

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年5月20日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22310087

研究課題名（和文） 廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システムの構築

研究課題名（英文） Development of community-based sound material-cycle systems with energy linkage using waste and unused biomass

研究代表者

古市 徹 (FURUICHI TORU)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90127134

研究成果の概要（和文）：本研究は、我々が提唱してきた北海道バイオコミュニティ開拓構想（ABC開拓構想）を実現するために、石狩湾新港工業団地を対象に、廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システムの構築を行った。特に1)事業採算性を左右する生ごみ等バイオマスの収集量を統計的に推定し、事業可能なバイオガス化施設規模を決定するための手法を提示し、2)工業団地内でのエネルギー連携の改善方策を示した。

研究成果の概要（英文）：This study developed community-based sound material-cycle systems with energy linkage using waste and unused biomass at an industrial complex in Ishikari New Bay area, Hokkaido, Japan, to achieve Advanced Biomass Community Dream in Hokkaido (ABC community vision) that have been proposed by us. In particular, we proposed 1) a method for determining the capacity of biogas plant that affects the economic feasibility by estimating statistically the amount of biomass, such as kitchen and food wastes, collected from the studied area, and 2) a strategy for improved energy linkage in the industrial complex.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2012年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
年度			
総計	7,100,000	2,130,000	9,230,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム工学・安全システム

キーワード：バイオマス利活用、食品廃棄物、バイオガス化、事業化、エネルギー回収、動脈静脈連携、エネルギー効率、施設規模決定

1. 研究開始当初の背景

- (1) 3Rを通じた循環型社会の構築に向けバイオマスエネルギーの普及加速化が不可欠

特に、発生量の多い食品廃棄物（家庭系、事業系、産廃）、家畜排せつ物の資源化促進のためにも、これらバイオマスの収集も考慮した高効率エネルギー変換システムの構築

が求められている。

(2) 北海道バイオマスコミュニティ開拓構想

我々は、北海道バイオマスコミュニティ構想（Advanced Bio-Community Dream in Hokkaido, ABC 開拓構想）を提案している。コンセプトは、バイオマス（主に廃棄物系、未利用系）の利活用を実践するために、バイオリサイクル技術の研究開発、実機運転から、バイオリサイクル事業の起業、施設展開まで、技術とシステムが集積した総合基地を作ることである。北海道では、立地条件として空、海、大都市へのアクセスの良い、大規模な土地が確保可能である。バイオマス利活用推進のために、北海道は北海道バイオマスネットワーク会議を設けているが、申請者らもその会議に積極的に関わっており、ABC 開拓構想を提唱している。

(3) バイオガス化事業普及の伸び悩み解消の必要性

食品廃棄物や下水汚泥の廃棄物系バイオマスからエネルギー回収可能なバイオガス化システムの普及が期待されているが、①一定規模以上のバイオマスを収集する必要があること、②発電コストが高い割に売電単価が安いこと、事業採算性が悪いという問題があるため、なかなか普及が進んでいない。事業採算性がとれるシステム構築が望まれている。

2. 研究の目的

本研究は、我々が提唱してきた北海道バイオコミュニティ開拓構想（ABC 開拓構想）を実現するために、石狩湾新港工業団地を対象に、廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システムの構築を行う。特に 1)事業採算性を左右する生ごみ等バイオマスの収集量を統計的に推定し、事業可能なバイオガス化施設規模を決定するための手法を提示する。さらに 2)工業団地内でのエネルギー連携の改善方策を示す。

3. 研究の方法

(1) 廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システム

本研究が想定する石狩湾新港工業団地を対象に、廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システムを図 1 に示す。

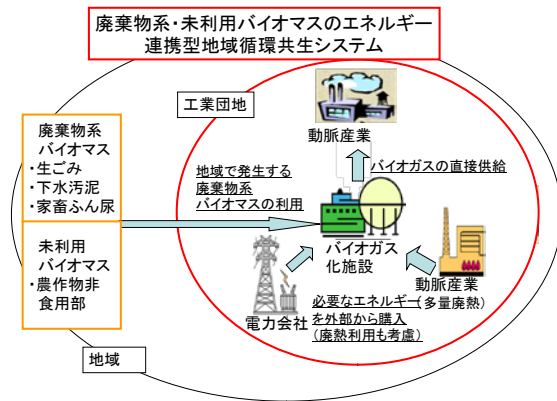


図 1 廃棄物系・未利用バイオマスのエネルギー連携型地域循環共生システム

(2) 2項ロジットモデルを用いた食品廃棄物収集量推定手法の提案と手順

食品廃棄物の収集量推定手法(Collectable Amount of Food Waste Estimation Method)を図 2 に示す。本手法の特徴は、①2段階の調査から 2 項ロジットモデルを構築、②そのモデルを用い算出した協力度から収集量を推定することにある。賦存量は、自治体の組成調査等の統計値やアンケート調査結果を用い算出する。2 項ロジットモデルは、「1. 協力する or 2. しない」の 2 つの選択肢間の問題において、事象の選択確率(本研究の協力度) P_{ij} と説明変数 X_{ij} (以下、特性変数)をロジスティック関数でリンクさせたモデルで、次のように表現される。

$$V_{ij} = a_1 X_{ij1} + a_2 X_{ij2} + \dots + a_n X_{ijn} \quad (1)$$

ただし、 V_{ij} : 個人 i が選択肢 j ($j=1,2$) から受ける効用の確定項、 a_n : n 番目の未知パラメータ

$$P_{i1} = \frac{e^{V_{i1}}}{e^{V_{i1}} + e^{V_{i2}}} = \frac{1}{1 + e^{-(V_{i1} - V_{i2})}} \quad (2)$$

(2)式より協力度 P_{ij} は効用差 $V_{i1} - V_{i2}$ に依存する。つまり、効用差に影響を与える影響要因を抽出し特性変数とすることが重要である。そこで、本手法では、①排出主体毎に分別排出協力の影響要因をアンケート調査から抽出し特性変数として決定、②その特性変数を用いて選好調査を行いパラメータの推定・検定を行う、という 2 段階の調査によって、より排出者の意向を反映した手法の提案を行った。

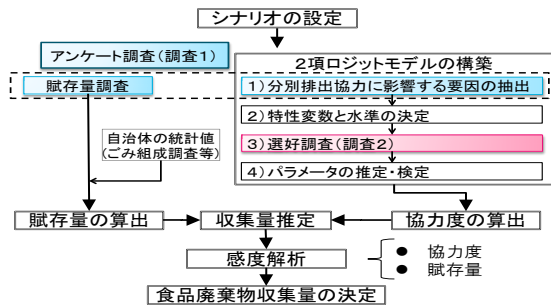


図2 食品廃棄物の収集量推定手法の提案

(2) 石狩湾新港地域における採算性を考慮した食品廃棄物バイオガス(BG)化施設規模決定手法

① 想定するシステム構成

図3のように、当該地域の食品廃棄物を受入れ、メタン発酵によりBGを回収する。BG利用方法として施設内必要熱量をガスボイラーで賄い、残りのBGはすべて精製しLNGプラントへ売ガスする場合(シナリオ1)と、すべてのバイオガスを発電し、FIT制度を想定して売電する場合(シナリオ2)の二つを想定した。

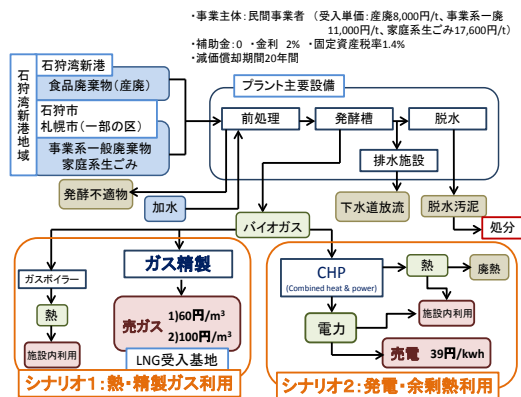


図3 想定するバイオガス化システム

② 事業採算性解析の方法

イニシャルコストの項目として「施設建設費」、「エネルギー変換設備費」、「パイプライ

ン施工費」を、ランニングコストの項目として、「メンテナンス費」、「人件費」、「電力購入費」、「ガス精製費」、「水道代」、「排水処理費」、「残渣処理費」、「一般管理費」、「支払金利」、「租税公課」を考慮し、イニシャルコストを「減価償却費」としたうえで、ランニングコストと減価償却費を合計して単年度の支出合計とした。収入の項目として「廃棄物処理料金」、「売ガス収入」、「売電収入」を設定し、現状を踏まえて図3のように設定した。なお、事業主体は民間事業者とし、施設整備にかかる補助金は無し、金利等の設定は図3に示した。そして、20年後の内部利益率(IRR)を算出した。なお、発電シナリオの発電効率は0.3で計算した。

4. 研究成果

(1) 選好調査によるパラメータの推定

アンケート対象は、石狩市(約6.1万人、約2.6万世帯)と札幌市(北区(約27万人、約13万世帯)、東区(約25万人、約12万世帯))の家庭と食品廃棄物排出事業者(小売業、飲食業、宿泊業、病院、福祉施設、学校)とし、抽出数は、石狩市で1000件、札幌市で1000件(北区500件、東区500件)とした。事業者に関しては、2010年版の「職業別デイリータウンページ札幌市北部(北区・東区)石狩地方版」より、小売業、飲食業、宿泊業、病院、福祉施設、学校と考えられる事業者の抽出を行った。抽出数は、石狩市で該当すると考えられる事業者数が365件だったため全て抽出し、札幌市の事業者は1000件(北区500件、東区500件)とした。

表1に札幌市及び石狩市の一般家庭及び事業者に行った調査によるパラメータ推定結果を示す。

(2) 収集量の推定と感度解析

別途求めた食品廃棄物等の賦存量に、表1と(2)式から求めた協力度を乗じて、図4のように収集量を推定した。収集量の推定結果と処理手数料に変化を与えた場合、及び分別精度として異物の多少の混入を認めた場合の収集量の変化を示した。

表1 家庭と事業者のパラメータ推定結果

	一般家庭			分別実施事業者(石狩+北区+東区)	石狩市分別未実施事業者			札幌市分別未実施事業者					
	石狩市	北区	東区		食リ法対象		食リ法対象外		食リ法対象		食リ法対象外		
	α				飲食+宿泊	小売	飲食+宿泊	小売	飲食+宿泊	フリベド収集	食リ法対象外		
収集回数	0.218	-	-	-	-	-	-0.677	-1.103 **	-	-	-		
ごみ袋の値段	-0.087 ***	-0.069 ***	-0.079 ***	収集回数	-	-	-	-	-	-	-		
収集方法	-	-0.353 **	-0.519 **	分別の精度	0.997 *	1.979 *	1.055 *	-	-2.750 ***	1.203	-1.279 ***	-0.731 ***	-1.480 ***
生ごみ保管庫への補助	0.630 ***	-	-	処理手数料	-	-	-0.050 **	-0.030 ***	-0.033	-	-0.019 *	-0.021 **	-
定数	-0.695 ***	-0.266 **	-0.308 **	食品廃棄物保管庫への補助	-	-	1.203 **	-	0.846	-	0.706 *	0.260	0.693 *
サンプル数	1182	778	526	定数	0.341	-0.321	-3.537 ***	-0.129	1.832	0.168	1.170 *	1.255 **	2.142 ***
ρ値(尤度比)	0.248	0.162	0.204	サンプル数	145	89	72	143	54	36	144	402	118
的中率	75.0	69.5	72.4	ρ値(尤度比)	0.407	0.568	0.183	0.318	0.393	0.227	0.123	0.182	0.134
	*:p<0.1, **:p<0.05, ***:p<0.01			的中率	84.8	89.9	70.8	69.1	81.5	72.2	66.0	72.9	68.6

*食リ法対象外:病院、福祉施設、学校

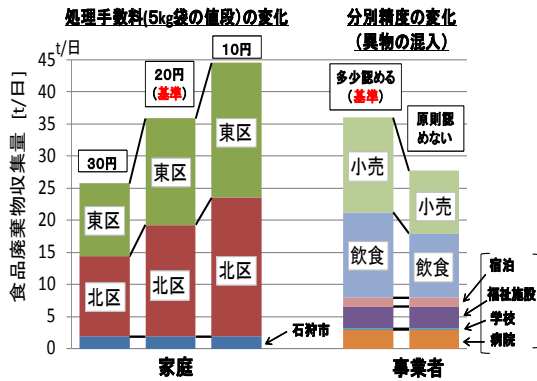


図4 収集量の推定と感度解析

(3) 事業採算性解析結果と考察

表2に売電と売ガスの場合について、各廃棄物受入量毎のIRRの計算値を示す。このように、廃棄物受入量及び受入単価、売電価格及び売ガス価格を地域特性に応じて設定し、事業成立する施設規模を決定できる。この場合はまず、処理料金が低い家庭系生ごみの受入量をできるだけ確保することが重要であり、24t/d 確保できれば食品廃棄物の受入は無くとも成立する。逆に家庭系生ごみの受入が無い場合には事業は成立しないことが分かる。

また、表3に各シナリオの5年目の収支内訳を示す(生ごみ 36t/d、食品廃棄物 36t/d 受入の場合)。売ガス価格など価格設定の仕方によって収支は大きく異なるが、この場合は売電よりも売ガスの方が収入は良いが、電気購入費とバイオガス精製費のために支出は大きくなる事が分かる。しかしながらエネルギー効率を考慮すると、近隣にLNGプラントなどの条件がそろった場合には、売ガス価格も含めてよりエネルギー効率の高いバイオガス利用方法を検討すべきことを示した。

表2 IRRの算出結果

	IRR (%)	家庭系生ごみ受入量 (t/d) (17,600円/t)			
		0	12	24	36
食品廃棄物(事業系)受入量 (t/d) (11,000円/t)	0	-	-6.40 (-10.04)	0.83 (-1.47)	3.37 (1.54)
	12	-	-2.39 (-5.44)	1.77 (-0.33)	3.88 (2.00)
	24	-7.55 (-11.69)	-0.26 (-2.92)	2.56 (0.59)	4.40 (2.45)
	36	-3.21 (-6.55)	1.11 (-1.28)	3.26 (1.32)	4.90 (2.89)

上部: 施設利用分を差し引いた電力を売電した場合 (39円/kwh)
 ()内: LNGプラントに精製ガスを売却した場合 (100円/m³)

表3 5年目の収支内訳

(生ごみ 36t/d、食品廃棄物 36t/d)

収入・支出(百万円)	売ガス	売電
収入合計	608	537
売電収入	0	158
売ガス収入	230	0
処理料金	379	379
支出合計	553	430
維持管理	44	39
人件費	20	20
電気購入費	39	0
バイオガス精製費	57	0
水処理費	13	13
発酵不適物処理費	13	13
汚泥処分費	152	152
一般管理費	2	2
減価償却費	137	123
金利	44	39
租税公課	31	28

また、電気の買取料金は20円/kwhと異なるが、図5のような線図を作成することにより、食品廃棄物の受け取り価格と量、売電や売ガスといった事業検討するときの因子に変化を与えて、事業採算性が成立する、事業を組み立てることが可能となった。

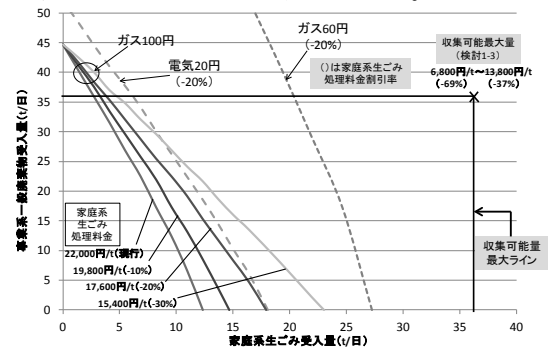


図5 事業採算性を満足する食品廃棄物(生ごみ含む)の最低受入量の関係

(4) 結論

- ①排出者の意向を反映するために2段階の調査を実施し、2項ロジットモデルを構築したところ、適合度の高いモデルの構築が行うことができた。
- ②収集量を確保に向けて排出者の協力度を向上させるためには、小売業・飲食業では「分別精度」、また、家庭では「処理手数料」が重要な要因であることを示した。
- ③廃棄物受入量及び受入単価、売電価格及び売ガス価格を地域特性に応じて設定し、事業成立する施設規模を決定する手法を開発した。
- ④LNGプラントとの連携による地域特性を活かしたバイオガス化システムの提案を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ①本間隆之、古市徹、石井一英、林地残材熱利用システムの事業規模の検討ー足寄町を対象とした熱需要構造調査に基づく考察ー、土木学会論文集 G、Vol.67-6、pp. II415-426、2011、査読有
- ②渡邊翔、古市徹、石井一英、石狩湾新港地域バイオガス化システムの事業化に向けた検討ー2項ロジットモデルを用いた食品廃棄物収集量推定手法の提案、土木学会論文集 G、vol.67-6、pp. II501-512、2011、査読有
- ③五島典英、古市徹、石井一英、谷川昇、動脈系・静脈系連携によるエネルギー循環のための廃棄物バイオガス化システムの提案ー石狩湾新港地域でのバイオガス直接利用システムの検討ー、土木学会環境システム研究論文集、Vol.38、pp.389-400、2010、査読有

〔学会発表〕(計20件)

- ① Kazuei Ishii, Toru Furuichi, Shintaro Watanabe, and Yu Tomokawa, A Study of Influencing Factors on Quality of Rice Straw Pellets, 28th International Conference on Solid Waste Technology and Management, 2013年3月11日, Radisson Plaza-Warwick Hotel Philadelphia, フィラデルフィア(米国)
- ② Yu-Chi Weng, Toru Furuichi, Kazuei Ishii, Sang-Yul Kim, Yuta Satake, Study of Reduction of Final Disposal Amount and GHG Emission by Waste Management Strategy for the Municipalities without Incinerators -Effectiveness of Recycling by Improved Separation of Kitchen Waste, Papers, and Plastics in Kitahiroshima City-, The Proceedings of 7th Asian-Pacific Landfill Symposium, 2012年10月9日, サヌールビーチホテル, バリ(インドネシア)
- ③友川 悠、古市徹、石井一英、金相烈、翁御棋、南幌町の稲わらペレットの発熱量に影響を及ぼす因子の実プラントによる検討、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月20日、和歌山大学、和歌山市
- ④佐竹佑太、古市徹、翁御棋、石井一英、金相烈、焼却に頼らない廃棄物処理による最終処分量と温室効果ガス排出量の低減化の検討ー北広島市ごみの分別回収の向上による資源化の効果ー、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月20日、和歌山大学、和歌山市
- ⑤眞部薫、古市徹、金相烈、石井一英、廃棄物系バイオマスの炭水化物、脂質、タンパク質の混合比に注目したメタン発酵特性の

実験的考察、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月20日、和歌山大学、和歌山市

- ⑥矢萩健太、古市徹、石井一英、翁御棋、地域特性と事業採算性を考慮した集中型家畜糞尿バイオガス化施設のシステム化の検討、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月20日、和歌山大学、和歌山市
- ⑦田中慧悟、古市徹、石井一英、翁御棋、北海道におけるバイオエネルギーの利用可能量の推計とその推進策の提案ー牛ふん尿と林地残材に着目してー、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月21日、和歌山大学、和歌山市
- ⑧大石千博、古市徹、石井一英、金相烈、牛ふん尿バイオガス化プラントへの食品廃棄物投入による混合発酵の安定条件の実験的検討、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月20日、和歌山大学、和歌山市
- ⑨坂本嵩延、古市徹、石井一英、翁御棋、金相烈、自治体生ごみバイオガス化施設からの熱供給と自動車燃料利用のシステム解析ー将来の法制度を想定した事業採算性評価ー、第40回環境システム研究論文発表会、2012年10月21日、和歌山大学、和歌山市
- ⑩Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Keigo Tanaka, Strategy for Growing the Availability of Biomass for Energy in Hokkaido, Asia Pacific Clean Energy, 2012年8月14日, ハワイコンベンションセンター, ホノルル(米国)
- ⑪Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Yu Tomokawa, Study on Influence of Heating Factors for Making Rice Straw Pellets at An Actual Plant In Japan, Asia Pacific Clean Energy, 2012年8月14日, ハワイコンベンションセンター, ホノルル(米国)
- ⑫Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Yukihiro Ooishi, Experimental Study on the Proper Loading Rate for Cofermentation in a Cow-manure Biogas Plant, 27th International Conference on Solid Waste Technology and Management, 2012年3月12日, Radisson Plaza-Warwick Hotel Philadelphia, フィラデルフィア(米国)
- ⑬S.Mori, T.Furuichi and K. Ishii, Development of Utilization Systems for Forest Residue in Hokkaido according to Japanese Strategy for Sustainable Society, Ravage of the Planet 2011, 2011年12月14日, マラ工科大学, シャーアラム(マレーシア)
- ⑭武部玲央、古市徹、石井一英、離島地域を組み入れた生ごみ地域循環システムの検討、第39回環境システム研究論文発表会、2011年10月23日、桜美林大学、町田市
- ⑮森俊介、古市徹、石井一英、金相烈、北海

道の林地残材利活用システムの持続可能社会に向けた検討、第 39 回環境システム研究論文発表会。2011 年 10 月 22 日、桜美林大学、町田市

⑩ 諏訪部力、古市徹、金相烈、石井一英、石狩湾新港地域における食品廃棄物のメタン発酵特性の考察、第 39 回環境システム研究論文発表会、2011 年 10 月 22 日、桜美林大学、町田市

⑪ 竹次豪太、古市徹、石井一英、北海道のリサイクル製品普及のための方策、第 39 回環境システム研究論文発表会、2011 年 10 月 22 日、桜美林大学、町田市

⑫ Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Takayuki Homma, Estimation of the Economic Capacity of the Pellet Plant For Heat Recovery in Ashoro Area in Japan, Bioenergy 2011, 2011 年 9 月 6 日、パピリオンセンター、ユバスキュラ（フィンランド）

⑬ Kazuei Ishii, Toru Furuichi and Syo Watanabe, Development of an estimation method for the collectable bio-wastes as inputs of regional biogasification systems, Twenty-Fifth International Conference on Solid Waste Technology and Management, 2011 年 3 月 28 日、Radisson Plaza-Warwick Hotel Philadelphia、フィラデルフィア（米国）

⑭ 五島典英、古市徹、石井一英、谷川昇、動脈系・静脈系連携によるエネルギー循環のための廃棄物バイオガス化システムの提案－石狩湾新港地域でのバイオガス直接利用システムの検討－、第 38 回土木学会環境システム研究論文発表会、2010 年 10 月 23 日、広島修道大学、広島市

〔図書〕（計 2 件）

① 古市徹、西則雄、バイオマス地域循環－再生可能エネルギーのあるべき姿－、環境新聞社、153 ページ、2012

② 古市徹監修、有機系廃棄物資源循環システム研究会編著、循環型社会の廃棄物系バイオマス－利活用事業成功のためのシステム化－、環境新聞社、180 ページ、2010

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ

<http://kanri-er.eng.hokudai.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

古市 徹 (FURUICHI TORU)

北海道大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90127134

(2)研究分担者

石井 一英 (ISHII KAZUEI)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：70292050

翁 御棋 (WENG YU-CHI)

北海道大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：00612780

(H23 年度～H24 年度)

(3)連携研究者

なし