

令和 5 年 5 月 31 日現在

機関番号：17501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22124

研究課題名（和文）耐久財の経済寿命の変化がカーボンフットプリントに与える影響の実証分析

研究課題名（英文）A framework for analyzing car lifetime effects on carbon footprint of automobiles

研究代表者

中本 裕哉（Nakamoto, Yuya）

大分大学・経済学部・准教授

研究者番号：10881881

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動車の物理的寿命（PHL）と新車・中古車の保有寿命（POL）の変化が、自動車のストック、フロー、カーボンフットプリント（CF）に与える影響を推定するためのフレームワークを提案した。本フレームワークを1990年から2016年に日本で登録された新車と中古車に適用した結果、自動車のPHL、新車のPOL、中古車のPOLを10%延長すると、自動車のCFがそれぞれ30.7Mt、26.4Mt、5.2Mt減少することが明らかになった。結果から、新車や中古車の寿命の延長は、温暖化の緩和に大きく貢献することが示された。排出削減を実現するために、自動車寿命の延長に注力するべきである。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は次のとおりである。

- （1）自動車のPHLと新車・中古車のPOLを組み合わせることで、新車の生産、新車・中古車の使用、新車から中古車、中古車から中古車への買い替え、新車・中古車の廃棄を考慮した自動車の総合的な製品ライフサイクルをモデル化している
- （2）自動車のカーボンフットプリントを、自動車の総合的な製品ライフサイクルを考慮した上で分析できる新しい枠組みと方法を開発している。

研究成果の概要（英文）：This study proposes a new framework for estimating the effects of changes in the physical lifespan (PHL) of cars and the possession lifespan (POL) of new and used cars on stock, flow, and carbon footprint (CF). Applying this framework to all new and used cars registered in Japan from 1990 to 2016 showed that a 10% extension of the PHL of cars reduced the CF of cars by 30.7 Mt, while a 10% extension of the POL of new cars reduced the CF of cars by 26.4 Mt, and a 10% extension of the POL of used cars produced a 5.2 Mt CF reduction. On the other hand, a 10% lifetime reduction in the three cases increased CF by 42.2 Mt, 29.4 Mt, and 6.0 Mt, respectively. These results indicate that increasing the lifetime of new and used cars could contribute significantly to the mitigation of global warming. To achieve a large reduction in life cycle emissions, car designers should focus on ways to extend vehicle lifetimes.

研究分野：環境経済学

キーワード：カーボンフットプリント 乗用車 ライフサイクルアセスメント 物理的寿命 経済的寿命 産業エコロジ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1 . 研究開始当初の背景

2017 年における世界全体での CO₂ 排出量を部門別にみると 25% が運輸部門である。これは発電部門に次ぐ 2 番目の大きさであり、運輸部門の排出責任は高い。しかし、これまでの自動車部門のカーボンフットプリント(CF)分析では、寿命分布に従って抹消登録された現行車は全て廃車扱いされているため、中古車販売に伴う直接的 CO₂ 排出、新車と中古車の輸出先国における走行時および廃棄時の CO₂ 排出を評価できていない。

製品寿命は、製品のストックとフローを決定する重要なパラメーターである。寿命関数を用いることで、製品のストックとフローを考慮した動的なライフサイクル分析(LCA)を実施することができる。製品寿命は、製造から廃棄までの生存期間に関する物理的寿命と、購入から買い替えまでの保有期間に関する経済的寿命の二つに大別することができる。例えば Oguchi and Fuse (2015) は、2008 年における日本のガソリン乗用車の物理的寿命の平均は 13.3 年と推定した。一方で、乗用車の市場動向調査(2009)は、2008 年における日本の新車乗用車の経済的寿命の平均は 7.2 年であると報告している。

物理的寿命の自動車ライフサイクル分析への適用例としては、Lenski et al. (2010) や Kagawa et al. (2013) が挙げられる。Lenski et al. (2010) は、2009 年に米国で導入された自動車買い替え政策(cash for clunkers)は、4.4 Mt の排出削減効果があったことを明らかにした。また、Kagawa et al. (2013) は、エコカー補助金制度による排出削減効果を示すため、補助金制度の下で自動車が一斉に買い替えられる場合のライフサイクル排出量と、補助金制度がなく物理的寿命分布に従って自動車の買い替えが行われる場合のライフサイクル排出量を比較した。結果から、補助金制度による削減効果は認められるものの、より効果的な排出削減には買い替えの対象となる自動車の燃費や車齢に焦点を当てる必要があるとしている。

このような物理的寿命に基づく買い替え行動分析は、物理的寿命の定義に基づく、政策によって買い替えられた製品が全て廃棄される時、かつその時に限り有効である。しかし、政策によって本来よりも早期に買い替えられた自動車は、当該製品の価値を評価する消費者がいる限り、廃棄場ではなく中古車市場に向かうだろう。製品の買い替えを物理的寿命でモデル化してしまうと、寿命分布に従って抹消登録された製品は全てスクラップとして扱われてしまう。すなわち、廃棄を伴わない買い替えを物理的寿命でモデル化してしまうと現実と分析モデルとの間には大きなギャップが生じる。

2 . 研究の目的

研究の目的は、自動車の物理的寿命 (PHL) と新車・中古車の保有寿命 (POL) をそれぞれ推計し、組み合わせることで当該製品が中古品として社会に生存していく様子をモデル化し、外生的な耐久性を考慮した新品・中古品に関する買い替え行動を組み込んだ包括的な CF の分析手法を開発する、ことである。さらにケーススタディとして、日本における 1990 年から 2016 年までに販売された新車に由来する新車および中古を対象に、PHL、新車の POL、中古車の POL の変化が新車と中古車のストックとフロー、自動車の CF に与える影響を分析する。最後に脱炭素社会の実現に向けて、自動車の製品寿命に注目した CF 削減政策を議論する。

3 . 研究の方法

(1) 自動車の物理的寿命と新車・中古車の保有寿命

本研究は、既存研究(e.g., Kagawa et al., 2011)に従って、PHL は Weibull 分布に従うと仮定する。次いで、また、既存研究(e.g., Uchida et al., 2019)に従って、新車と中古車の POL は、レイリー分布に従うと仮定する。新車保有者と中古車保有者は異なる POL に従うことに注意されたい。従って、新車保有者と中古車保有者は自動車購入から買い替えまでの行動が異なる。本研究は、さらに、製品に関する技術的要因を含んだ物理的寿命分布と消費者に関する経済的要因を含んだ経済的寿命分布はそれぞれ互いに独立であると仮定する。

(2) 買い替え経路行列

POL に関する寿命分布を用いることによって、1 台の特定の自動車に関する買い替え経路を特定化することが可能である (図 1)。また、買い替え経路の選択確率を用いることで、自動車保有者の移転確率を計算する。さらに、PHL に関する寿命分布と自動車保有者の移転確率を組み合わせることによって、新車と中古車のストックとフローを推計する。

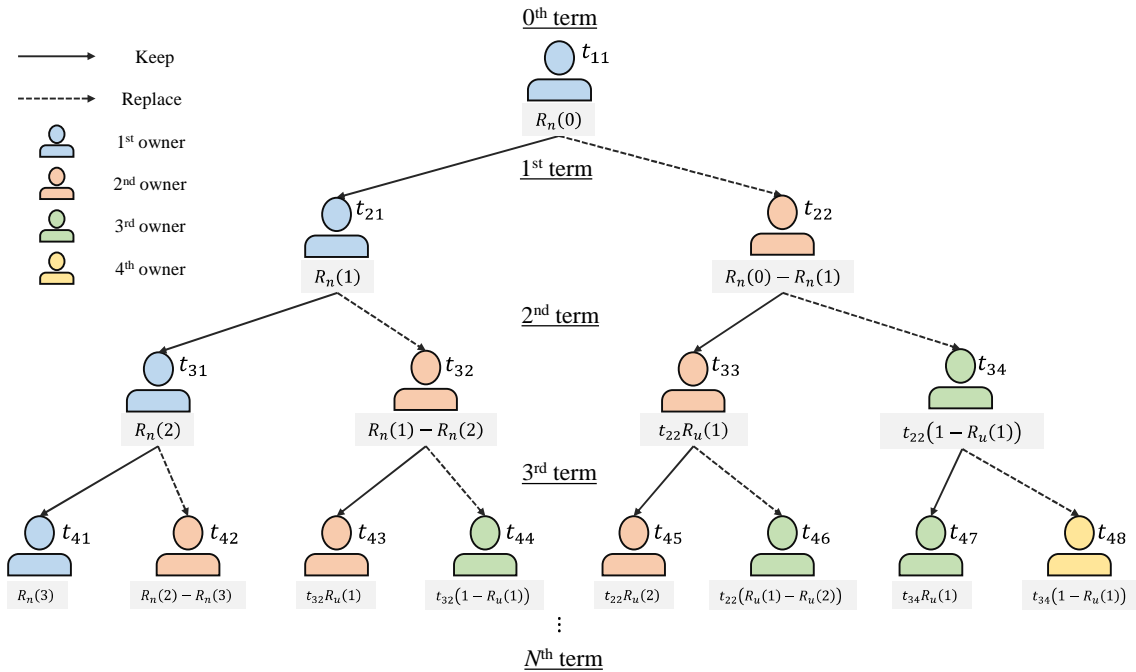


図 1: 買い替え経路のイメージ図

(3) ライフサイクル CO₂ 排出量

自動車の経済的寿命と動的ストック・フローモデルに基づいて、年間自動車販売台数から、分析期間における自動車の保有台数、廃棄台数を推計する。自動車のライフサイクル CO₂ 排出量を計算するための排出原単位は、Kagawa et al. (2011)および Nansai et al. (2012) から入手する。本研究におけるシステム境界は、新車製造に付随する財・サービスの生産(資源採掘や部品製造を含む); 生存している自動車によって消費されたガソリンの精製 (well-to-tank); 生存している自動車によって消費されたガソリンの燃焼 (tank-to-wheel); 中古車の小売における直接間接的なライフサイクル CO₂ 排出量; 車の廃棄における直接間接的なライフサイクル CO₂ 排出量とする。新車販売台数と廃棄台数に、それぞれの排出原単位を乗じることで、自動車の製造起源と廃棄起源の排出量を推計する。

4. 研究成果

(1) 自動車のストック・フロー

図 2a と図 2b は、日本において 1990 年から 2016 年の間に新規に販売された車に由来する新車および中古車の保有台数をそれぞれ示している。図 3a と図 3b におけるベースラインでは、2016 年における保有台数は 60.0 百万台 (41.9 百万台 (新車) + 18.0 百万台 (中古車)) である。2005 年を過ぎると、新車の保有台数は約 42 百万台、中古車の保有台数は約 18 百万台に収束している。この理由の一つは、2005 年以降、ベースラインに関して、新車の販売に伴う保有台数の増加分と旧型車の廃棄に伴う保有台数の減少分との間のギャップが急速に小さくなってきているためである。

分析対象期間に生存している車の PHL の 10% の延長は、2016 年における新車の保有台数を 2.6 百万台減少させる一方で、2016 年における中古車の保有台数を 2.6 百万台増加させる (図 2a)。PHL の延長は、本来廃棄されていた旧型車をより長く社会に生存させるので、それは、新車の買替需要を減少させるだけでなく、中古車の保有機会をより多く創出する。

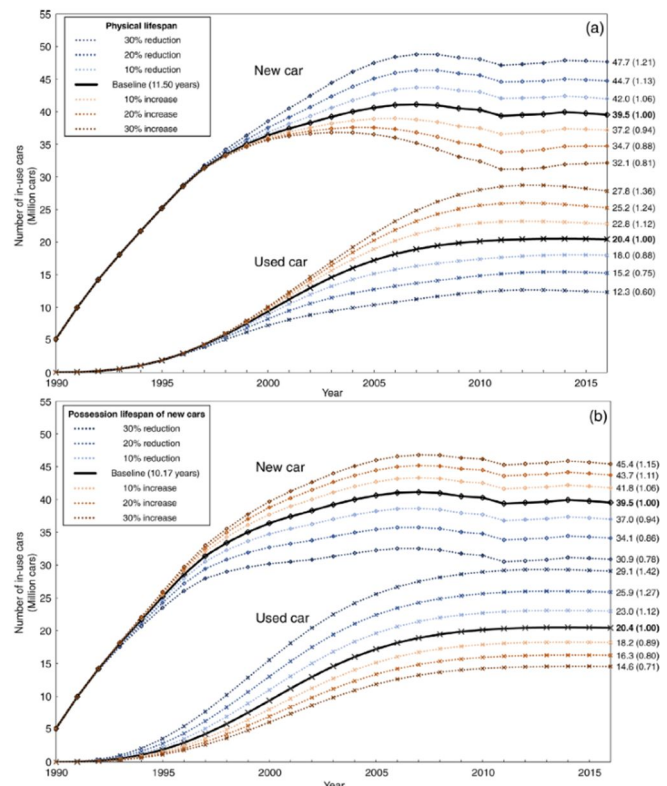


図 2: 寿命シナリオ別の保有台数

同様に、分析対象期間に新規登録された車の 10% の POL の延長は、2016 年において新車の保有

台数を 2.6 百万台増加させる一方で、中古車の保有台数を 2.6 百万台減少させる(図 2b)。言い換えれば、この結果は、新車の POL の延長を通して、より多くの新車が新車保有者によって長期間保有され続ける結果、多くの新車が中古車市場に流れる前に廃棄されることを示している。中古車の POL の変化は中古車の保有台数に影響しない。なぜなら、中古車保有者間(e.g., 第二保有者から第三保有者へ)の所有権の移転は中古車の保有台数に影響しないためである。

(2) 自動車のカーボンフットプリント

図 3 は 1990 年から 2016 年までに新規に登録された車に由来する年間の CF と分析期間の累積の CF をそれぞれ示している。2016 年の年間の CF は 118Mt であり、当該年における日本全体の GHG 排出量(1,350 Mt)の 8.7%を占めている(Ministry of the Environment, Japan, 2018)。2009 年と 2011 年における CF の減少は、それぞれ経済危機と東日本大震災による消費活動の冷え込みに由来する新車販売台数の減少が引き起こした。1990 年代前半は製造時の排出が支配的であるが、年間 CF が 150 Mt のピークを迎える 2006 年以降は、新車と中古車の走行時の排出が大きな割合を占めている。

図 3 の左上に示される 1990 年から 2016 年までの累積 CF を見ると、新車による走行時のガソリン燃焼に伴う排出が 1,404 Mt (43.9%)、新車の製造時の排出が 764 Mt (23.9%)であり、その両方の排出量の合計は全体の累積排出量の 67.8%を占めている。走行起源の間接的な排出(well to tank, 例えば、ガソリン精製なども累積 CF では全体の 16.1%を占める。このように、車の内燃機関の向上だけでなく、ガソリンの調達におけるグリーンサプライチェーンの確保や燃料精製時の環境負荷の削減も重要である。中古車の小売に付随する累積の CO₂ 排出は 30 Mt (1%)と極めて小さい。この結果は、耐久財の現行の CF 分析に中古車の買い替え行動を組み込むことの重要性を否定していない。なぜなら、我々は、中古車の寿命分布を推計することによって、中古車が社会に生存している様子をモデル化し、車の PHL と POL のそれぞれの変化が自動車の CF に与える影響を推計することができる。

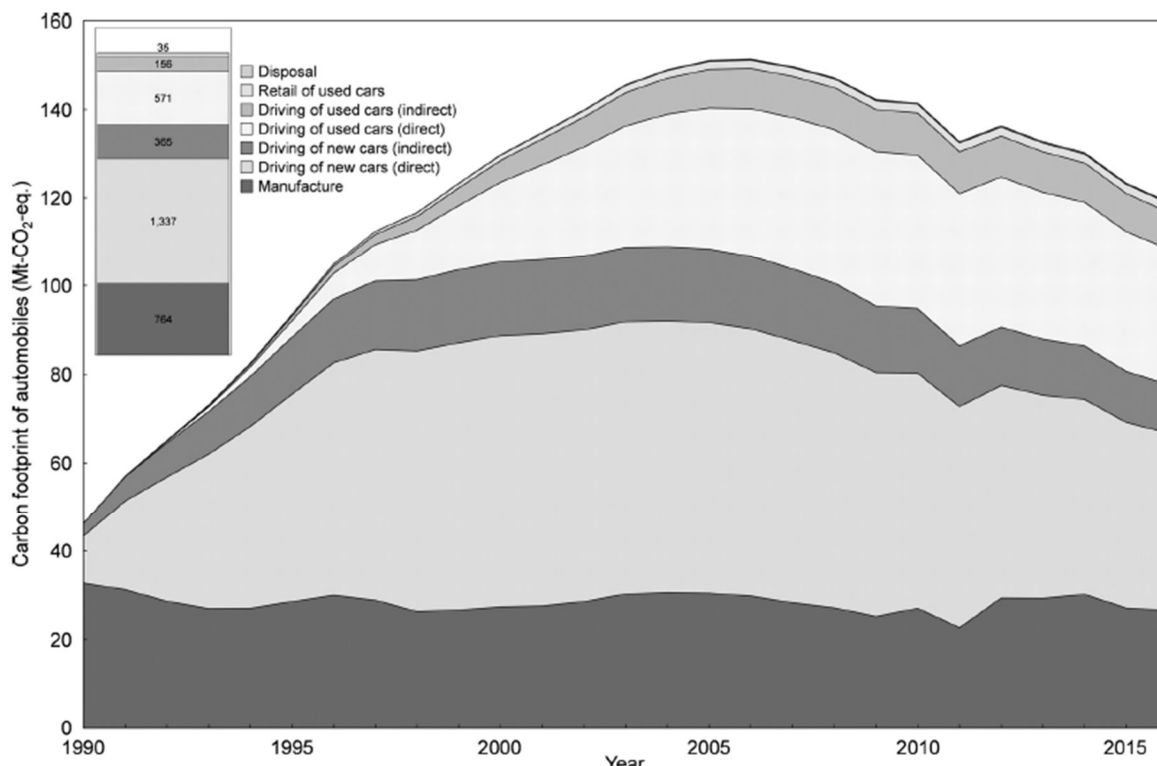


図 3: 自動車の年間カーボンフットプリント

(3) シナリオ分析

PHL 分布によって示される累積生存率の変化(すなわち, PHL scenario)と POL 分布によって示される累積保有率の変化(POL scenario)による新車と中古車の販売台数, 保有台数の変化を通じた CF への影響を分析する。図 4 は、6 つのシナリオ((a) +10% of average PHL, (b) -10% of average PHL, (c) +10% of average POL of new cars, (d) -10% of average POL of new cars, (e) +10% of average POL of used cars, (f) -10% of average POL of used cars)における CF とベースラインにおける CF をライフステージごとに比較し、排出削減は負、排出増加は正の値でそれぞれ示されている。

PHL の変化は、製造時、新車と中古車の走行時の CF に影響を与える。図 4a では、PHL の短縮によってより多くの運転者が燃費の悪い旧型車から燃費の良い新車へと乗り換えたため新車走行起源の排出は 72Mt(直接 56Mt+間接 15Mt)増加するが、中古車走行起源の排出は 88Mt(直接 69Mt+間接 19Mt)削減し、走行起源の排出量は全体で 16Mt 削減する。一方で、より多くの新車製造に起因する製造時の排出増加によって走行起源の削減量は打ち消されている。結果として、PHL の 10%短縮は累積 CF を 41Mt 増加させる。

新車の POL 短縮はベースラインと比較して、新車走行起源の排出を 89Mt (直接 70Mt+間接 19Mt)削減させる一方で、中古車走行起源、中古車取引起源の排出をそれぞれ 114Mt(直接 89Mt+間接 24Mt), 5Mt を増加させる(図 4c)。新車の POL 短縮を通じた中古車走行起源の排出増は、2 つの要因に由来する。1 つ目の要因は、新車保有者が減少して中古車保有者が増加したためである。2 つ目の要因は、先述した通り、新車から中古車へのより多くの買い替えに伴って、買い替えられた車の生涯走行距離が相対的に増加したためである。PHL の短縮と同様に新車の POL の短縮は累積 CF を 29Mt 増加させる。

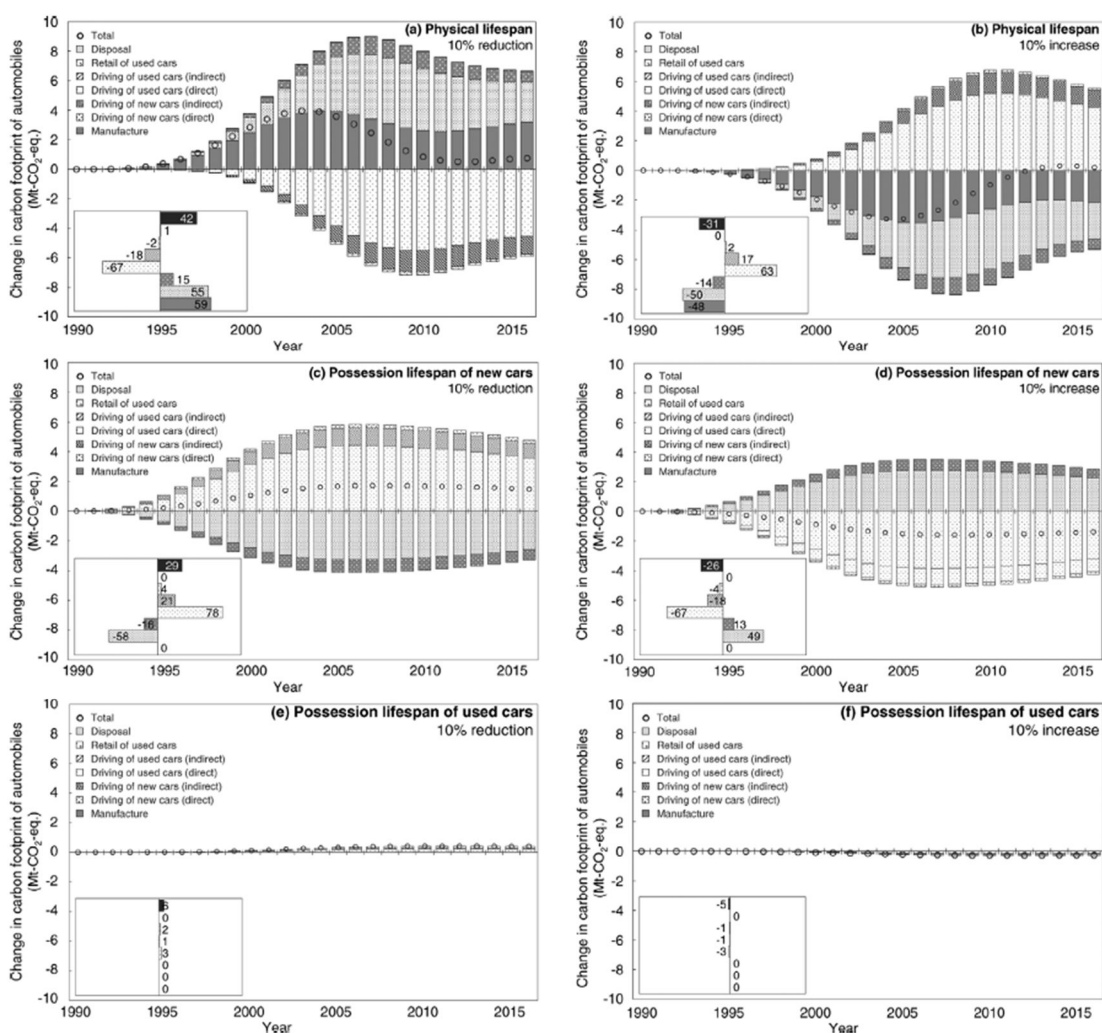


図 4: カーボンフットプリントの変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Nakamoto Yuya, Kagawa Shigemi	4. 巻 26
2. 論文標題 A generalized framework for analyzing car lifetime effects on stock, flow, and carbon footprint	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Industrial Ecology	6. 最初と最後の頁 433 ~ 447
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jieec.13190	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3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 中本裕哉
2. 発表標題 自動車の経済的寿命がカーボンフットプリントに与える影響の実証分析
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 Yoshizawa Daisuke, Kagawa Shigemi, and Nakamoto Yuya
2. 発表標題 CO2 Reduction Potential of Expanding Car Sharing Services: The Case of Japan
3. 学会等名 The 28th International Input-Output Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yoshizawa Daisuke, Nakamoto Yuya, and Kagawa Shigemi
2. 発表標題 CO2 Reduction Potential of Car Sharing Services Considering Used Car Market
3. 学会等名 The 15th Biennial International Conference on EcoBalance (国際学会)
4. 発表年 2022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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------