

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：17601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26550113

研究課題名(和文) モンゴル国における自動車廃蓄電池の利用実態と再活用の可能性に関する研究

研究課題名(英文) A study on the actual use states and the possibility of reuse of waste lead acid battery in Mongolia

研究代表者

戸敷 浩介 (TOSHIKI, KOSUKE)

宮崎大学・地域資源創成学部・准教授

研究者番号：00542424

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、日本の中古ハイブリッド車輸入がモータリゼーションを支えるモンゴル国において、ニッケル水素蓄電池及び鉛蓄電池の潜在発生量を推計した。また、現在の使用済み鉛蓄電池による環境汚染について、その有無や分布などの現状を調査した。その上で、現地の研究機関と共同で、今後のモンゴル国における自動車用廃蓄電池の、適切な回収方法や再活用手法などについて議論した。

研究成果の概要(英文)：In this study, our research group estimated the potential generation of waste Ni-MH battery and lead acid battery in Mongolia where the motorization is based on the import of used hybrid cars from Japan. Moreover, we investigated the current status of environmental lead pollution and distribution by waste lead acid battery. Considering these results, we discussed about an appropriate reuse and recycling route and method of waste Ni-MH and lead acid battery with the researchers in Mongolia.

研究分野：環境科学

キーワード：ニッケル水素蓄電池 鉛蓄電池 モータリゼーション 国際資源循環 環境汚染 ハイブリッド自動車

1. 研究開始当初の背景

日本で自動車リサイクル制度が施行された 2005 年以降、開発途上国のモータリゼーションの影響もあって、日本の中古車が大量に輸出されてきた。日本における中古車オークションにてヒアリングしたところ、特に海外の寒冷地では、氷点下の気温でも始動がスムーズであることなどから、中古のハイブリッド車の輸入が増加していることが分かった。そこで、本研究を開始する前年の 2013 年に、報告者らがモンゴル国において現地調査を行ったところ、寒冷地であることに加えて輸入ガソリン価格が急騰していること、ハイブリッド車であればエコカーとして減税対象(当時)であったことから、古い年式の中古ハイブリッド車の需要が高まっていた。

日本の中古ハイブリッド車に搭載されているニッケル水素蓄電池は、レアアースが使用されており、日本にとっては希少資源という側面がある。ニッケル水素蓄電池からのレアアース回収技術やリユース、リサイクル技術に関しては、産学で盛んに研究されていたが、中古ハイブリッド自動車そのものが海外輸出されるため、日本国内の大手メーカーは、国内で使用済みニッケル水素蓄電池を年間 6 千台程度しか回収できていなかった。

一方、ハイブリッド車を含む自動車のほとんどに搭載されている鉛蓄電池に着目すると、モンゴル国では遊牧民やゲル地区(水道や舗装路などのインフラが未整備の地区で、電力網にも接続していないことが多い)の住民が、自家用太陽光発電パネルと鉛蓄電池を組み合わせて、夜間照明やテレビ、ラジオなどに電力を利用していた。しかし、鉛蓄電池の回収・リサイクルルートが確立されていなかったため、劣化した鉛蓄電池は、草原に放置されたり、ごみ捨て場を経由して埋立地に運ばれるケースがあった。モンゴル国の主力産業である畜産業は、草原で家畜を放牧し、季節によって移動する遊牧である。家畜は、草原だけでなくごみ捨て場や埋立地も餌場としているため、高濃度の鉛にばく露するリスクがあると考えられた。

以上をまとめると、日本からモンゴル国に輸出される中古自動車由来の使用済み蓄電池は、ハイブリッド車のニッケル水素蓄電池と、ハイブリッド車を含む自動車用鉛蓄電池があり、いずれもモンゴル国内で使用済みとなって廃棄されることになる。これは、「希少資源の流出」と「環境負荷の輸出」の二つの側面を持っており、省資源国である日本の資源回収と、経済成長を遂げつつある開発途上国の環境汚染抑制を相互補完的に達成するような、持続可能な資源循環を構築する必要があると考えられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、日本からモンゴル国に輸出される中古自動車由来の使用済み蓄電池の潜在発生量を明らかにする。また、劣化

した鉛蓄電池による環境影響を把握するとともに、今後発生量増加が予想されるニッケル水素蓄電池の再活用方法、資源回収方法などについて明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

研究開始当初の研究方法は、以下の通りであった。

まず、日本の中古車輸出等の統計データの収集・分析と中古車輸出業者等へのヒアリング調査による、日本からモンゴル国への普通自動車及びハイブリッド自動車輸出量の把握を行う。

次に、モンゴル国内における登録自動車データの収集・分析、輸入中古車市場等におけるヒアリング調査、遊牧民らへの鉛蓄電池使用状況に関するヒアリング調査による、モンゴル国内の自動車用蓄電池の発生量の推計を行う。

更に、遊牧民や埋立地でのヒアリング調査等による、モンゴル国内における鉛蓄電池の再活用、廃棄状況の把握と、土壌や植物、家畜の血液のサンプリング・鉛含有量の分析による、鉛汚染の有無とその分布の把握である。サンプリングした試料は、現地で電子炉を用いて灰化し、日本に持ち帰って硫化ナトリウム比色法により、鉛の濃度を分析する予定であった。

最後に、モンゴル国で発生する使用済み蓄電池の回収・再活用手法に関して、日本及びモンゴル国の研究者らとのディスカッションを通じて検討し、廃蓄電池の循環システムのビジョンを提示する。

ただし、当初計画から状況が変わり、計画通りに進められないところもあった。

まず、モンゴル国の登録自動車データについて、2013 年当時は整備されていた統計データが、2014 年以降の組織改編等で、入手が困難になったことである。これにより、特にハイブリッド車数を統計データから把握することが出来なくなった。そこで、市街地における交通量調査、中古車市場における車種別販売量調査、市場の駐車場等における車種別駐車数調査などを行い、首都ウランバートル市における自動車登録台数に対するハイブリッド車のおおよその割合を把握することにした。なお、日本の貿易統計では 2017 年 1 月から電動車(ハイブリッド車、プラグインハイブリッド車、電気自動車)を発表し始めているが、それまでは日本の統計データからもハイブリッド車輸出台数を把握することは出来なかった。

次に、本研究を開始した 2014 年に入ってから、首都ウランバートル市では劣化した自動車用鉛蓄電池を回収する業者が現れたことである。研究初年度の 2014 年夏季調査において、モンゴル国内の研究者や遊牧民らへ

のヒアリング調査を行ったところ、劣化した鉛蓄電池を回収し、ウランバートル市郊外でリサイクルが行われ始めた。このため、当初は鉛蓄電池の不法投棄による草原や埋立地などでの汚染の可能性を想定していたが、結果的に鉛蓄電池の回収・リサイクル拠点の周辺を中心に、鉛濃度の分布を調査することになった。

なお、モンゴル国立農業大学獣医学研究所の研究者らの協力を得ることになり、鉛濃度の測定は現地において原子吸光分析法を用いて行うことにした。

4. 研究成果

本研究の成果の概要は、次の通りである。

まず、日本の統計データ、モンゴル国の税関データ等から、日本 モンゴル国間の輸出自動車数やモンゴル国内のモータリゼーションの全容について把握した。

モンゴル国の登録自動車数は、図1に示すように、年式が10年以上の古い自動車を中心である。更に、図2に示すように、2000年頃は韓国車が中心であったが、近年は日本車が輸入中古車の7~8割を占めている。

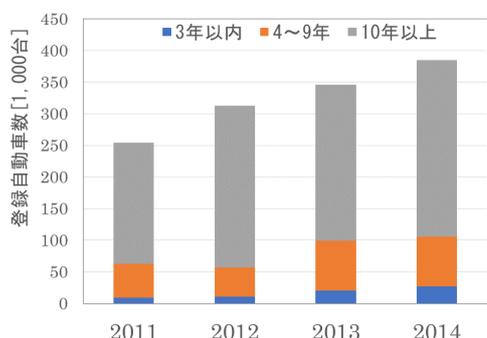


図1 モンゴル国の年式別自動車登録台数の推移¹⁾

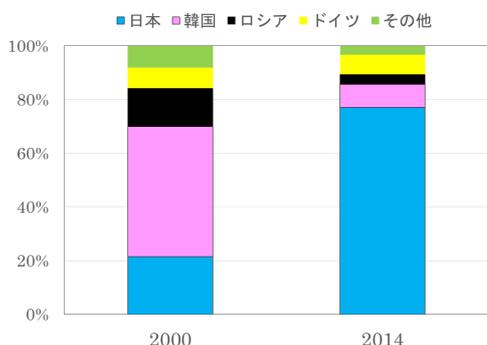


図2 モンゴル国の輸入中古車の輸入元割合の推移²⁾

更に、2005年から2014年までの日本からの輸入中古車台数の推移と、ハイブリッド車が占める割合について、図3に示す。2011年以降、ハイブリッド車の占める割合が高まっている。1990年代後半に登場したハイブリッ

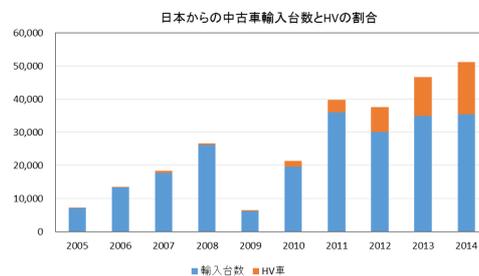


図3 日本からの輸入中古車数の推移とハイブリッド車の割合³⁾

ド車が、2000年代に日本国内の自動車市場に普及し、2010年代にはそれらの買い替え等で中古車市場にハイブリッド車が流出し、中古車オークションを通じてモンゴル国に輸出されるようになった。

本研究グループが、2015年にモンゴル国の首都ウランバートル市の市街地における交通量調査、駐車場に駐車されている自動車の車種別台数調査などを行った結果、首都ウランバートル市で走行する自動車の約3割が、ハイブリッド車という結果になった。ただし、モンゴル国で走行するハイブリッド車は年式が古いものが多く、ハイブリッドシステムの機能が正常に作動していない状態でも、使用されているハイブリッド車がある。この場合、ニッケル水素蓄電池は動作しなくても、交換はされず、普通自動車と同様に使用され、走行性能が終わる時点で廃車となり、ニッケル水素蓄電池もその際に使用済み蓄電池として排出される。

輸入された中古ハイブリッド車について、10年以上の年式のものを用いた割合で推計すると、2011年約3,200台、2012年約7,500台、2013年約10,500台、2014年14,500台と推移することになる。これらが5年前後で廃車となると仮定すれば、2016年以降、同程度の数の使用済みニッケル水素蓄電池が排出されていることになる。

本研究グループの現地調査(2014~2016年)では、モンゴル国の廃車処理は手解体が中心で、多くの部品が中古部品市場に出されていたが、再生技術等がない使用済みニッケル水素蓄電池については、解体業者等が保有・保管している状態であった。

一方、鉛蓄電池については、前述のように2014年頃から回収・リサイクル業者が現れ、大きく事情が変わってきていることが分かった。特に、ウランバートル市郊外のナライ八区の草原では、鉛蓄電池を回収・破碎し、精錬する工場が操業し始めている。ただし、2014年夏季調査では、この工場は毎日稼働しているわけではなく、精錬は短期間で行われていることが分かった。また、ヒアリング調査では、この工場が操業し始めてから、周囲の遊牧民や畜産農家の家畜の不審死や健康

被害が発生している。2015年に行ったヒアリング調査では、1年の間に行政から操業停止措置が取られているが、工場は使用済み鉛蓄電池が一定量集まってから、短期間で精錬を行っているため、管理・監督が困難であることが分かった。

そこで、2014年9月にこの工場周辺を含め、ウランバートル市内外計26か所の表層土壌を採取し、重金属汚染の現状を調査した。採取した土壌は、24時間風乾後、2mmのふるいを用いて小枝や小石などを除去し、土壌試料とした。その後、試料1gを1Mの硝酸10mLに入れて300rpmで200分間攪拌し、溶出液中の鉛の濃度を、原子吸光分析法を用いて測定した。なお、鉛精錬工場があるナライハ区については、鉛の他に、ヒ素、カドミウム、セレン、ニッケルについても濃度を測定した。結果を表1に示す。

表1 ウランバートル市内外の表層土壌における重金属濃度の測定結果

No	サンプリング地点の概要	Pb (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)
0	バスターミナル	51.3	-	-	-	-
1	Shargamoritの不法投棄場所	46.0	N.D.	25.6	0.504	N.D.
2	Halaastの自動車整備工場	144.5	-	-	-	-
3	Dari Elkhのゲル地区	98.8	-	-	-	-
4	自動車整備工場	182.1	-	-	-	-
5	自動車整備工場	397.1	-	-	-	-
6	Da Khuree 中古車市場	386.5	-	-	-	-
7	Da Khuree 中古車市場	158.1	-	-	-	-
8	Uguumur 自動車中古部品市場	236.6	-	-	-	-
9	Nalaikh 区	47.7	N.D.	10.4	0.596	N.D.
10	大規模な不法投棄場所	91.7	N.D.	39.4	3.681	N.D.
11	大規模な不法投棄場所	46.0	0.50	32.8	2.396	N.D.
12	プラスチックリサイクル工場	118.8	N.D.	20.1	0.331	N.D.
13	大規模工場	24.1	N.D.	36.6	N.D.	N.D.
14	大規模工場前の水たまり(水)	31.2	N.D.	33.5	0.110	N.D.
15	大規模工場前の水たまり(泥)	545.6	0.50	20.2	0.871	N.D.
16	Honhor湖付近の溜めた水たまり	34.8	N.D.	12.0	1.835	N.D.
17	Honhor湖の泥	121.5	0.03	43.9	5.564	N.D.
18	鉛蓄電池リサイクル工場付近	203.3	N.D.	36.7	N.D.	N.D.
19	鉛蓄電池リサイクル工場付近	762.2	N.D.	40.5	<N.D.	N.D.
20	遊牧民のゲル	43.2	N.D.	0.9	N.D.	N.D.
R-1	大規模工場付近	10,535	6.5	35.7	3.410	N.D.
R-2	大規模工場付近	5,836	3.1	19.9	2.089	N.D.
R-3	鉛蓄電池リサイクル工場(煙突付近)	11,364	35.1	19.0	2.014	N.D.
R-4	鉛蓄電池リサイクル工場(西側)	9,437	16.3	36.0	1.144	N.D.
R-7	鉛蓄電池リサイクル工場(排水溝付近)	17,884	95.9	14.9	2.792	N.D.
R-8	鉛蓄電池リサイクル工場付近	5,185	6.9	35.0	0.969	N.D.

なお、モンゴル国の土壌中の重金属の基準値²⁾は、鉛:100[mg/kg]、カドミウム:3[mg/kg]、ニッケル:150[mg/kg]、ヒ素:6[mg/kg]となっている。表1が示すように、鉛精錬工場周辺において、鉛及びカドミウムが高濃度であった。また、近隣の畜産農家の羊、ヤギなどの血液を採取し調べたところ、鉛の慢性毒性の際に現れる有核赤血球は見られなかった。ヒアリング調査により分かった鉛精錬工場の操業状況とこれらの結果から、家畜の死亡及び健康被害は、急性毒性の可能性があると考えられた。

本研究では、中古ハイブリッド車由来の使用済みニッケル水素蓄電池の潜在発生量を把握し、更にモンゴル国における使用済み鉛蓄電池の環境影響について調査を行ってきた。これらの調査結果をもとに、モンゴル国

におけるニッケル水素蓄電池及び鉛蓄電池の適切な回収・再活用手法について、現地の研究者らと共にディスカッションを行い、新たな研究プロジェクトを立ち上げている。このプロジェクトでは、遊牧民やゲル地区などでの太陽光発電による蓄電池需要として、ニッケル水素蓄電池の再生利用の検討と、鉛蓄電池の回収・再資源化技術の導入と制度化による環境汚染抑制施策を検討している。また、日本国内では今後使用済み太陽光パネルが大量に排出されることが予想されており、その有効利用の一つとしても期待される。

- 1) モンゴル国税関資料より作成。
- 2) Ulaanbaatar City. (2010) National Environment and Travel Sector Standards. [http://siteresources.worldbank.org/INT/EA/PREGTOPENVIRONMENT/Resources/HandbookonEnvironmentalStandards\(Mong\).pdf](http://siteresources.worldbank.org/INT/EA/PREGTOPENVIRONMENT/Resources/HandbookonEnvironmentalStandards(Mong).pdf) (in Mongolian) (accessed on 29 March, 2018)

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)

- [学会発表](計 5件)
- Toshiki, K., Naitou, H., Yu, J., Erdenedalai, B., Javzandolgor, Ts., Buyantogtokh, Ch. A survey on lead contamination of soils around a lead acid battery refinery in Mongolia. 10th Asian Automotive Environmental Forum. Oct 18, 2017
- Erdenedalai, B., Yu, J., Wang, Sh., Toshiki, K., Naitou, H. International Resource Recycling and Environmental Problems by Secondhand Vehicle from Japan. 9th Asian Automotive Environmental Forum, Nov 23-26, 2016.
- 劉庭秀. 中古車輸出が国際資源循環と越境環境問題に与える影響 モンゴル国を事例に . 環境科学会, 2016年9月9日.
- 劉庭秀, 斎藤優子. 都市鉱山事業としての自動車リサイクル制度の意義と課題 自動車電装品とバッテリーを事例に . 日本地域政策学会, 2015年7月11日.
- Toshiki, K., Naitou, H., Yu, J., Buyantogtokh, Ch., Amgalan, N., Javzandolgor, Ts. A study on the relationship between motorization and heavy meta contamination in Mongolia. 7th Asian Automotive Environmental Forum. Nov 22-23, 2014.

〔図書〕(計 1件)

Jeongsoo Yu, Shuoyao Wang, Kosuke Toshiki,
Kevin Roy B Serrona, Gengyao Fan,
Baatar Erdenedalai. Latest Trends
and New Challenges in End-of-Life
Vehicle Recycling, 174-213, in:
Environmental Impact of Road
Vehicles: Past, Present and Future.
Royal Society of Chemistry, 2017.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

戸敷 浩介 (TOSHIKI KOSUKE)
宮崎大学・地域資源創成学部・准教授
研究者番号：00542424

(2) 研究分担者

劉 庭秀 (YU JEONGSOO)
東北大学大学院・国際文化研究科・教授
研究者番号：70323087

(3) 研究分担者

内藤 博敬 (NAITOU HIROTAKA)
静岡県立大学・食品栄養科学部・助教
研究者番号：30254262

(4) 連携研究者

齋藤 優子 (SAITO YUKO)
東北大学・
研究者番号：30712575