

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B)）

研究期間：2018～2023

課題番号：18KK0303

研究課題名（和文）将来変化を考慮した世界の水資源利用の持続可能性への日本の責任フットプリント分析

研究課題名（英文）Responsibility footprint analysis of Japanese activities to water resources sustainability in the world considering future changes

研究代表者

本下 晶晴（Motoshita, Masaharu）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究グループ長

研究者番号：50371084

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：我々の生活は世界貿易を通じて様々な国や地域における生産活動に依存しており、こうした生産活動に伴う水資源の消費を間接的に引き起こしている。本研究ではこうした依存により世界の様々な地域で間接的に発生させている水資源利用がどの程度持続的で、将来的にどのように変化する可能性があるのかについて分析を行った。その結果、我々は日々の生活に必要なモノやサービスを利用することで、日本国内で消費する水資源の3倍の量の水資源の利用を海外で引き起こし、そのうち約10%程度は持続可能な許容できる範囲を超えていることが明らかとなった。将来この状況はより深刻化する可能性があり、我々の消費活動のあり方を採光する必要がある。

研究成果の学術的意義や社会的意義

流域固有の特性を踏まえた環境容量として水資源利用のプラネタリー・バウンダリを定量化した先行事例はなく、我々の水資源利用の持続可能性を評価するための基盤となる知見を構築した。また世界のサプライチェーンの中で間接的に誘発されている水資源消費量やその持続可能性を評価するだけでなく、地域や国ごとの影響の深刻さについて分析することで、これまでの研究では見えていない責任について明らかになった。グローバル化された貿易活動により世界の様々な地域で見えない環境影響を誘発しており、その重要性や分析フレームを世界に先駆けて示すことで今後の持続可能な社会の実現への貢献が期待される。

研究成果の概要（英文）：We depend on production activities in different countries through international trade, and these production activities indirectly cause consumption of water resources that are usually invisible for us. In this study, we analysed the extent to which water consumption indirectly caused in the global supply chains is sustainable and how it may change in the future. We demonstrate that our final demand causes three times large amount of water consumption in outside Japan than those in Japan. Besides, around 10% of this amount is beyond the sustainable capacity of water resources. This situation could become more severe in the future and we need to take a closer look at the way we consume.

研究分野：環境工学

キーワード：水資源利用 プラネタリー・バウンダリ 責任フットプリント 将来予測 ウォーターフットプリント

### 1. 研究開始当初の背景

需要増加や気候変動により 2050 年には世界人口の 40%が水不足に直面するといわれる中、経済のグローバル化により日本も世界の水不足に間接的な影響を与えている。水資源利用の持続可能性を評価する指標として、環境容量を指標としたプラネタリー・バウンダリ概念が提案されているが、現状の需給バランスしか考慮されておらず本質的な課題である将来の水不足のリスクを評価できていない。また仮想水貿易 (Virtual Water Trade) の研究によると、日本は海外からの輸入品を利用することにより国内で消費する水とほぼ同量の水消費を回避していると言われている。すなわち、必要とする約半分の水資源を海外に依存していると言え、サプライチェーンを通じて日本での生産・消費活動が世界各地に与える影響(フットプリント)への責任は無視できない。また、サプライチェーンにおけるフットプリントの連鎖構造は複雑であるため、環境容量超過リスク低減の鍵となるプロセスを容易に特定できることがリスクの予防管理に不可欠である。

### 2. 研究の目的

水資源需給の将来的な変化を考慮した水資源利用のプラネタリー・バウンダリ指標を開発し、世界の各国における水資源利用の持続可能性に対する我が国の生産・消費活動の責任をフットプリントとして可視化する。また、複雑なサプライチェーンの中で環境容量超過リスクの原因となるプロセスを特定する。これにより日本の活動が世界の持続可能な水資源利用に将来及ぼす影響を予測し、世界の水資源利用の持続可能性に向けたリスクの予防管理に資することを旨とする。

### 3. 研究の方法

水資源賦存量の将来変化について、代表的な水資源モデルを用いて水資源賦存量の予測を行い、広く用いられている環境用水量算定モデルを援用することで各国における環境容量を算定し、各国における水資源賦存量および需要量データに基づいた世界各国における水資源利用のプラネタリー・バウンダリ指標を開発する。また並行して日本の生産・消費活動に起因する世界のサプライチェーンにおける水消費をフットプリントとして算定するため、国際産業連関分析手法を援用した水資源消費データベースを開発する。各国の用途別水需要データを国際産業連関分析モデルの産業セクターに対応させてサプライチェーンにおける水消費のフットプリントを算定し、プラネタリー・バウンダリ指標を乗じることで環境容量超過リスクをフットプリントとして表す。これにより日本の生産・消費活動に起因する責任フットプリントを分析し、世界のサプライチェーンにおける水利用の持続可能性にクリティカルな影響を与えるポイントやその原因を特定することで、水資源利用の持続可能性を高めるための方策を明らかにする。

### 4. 研究成果

世界の約 11,000 の流域をカバーして、その流域ごとの特性を踏まえた水資源消費に伴うプラネタリー・バウンダリ指標を開発した。現状の分析として、約 80%の水需要のある流域で既に環境容量を超過しており、世界平均で現状の水消費量のうち約 24%に相当することを明らかにした(図 1)。こうした環境容量超過は生態系の保全に必要な水資源を奪っていることを意味しており、生態系への影響の潜在的な大きさが示唆された。また、こうした環境容量超過は仮想水貿易 (Virtual Water Trade) によって多少の緩和効果が見られるが、その効果は環境容量超過を 5%程度低減することにとどまっており、抜本的な対策が必要であることが明らかとなった。

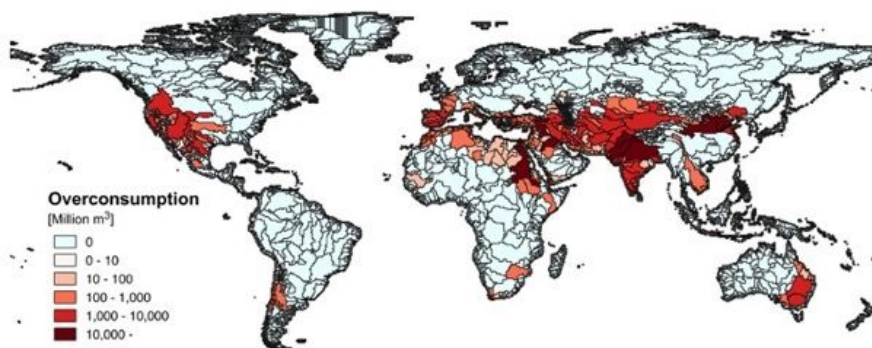


図 1 世界の流域における環境容量超過水量分布

また、サプライチェーンを通じた水消費に伴う環境容量超過への影響について国際産業連関分析モデルを援用し、日本の最終需要に伴う水消費量は約 532 (億 m<sup>3</sup>) と推定され、これは仮想水貿易 (virtual water trade) により削減できた日本国内での水消費量の 3 倍に相当し、国内の水消費を抑制できる一方で水利用効率の低い財の輸入に依存していることが明らかとなった(図 2)。また、そのうち約 96 (億 m<sup>3</sup>) は誘発された先の地域における環境容量を超過しており、その主要な要因は食料生産部門や飲食サービスなど食料品に関わる消費活動であることが分かったが、機械製品や電気製品などの工業製品による水消費の誘発の影響も少なくないことも明らかとなった(図 3)。

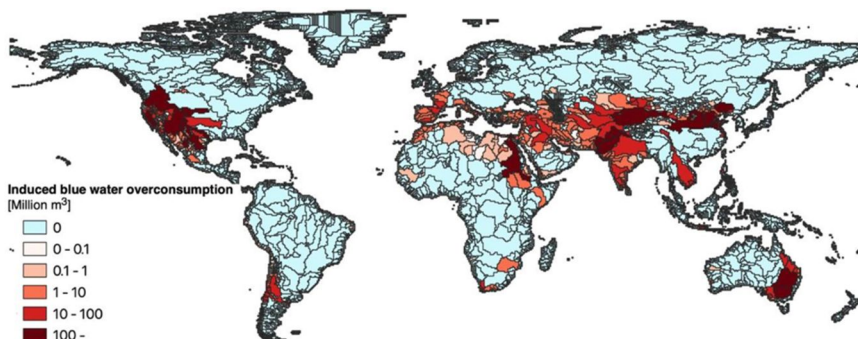


図 2 日本の最終需要が世界の流域で誘発する環境容量超過水量分布

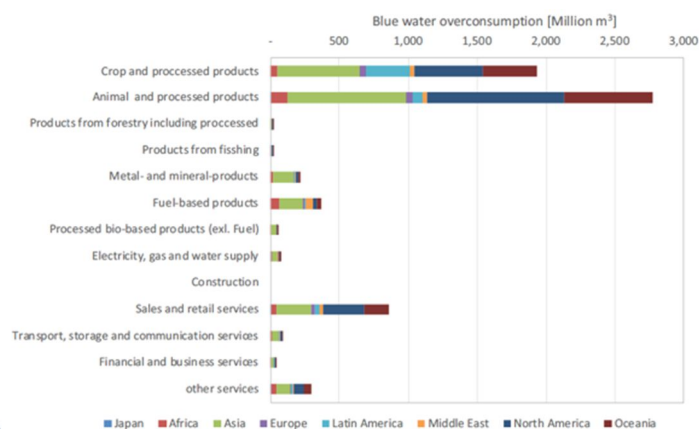


図 3 日本の最終需要が誘発する環境容量超過水量の需要別内訳

世界の流域レベルでの特性を踏まえた水資源消費に伴うプラネタリー・バウンダリ指標は国際誌に査読付き論文として掲載され、引用数も着実に増えるなど世界を先導する研究となっている。また、日本の最終需要に伴う水消費やその環境容量超過を分析した事例も、環境容量超過の原因やその責任についても明らかにするなど世界に先駆けた分析として国際誌にて査読付き論文として公表されている。今後はこれらの成果を元に、こうした環境容量超過に伴う具体的な生態系への影響などの環境影響についての分析を進めるとともに、これらの研究成果の活用先として自然関連財務情報開示タスクフォース (TNFD) などによる企業への水資源利用リスクの会場要請を支えるための分析ツールとしての開発を進めていく予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Islam Kamrul, Yokoi Ryosuke, Motoshita Masaharu, Murakami Shinsuke	4. 巻 183
2. 論文標題 Ecological footprint accounting of mining areas and metal production of the world	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 106384 ~ 106384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2022.106384	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 Islam Kamrul, Motoshita Masaharu, Murakami Shinsuke	4. 巻 15
2. 論文標題 Environmental Sustainability of Bricks in an Emerging Economy: Current Environmental Hotspots and Mitigation Potentials for the Future	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 5228 ~ 5228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su15065228	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 Boulay Anne-Marie, Drastig Katrin, Amanullah, Chapagain Ashok, Charlon Veronica, Civit Barbara, DeCamillis Camillo, De Souza Marlos, Hess Tim, Hoekstra Arjen Y., Ibdhi Ridha, Lathuilliere Michael J., Manzardo Alessandro, McAllister Tim, Morales Ricardo A., Motoshita Masaharu et al.	4. 巻 124
2. 論文標題 Building consensus on water use assessment of livestock production systems and supply chains: Outcome and recommendations from the FAO LEAP Partnership	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ecological Indicators	6. 最初と最後の頁 107391 ~ 107391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ecolind.2021.107391	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 該当する

1. 著者名 Pfister Stephan, Scherer Laura, Boulay Anne-Marie, Motoshita Masaharu, Nunez Montserrat, Damiani Mattia, Manzardo Alessandro, Huang Jing, Link Andreas, Bunsen Jonas, Berger Markus	4. 巻 825
2. 論文標題 Letter to the editor re: "The scarcity-weighted water footprint provides unreliable water sustainability scoring" by Vanham and Mekonnen, 2021	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 154108 ~ 154108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2022.154108	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 Islam Kamrul、Yokoi Ryosuke、Motoshita Masaharu、Murakami Shinsuke	4. 巻 183
2. 論文標題 Ecological footprint accounting of mining areas and metal production of the world	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 106384 ~ 106384
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2022.106384	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 Motoshita Masaharu、Pfister Stephan、Finkbeiner Matthias	4. 巻 54
2. 論文標題 Regional Carrying Capacities of Freshwater Consumption - Current Pressure and Its Sources	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Environmental Science & Technology	6. 最初と最後の頁 9083 ~ 9094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.est.0c01544	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 Arendt Rosalie、Bachmann Till M.、Motoshita Masaharu、Bach Vanessa、Finkbeiner Matthias	4. 巻 12
2. 論文標題 Comparison of Different Monetization Methods in LCA: A Review	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sustainability	6. 最初と最後の頁 10493 ~ 10493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/su122410493	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 該当する

1. 著者名 Motoshita Masaharu、Pfister Stephan、Sasaki Takahiro、Nansai Keisuke、Hashimoto Seiji、Yokoi Ryosuke、Islam Kamrul、Finkbeiner Matthias	4. 巻 196
2. 論文標題 Responsibility for sustainable water consumption in the global supply chains	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Resources, Conservation and Recycling	6. 最初と最後の頁 107055 ~ 107055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.resconrec.2023.107055	査読の有無 無
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 Islam Kamrul, Yokoi Ryosuke, Pastor Amandine, Motoshita Masaharu	4. 巻 43
2. 論文標題 Balancing water use and nutrition for crop production in a highly dense population - Bangladesh	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Sustainable Production and Consumption	6. 最初と最後の頁 389 ~ 399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.spc.2023.11.020	査読の有無 無
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25件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 16件)

1. 発表者名 Kamrul Islam, Ryosuke Yokoi, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Regional freshwater overconsumption induced by the agricultural crop production in a highly dense population setting
3. 学会等名 EcoBalance 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kamrul Islam, 横井峻佑, 本下晶晴
2. 発表標題 Agricultural crop production induces regional freshwater overconsumption: Perspective from a highly dense population setting
3. 学会等名 第50回環境システム研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kamrul Islam, 横井峻佑, 本下晶晴
2. 発表標題 Agricultural crop production induces regional freshwater overconsumption: Perspective from a highly dense population setting
3. 学会等名 EcoDePS2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kamrul Islam、横井峻佑、本下晶晴
2. 発表標題 Regional freshwater overconsumption induced by agricultural crop production: Case study from a highly dense population setting
3. 学会等名 第18回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Motoshita, M., Pfister, S., Finkbeiner, M.
2. 発表標題 Pressure on sustainability of freshwater consumption in global watersheds and the virtual water trade effects
3. 学会等名 icRS 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoshita, M., Pfister, S., Sasaki, T., Nansai, K., Hashimoto, S., Yokoi, R., Finkbeiner, M.
2. 発表標題 Responsibility for regional sustainability of water resources? Findings from the national water footprint analysis of Japan
3. 学会等名 The 10th International Conference on Life Cycle Management (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本下晶晴、Stephan Pfister、佐々木貴央、南斉規介、橋本征二、横井峻佑、Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 世界の流域の持続可能性に対する日本のウォーターフットプリントの責任
3. 学会等名 第49回環境システム研究論文発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoshita, M., Pfister, S., Finkbeiner, M.
2. 発表標題 Sustainability of freshwater consumption in global watersheds Pressure in supply chains and the effects of virtual water trade
3. 学会等名 EcoDesign 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Motoshita, M., Pfister, S., Finkbeiner, M.
2. 発表標題 Sustainability of freshwater consumption in global watersheds Pressure in supply chains and the effects of virtual water trade
3. 学会等名 World Water Congress XVII (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本下晶晴、Stephan Pfister、佐々木貴央、南斉規介、橋本征二、横井峻佑、Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 世界の水資源利用の持続可能性への責任 日本のウォーターフットプリント分析を事例として
3. 学会等名 第17回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jian Jin and Yasushi Kondo
2. 発表標題 Improving the uncertainty analysis of input-output models by considering the correlation between input coefficients
3. 学会等名 International Conference on Economic Structures 2022 (ICES 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Masaharu Motoshita, Stephan Pfister, Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 Global scale analysis on the regional carrying capacity of freshwater consumption and its exceedance
3. 学会等名 The 14th Biennial International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 本下晶晴、Stephan Pfister, Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 世界の流域における水資源利用の持続可能性とvirtual water tradeの影響
3. 学会等名 第16回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Responsibility of Japan for sustainable water use in the global supply chains
3. 学会等名 The 5th European Resources Forum (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本下晶晴、Stephan Pfister, Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 世界の流域における水資源消費の環境容量とその超過要因
3. 学会等名 第48回環境システム研究論文発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本下晶晴
2. 発表標題 世界におけるライフサイクル影響評価モデルの開発動向
3. 学会等名 令和2年度 LCA日本フォーラム LIME3活用検討研究会 成果報告会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaharu Motoshita, Keisuke Nansai, Seiji Hashimoto, Takahiro Sasaki, Stephan Pfister, Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 Key aspects in hotspots analysis of national environmental footprint - from application to the case of Japan -
3. 学会等名 LCM 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaharu Motoshita, Keisuke Nansai, Seiji Hashimoto, Takahiro Sasaki, Stephan Pfister, Matthias Finkbeiner
2. 発表標題 Environmental hotspots in global supply chains attributed to Japanese national activities
3. 学会等名 EcoDesign 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Proposed method from GLAM3 for assessing the impact of natural resource use at endpoint level
3. 学会等名 The 11th Australian Conference on Life Cycle Assessment (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名	Masaharu Motoshita, Kamrul Islam, Eleonore Pirrat, Stephan Pfister, Francesca Verones, Yuichi Iwasaki, Wataru Naito
2. 発表標題	Responsibility of Japanese economy for the impacts on aquatic ecosystems arising from induced water consumption in global supply chains
3. 学会等名	The 2023 International Conference on Sustainability, Environment, and Social Transition in Economics and Finance (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Masaharu Motoshita, Kamrul Islam, Eleonore Pirrat, Stephan Pfister, Francesca Verones, Yuichi Iwasaki, Wataru Naito
2. 発表標題	Responsibility of Japanese economy for the impacts on aquatic ecosystems arising from induced water consumption in global supply chains
3. 学会等名	International Conference on Economic Structures (国際学会)
4. 発表年	2024年

1. 発表者名	Kamrul Islam, Ryosuke Yokoi, Masaharu Motoshita
2. 発表標題	Sustainable freshwater consumption of the agricultural crop production in a highly dense population setting
3. 学会等名	SETAC Europe 33rd Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名	Kamrul Islam, Ryosuke Yokoi, Amandine Pastor, Masaharu Motoshita
2. 発表標題	Sustainable diet in a highly dense population setting: The balance of water use and nutrition
3. 学会等名	The 11th Australian Conference on Life Cycle Assessment (国際学会)
4. 発表年	2023年

1. 発表者名 Kamrul Islam, Ryosuke Yokoi, Amandine Pastor, Masaharu Motoshita
2. 発表標題 Sustainable diet in a highly dense population setting: The balance of water use and nutrition
3. 学会等名 EcoDesign 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 本下 晶晴、ISLAM Kamrul、南斉規介
2. 発表標題 日本のグローバルサプライチェーンを通じた水消費による生物多様性損失とその責任分析
3. 学会等名 第19回日本LCA学会研究発表会
4. 発表年 2024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	金本 圭一朗 (Kanemoto Keiichiro)  (20736350)	総合地球環境学研究所・研究部・准教授  (64303)	
研究分担者	小澤 暁人 (Ozawa Akito)  (20783640)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員  (82626)	
研究分担者	近藤 康之 (Kondo Yasushi)  (80313584)	早稲田大学・政治経済学術院・教授  (32689)	

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	横井 峻佑  (Yokoi Ryosuke)  (80849894)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・主任研究員    (82626)	
研究分担者	I s l a m K a m r u l  (Islam Kamrul)  (20945571)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・研究員    (82626)	

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0件

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			
スイス	ETH Zurich			
ドイツ	ベルリン工科大学	ライプニッツ研究所	欧州エネルギー研究所	
カナダ	CIRAIG	LIRIDE	ブリティッシュコロンビア大	他1機関
イタリア	FAO	EC Joint Research Center	パドバ大	
スウェーデン	ストックホルム環境研究所			