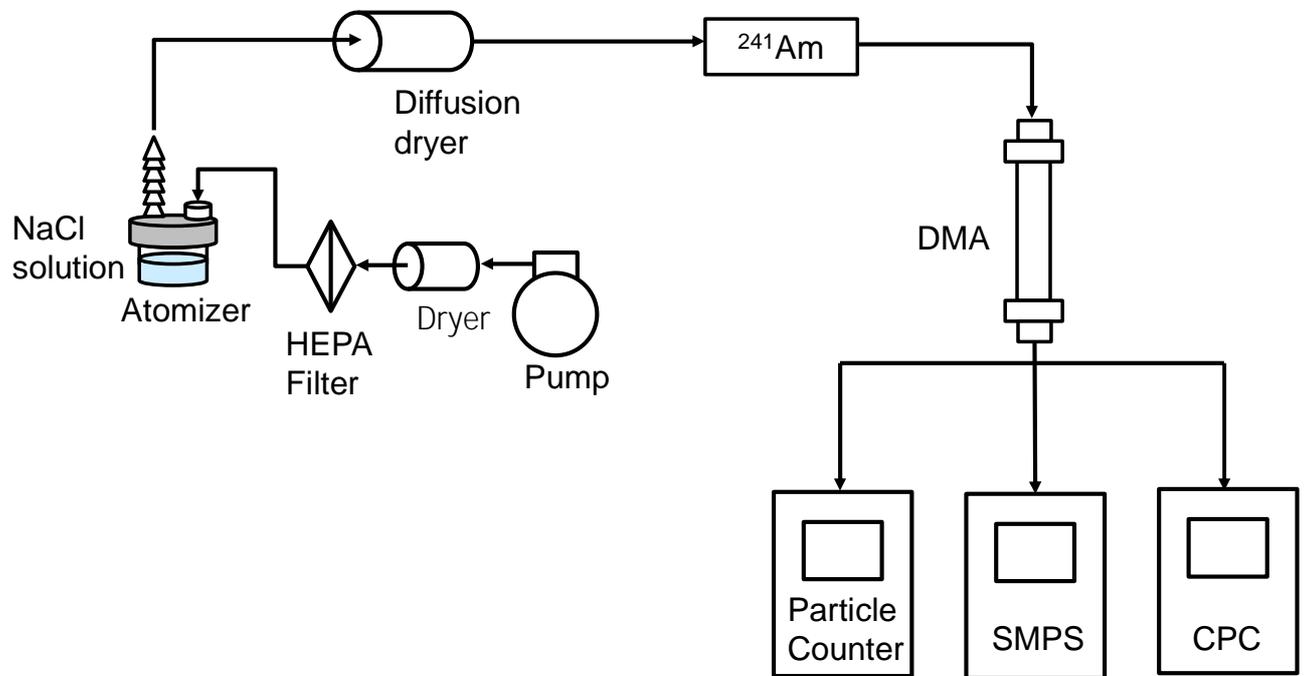


図3 粒子検出率測定実験装置の概略

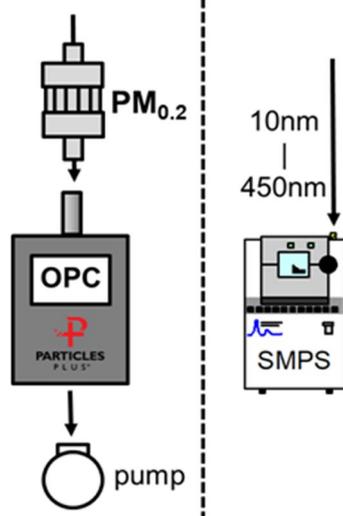


図4 粒子検出率測定実験装置の概略

4. 研究成果

図5に分級径200nm、圧力損失2kPaのOPC用HIFの捕集効率の測定結果の一例を示す。分級径100nm、圧力損失5kPa以下のHIFの開発が第一目標であったが、現在の圧力損失は約7kPaであり、圧力損失の低減にはまだ課題が残されている。また、通常のOPCではPM_{0.1}の検出信頼性が低いことが判明したため、PM_{0.1}対象としたモニタ開発を今後の検討課題とし、PM_{0.2}とPM_{0.3}を対象としたナノOPCの実用化を目指して図4の実証試験を実施したところ、図8に示したようにNaClと大気粒子の間に、粒子の検出率に明らかな差があることがわかった。現在、試作装置を使用した移動モニタリングに向けて、さらなる開発・試作を進めている。最終的な製品化に向けて、フィールド調査による検出率や粒径分布の予測を提案する必要があり、これも進行中である。

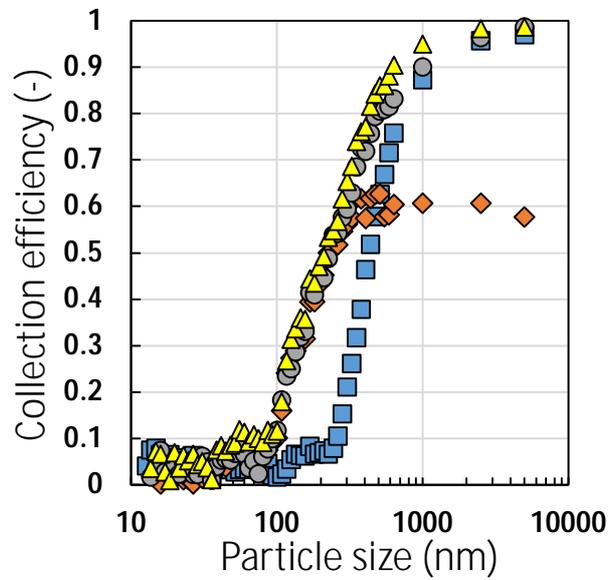


図5 HIF の分級特性の一例 (200nm カット, 圧力損失約 2kPa)

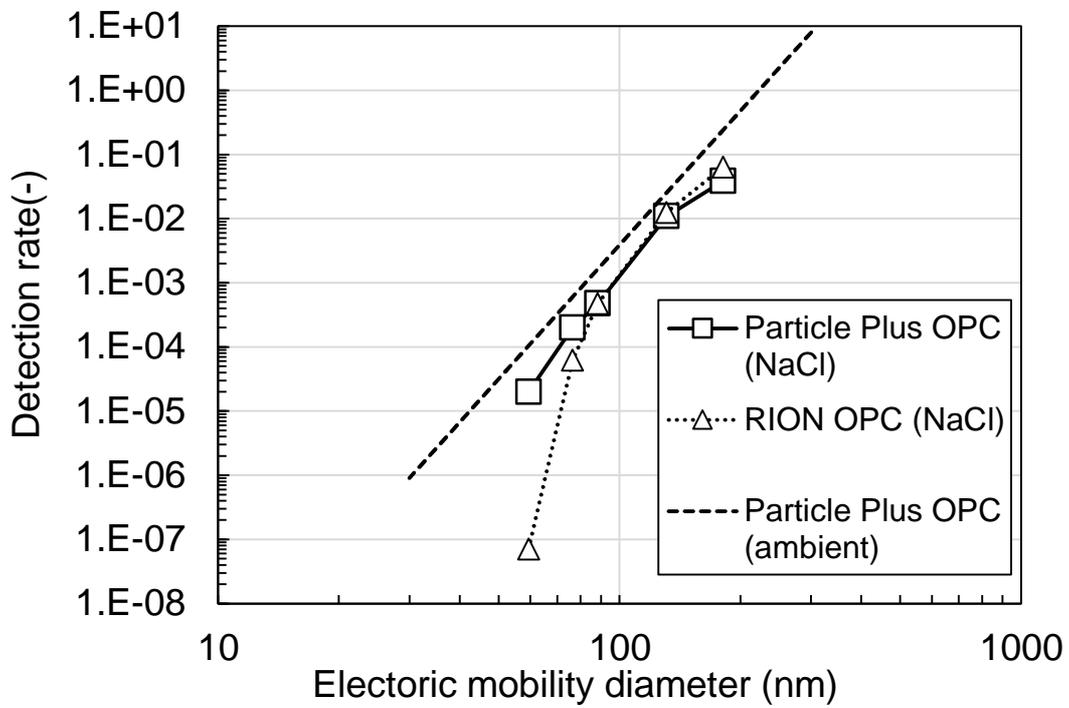


図6 OPC の粒子検出率の測定結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Higashikubo Ichiro, Handika Rizki Andre, Kawamoto Toshihiro, Shimizu Hidesuke, Thongyen Thunyapat, Piriyaakarsakul Suthida, Muhammad Amin, Hata Mitsuhiro, Furuuchi Masami	4. 巻 21
2. 論文標題 Worker's Personal Exposure to PM0.1 and PM4 Titanium Dioxide Nanomaterials during Packaging	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Aerosol and Air Quality Research	6. 最初と最後の頁 In press
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4209/aaqr.2020.10.0606	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Putri Rahmi Mulia, Amin Muhammad, Suciari Tetra F., Al Fattah Faisal M., Auliani Restu, Ikemori Fumikazu, Wada Masashi, Hata Mitsuhiro, Tekasakul Perapong, Furuuchi Masami	4. 巻 In press
2. 論文標題 Site-specific variation in mass concentration and chemical components in ambient nanoparticles (PM0.1) in North Sumatra Province-Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Atmospheric Pollution Research	6. 最初と最後の頁 101062 ~ 101062
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apr.2021.101062	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 該当する
1. 著者名 W. Phairuang, P. Suwattiga, T. Chetiyankornkul, S. Hongtieab, W. Limpaseni, F. Ikemori, M. Hata, M. Furuuchi	4. 巻 10
2. 論文標題 Estimation of Air Pollution from Ribbed Smoked Sheet Rubber in Thailand Exports to Japan as a Pre-product of Tires	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Atmospheric Pollution Research	6. 最初と最後の頁 642-650
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.apr.2018.11.010	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 該当する
1. 著者名 W. Phairuang, P. Suwattiga, T. Chetiyankornkul, S. Hongtieab, W. Limpaseni, F. Ikemori, M. Hata, M. Furuuchi	4. 巻 247
2. 論文標題 The Influence of the Open Burning of Agricultural Biomass and Forest Fires in Thailand on the Carbonaceous Components in Size-fractionated Particles	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 238-247
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.envpol.2019.01.001	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 該当する

1. 著者名 N. Kumsunlas, S. Piriyakarnsakul, P. Sok, S. Hongtieb, F. Ikemori, W. W. Szymanski, M. Hata, Y. Otani, M. Furuuchi	4. 巻 19
2. 論文標題 A Cascade Air Sampler with Multi-nozzle Inertial Filters for PM0.1	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Aerosol and Air Quality Research	6. 最初と最後の頁 1666-1677
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4209/aaqr.2019.02.0066	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 該当する

1. 著者名 S. Piriyakarnsakul, K. Takarada, K. E. Heab, M. Nasu, M. Furuuchi, M. Hata	4. 巻 -
2. 論文標題 Optimal fluorescent dye staining time for the real time detection of microbes: a study of <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Applied Microbiology	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jam.14577	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 W. Phairuang, M. Inerb, M. Furuuchi, M. Hata, S. Tekasakul, P. Tekasakul	4. 巻 260
2. 論文標題 Size-fractionated Carbonaceous Aerosols down to PM0.1 in Southern Thailand: Local and Long-range Transport Effects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Pollution	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.envpol.2020.114031	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 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 高尾将志, ホー ソタシン, 池盛文数, 和田匡司, ソク ピシット, ハル シンヘン, タン チャンレアスメイ, ホァ シウメイ, 畑 光彦, 古内正美
2. 発表標題 カンボジア・ブノンペンでのナノ粒子特性の月別・年別変動
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名	Muhammad Amin, Rahmi Mulia Putri, Zaky Farnas, Fadjar Goembira, Worradorn Phairuang, Mitsuhiko Hata, Masami Furuuchi
2. 発表標題	Status and characteristic of ambient aerosol in Padang City Area, Indonesia
3. 学会等名	第61回大気環境学会年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Rahmi Mulia Putri, Muhammad Amin, Fumikazu Ikemori, Masashi Wada, Tetra F. Suciari, Al Fattah Faisal M, Astri Novarina, Sri Rafiah Nam Bintang, Surapa Hongtieab, Masami Furuuchi, Mitsuhiko Hata
2. 発表標題	Status and characteristic of nanoparticle (PM0.1) at different sites in North Sumatera Province, Indonesia
3. 学会等名	第61回大気環境学会年会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Ey Kim Heab, Kaoru Takarada, Muhammad Amin, Suthida Piriyaakansakul, Masao Nasu, Mitsuhiko Hata, Masami Furuuchi
2. 発表標題	Influence of relative humidity for pre-conditioning of microbes on their staining behavior
3. 学会等名	第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名	Rizki Andre Handika, Mitsuhiko Hata, Masami Furuuchi, Ichiro Higashikubo, Toshihiro Kawamoto, Hidesuke Shimizu
2. 発表標題	Personal Exposure to Nanoparticle and Respirable Dust from Packing Process of Fine Powder Materials
3. 学会等名	第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年	2020年

1. 発表者名 稲葉健将, 古内正美, 畑光彦, 水野真人, Adam Giandomenico
2. 発表標題 光散乱を利用した小型PM0.1センサの予備的検討
3. 学会等名 第37回エアロゾル科学・技術研究討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 W. Phairuang, P. Tekasakul, S. Tekasakul, M. Hata, M. Furuuchi
2. 発表標題 Characteristic of particulate matter down to PM0.1 in Southern Thailand
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (AAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Furuuchi, S. Piriyaakarnsakul, N. Kumsanlas, P. Sok, S. Hongtieb, F. Ikemori, M. Hata, W. W. Szymanski
2. 発表標題 A Cascade Air Sampler with Multi-nozzle Inertial Filters for PM0.1
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (AAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Furuuchi, M. Fujiu, S. Osawa, M. Hata, A. Toriba, M. Sakai, N. Kumsanlas, Q. Chen
2. 発表標題 Number Counting of Persons in a Focused Environment using a Portable Sensor detecting Wi-Fi Packet Signals from Mobile Phones
3. 学会等名 11th Asian Aerosol Conference (AAC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Amin, R. Mulia Putri, S. Hongtieb, F. Goembira, Z. Farnas, A. Arwin, A. Rizky, A. Ullah, W. Phairuang, F. Ikemori, M. Furuuchi, M. Hata
2. 発表標題 Ambient Nanoparticles (PM0.1) in Sumatra Island -Seasonal Behaviors and Effect of Peatland Fire Control
3. 学会等名 The First Asia-Pacific Graduate Research International Conference 2019 (The 1st APGIC 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究分担者	古内 正美 (Furuuchi Masami) (70165463)	金沢大学・地球社会基盤学系・教授 (13301)	
研究分担者	鳥羽 陽 (Toriba Akira) (50313680)	金沢大学・薬学系・准教授 (13301)	
研究分担者	藤生 慎 (Fujii Makoto) (90708124)	金沢大学・地球社会基盤学系・准教授 (13301)	
研究分担者	那須 正夫 (Nasu Masao) (90218040)	大阪大谷大学・薬学研究科・教授 (34414)	
研究分担者	池盛 文教 (Ikemori Fumikazu) (00773756)	金沢大学・地球社会基盤学系・研究協力員 (13301)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	和田 匡司 (Wada Masashi) (00413766)	地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所（環境研究部、食と農の研究部及び水産研究部）・その他部局等・主任研究員 (84410)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計2件

国際研究集会 7th Workshop on East Asia Nanoparticle Monitoring Network (EA-NanoNet-7)	開催年 2019年～2019年
国際研究集会 7th Workshop on Environmental Issues related to Agriculture and Agro-industries in South East Asia (EIAA-7)	開催年 2019年～2019年

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
タイ	Prince of Songkla University	NECTEC	RUTL 他2機関