

大型トラック分解工程の分析と リユース部品利用による環境負荷削減効果の評価 (エンジン、トランスミッションの事例)

Analysis of Disassembly Process for Heavy-Duty Trucks and Evaluation of Environmental Impact Reduction through Reuse Parts Utilization (Engine and Transmission Case Studies)

○学 納村 青葉^{*1}, 永井 優祐^{*1}, 山田 樹^{*1}, 早川 明宏^{*2}, 根津 俊大^{*2}, 竹中 優一^{*3},
藤田 光伸^{*2}, 井上 全人^{*4}, 森 孝男^{*1}, 山田 周歩^{*1}
Aoba NOHMURA^{*1}, Yusuke NAGAI^{*1}, Tatsuki YAMADA^{*1}, Akihiro HAYAKAWA^{*2},
Shundai NEZU^{*2}, Yuichi TAKENAKA^{*3}, Mitsunobu FUJITA^{*2}, Masato INOUE^{*4}, Takao MORI^{*1},
Shuho YAMADA^{*1}

^{*1} 富山県立大学 Toyama Prefectural University

^{*2} 株式会社 NGP NGP Corporation

^{*3} 一般社団法人日本トラックリファインパーツ協会 Japan Truck Refine Parts Association

^{*4} 明治大学 Meiji University

Abstract

In Japan, the End-of-Life Vehicle Recycling Act supports the transition to a circular economy. Utilizing recycled automotive parts significantly contributes to efficient resource use and energy reduction, thereby fostering a circular economy. This study assesses the greenhouse gas (GHG) emission reduction effect of using reused parts in heavy-duty trucks from a life cycle assessment (LCA) perspective. We focused on engines and transmissions (T/M) due to their high sales volume as reused components. The reduction effect is quantified by the difference in GHG emissions between manufacturing new and reuse parts. To calculate emissions for reused parts, a process model of truck disassembly was developed from a survey of a manufacturing plant, detailing inputs and equipment for dismantling and washing. New part manufacturing emissions were clarified by the disassembly survey. This analysis revealed an approximate 99% GHG reduction for both engines and T/M when reused. Future work includes considering the impact of waste oil and fluorocarbon treatment, and expanding the analysis to other reused parts beyond engines and T/M.

Key Words : Life cycle assesment, Truck, Disassembly process analysis, Reuse parts, GHG reduction, Engine, Transmission

1. 緒 言

1990年代以降、日本では大量生産、大量消費、大量廃棄型社会からの脱却を目指し、循環型社会の構築に向けた法整備が進められた。2000年代以降には、3R (Reduce, Reuse, Recycle)の実施や循環型社会形成推進法、自動車リサイクル法が制定されるなど、循環型社会の形成を推進する取り組みが行われた(浜本, 2023)。特に自動車リサイクル法は、自動車所有者、製造業メーカーおよび関連事業者各々に役割を義務付け、適正なりサイクルの推進に貢献している(経済産業省, 参照 2025)。また、自動車のリサイクルにおいて、リサイクル部品の活用は、資源の有効活用、廃棄物の削減に加え、新品部品製造時のエネルギー、環境負荷の低減が可能であるため、循環型社会の実現に貢献できる。

リサイクル部品とは、使用済自動車から再利用できる部品を取り出し、適正に処理、検査後、再商品化されたものである。リサイクル部品には、リユース部品とリビルト部品の2種類がある。リユース部品とは、取り出し

た部品に分解等の手を加えず、目視、テスター等による点検を行い、清掃、美化を施し再商品化された部品である。一方、リビルト部品とは、取り出した部品や修理時に発生した交換部品等をベースに、摩耗、劣化した構成部品を新品と交換、再組み立てし、テスターを用いて品質確認を行い再商品化された部品である。先行研究により、自動車のリユース部品活用時の環境負荷削減効果については、リユース部品の売り上げ上位である主要 50 部品の調査や、環境負荷排出量の予測モデルが提案済み (高橋他, 2016)である。加えて、リビルト部品活用時においても、エンジン (小林他, 2018)、AC コンプレッサ、スタータ、オルタネータ (山田他, 2024)の事例がある。これらの先行研究では、リユースの事例では軽トラック、リビルトの場合では 2t トラックと、トラックのリサイクル部品についても調査済みである。しかし、先行研究では小型トラックが対象であり、長距離輸送に用いられる大型トラックのリサイクル部品利用における環境負荷削減効果については、十分に評価されていない。

本研究では、大型トラックのリユース部品製造における環境負荷排出量を算出するとともに、リユース部品利用による環境負荷削減効果を LCA の観点から評価を行うことを目的とする。本稿では、リユース部品として販売数の多いエンジン、トランスミッションについてリユース部品製造までの工程を調査、分析し、リユース部品活用時の環境負荷削減効果の評価を行う。

2. 環境負荷削減効果の定義

本研究では、新品部品を使用する場合とリユース部品を使用する場合を比較し、環境負荷削減効果を算出する。加えて、リユース部品利用による環境負荷削減効果を算出するにあたり、対象の環境影響を地球温暖化とし、温室効果ガス (GHG: Greenhouse Gas) 排出量の削減効果を換算 CO₂ 排出量 (単位: kg-CO₂e) の削減効果として定義する。図 1 に GHG 削減効果の考え方を、式 (1) にその算定式を示す。リユース部品製造による GHG 排出量は、使用済自動車からの部品の分離工程に発生する GHG 排出量 E_{dup} と取り外した部品の洗浄、点検、美化時に発生する GHG 排出量 E_{cib} の和として与えられる。さらに、取り外した部品と同等な新品部品製造時の GHG 排出量 E_{npm} からリユース部品製造時の GHG 排出量を減算することにより、GHG 削減量 E_R が求められる。ただし、新品部品とリユース部品の輸送時、使用時に排出される GHG 排出量は同等とみなすため、本研究では考慮しない。したがって、対象部品において新品部品およびリユース部品の資源採取から製品の製造までの範囲に対して LCA を実施する。

また、換算 CO₂ 排出量の算出方法を式 (2) に、各種 GHG 排出量を式 (3) に示す。換算 CO₂ 排出量 E_g は、一般に各種 GHG 排出量 G_i に地球温暖化係数 GWP_i (Global Warming Potential) を乗算したものを合計し算出する。各種 GHG 排出量 G_i は、排出原単位 I_i に活動量 Ac を乗算することで算出する。また、 GWP とは CO₂ の温室効果を 1 とした際に、他の温室効果ガスが、CO₂ の何倍の温室効果があるかを表す係数である。本研究の排出原単位は、環境負荷データベース IDEA ver.3.1.0 (産業技術総合研究所, 2021) に記載されている温室効果ガス排出原単位情報を用いる。本研究では、新品部品の製造に伴う GHG 排出量を把握するため、使用済み自動車から取り出した部品を分解し、素材、重量といった詳細な情報を調査する。さらに、リユース部品製造時の部品の取り外しや洗浄プロセスにおける消費電力量および投入物の重量を調査する。

$$E_R = E_{npm} - (E_{dup} - E_{cib}) \quad (1)$$

$$E_g = \sum (GWP_i \times G_i) \quad (2)$$

$$G_i = I_i \times Ac \quad (3)$$

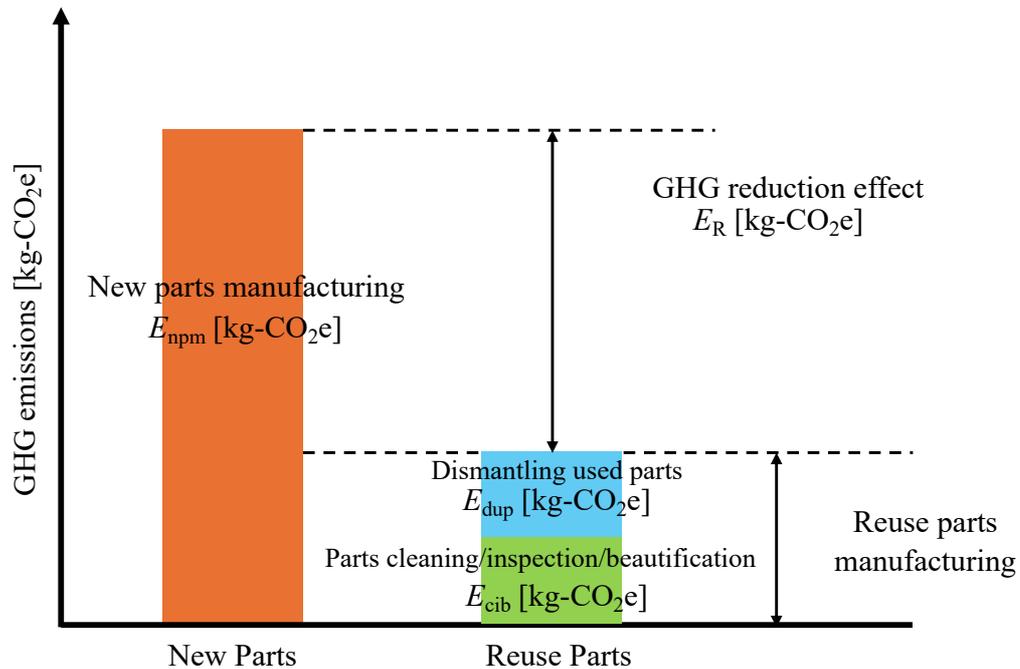


Fig. 1 Conceptual diagram of GHG reduction effect. The orange bar on the left represents the GHG emissions from manufacturing new parts. The bar on the right represents the GHG emissions from manufacturing reuse parts, where the light blue section indicates the GHG emissions from part dismantlement, and the green section indicates the GHG emissions from cleaning, inspection, and beautification. The difference in height between the left and right bars shows the GHG reduction effect achieved through reuse parts.

3. トラック分解プロセスモデルの作成

本研究では、20t 超クラスの大型トラックを対象として分解工程調査を行い、リユース部品製造における部品取り外しの各プロセスで使用される設備や投入される資源、作業基準の可視化や、部品を取り外すまでの様々な情報を追うために、分解工程のプロセスモデルを作成する。分解工程をモデル化では、IDEF0: Integration DEFinition 0(藤野他, 1996)を用いる。IDEF0とは、システムにおける決定、動作、活動の流れをトップダウンで階層的に詳細にモデル化する機能モデリング手法である。IDEF0の表現における基本単位は1つの機能名に対して、Input, Control, Output, Mechanismの4つの要素で構成されるが、分解工程のモデリングでは、機能名を作業工程、Inputを投入資源や使用電力など、Controlを工程の作業基準、Outputをその工程により排出されるもの、Mechanismを作業員、使用した設備として定義した。このIDEF0を用いて作成したトラック分解のプロセスモデルを図2に示す。

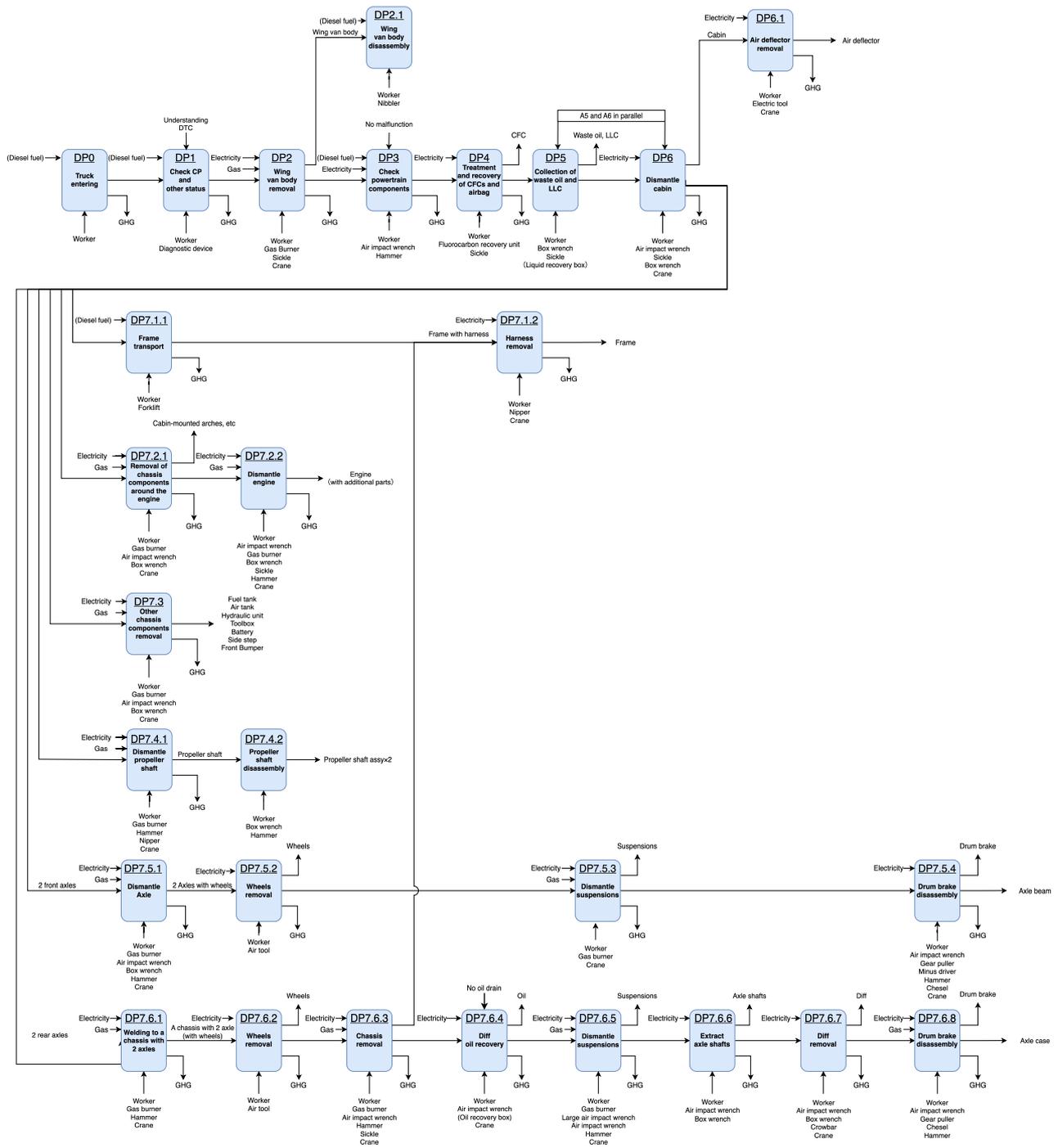


Fig. 2 Truck disassembly process. The disassembly process consists of 28 steps. First, the condition of the incoming truck is inspected using a diagnostic tool. After determining the presence or absence of abnormalities, the truck bed is removed. Next, after a visual check of the driving parts' operation, freon and airbags are recovered. Following this recovery, the cabin (driver's seat area) is dismantled, simultaneously recovering waste oil and coolant (LLC: Long Life Coolant). Subsequent steps involve disassembly in six different sections, conducted concurrently.

4. リユース部品活用による GHG 削減効果 E_R

4・1 調査対象部品のインベントリ分析と新品部品製造時の GHG 排出量 E_{npm} の算出

本研究では、調査対象であるエンジン（総排気量 9839 cc）、トランスミッション（T/M：Transmission，スーマーGx：12 速）の分解調査を実施し、構成部品の重量、素材、加工方法を調査した。表 1 にエンジンの調査結果

の一部を抜粋して示す。また、表2にエンジンおよびT/Mの重量、GHG排出量を示す。加えて、エンジンとT/Mの重量における素材構成の内訳を図3、4に、エンジンとT/MのGHG排出量とその素材内訳を図5、6に示す。補足として、図3～6において、素材「Plastics」にはPP、PE、PA6、ガラス繊維、不明なプラスチックが含まれる。不明なプラスチックとは、通常プラスチック製品にはISOおよびJISにより定められた材質表示が記載されているが、分解調査においてそれらが確認できず、素材が特定できなかったものを指す。特定不可能なプラスチックのGHG排出量算定には、IDEA ver.3.1.0におけるプラスチック全体の平均的な排出原単位を代表値として用いた。さらに、素材「Other」には紙、カーボン、基板（エンジンにのみ含有）、ハーネスが含まれる。ハーネスに関しては、普通自動車のドアハーネスをハーネスの代表として調査し、1 kgあたりのGHG排出量8.30 kg-CO_{2e}を基準として算出した。また、図3～6のグラフ上にある素材内訳が0.0%のものは、その素材の割合が0.05%未満であることを表す。

調査結果により、エンジンは989 kg、T/Mでは364 kgの重量であり、どちらもスチールとアルミニウムで96%以上を占める。一方で、資源採取から製造までのGHG排出量は、エンジンが 3.52×10^3 kg-CO_{2e}、T/Mが903 kg-CO_{2e}であり、こちらもスチールとアルミニウム92%以上を占める。また、以上のエンジン、T/MのGHG排出量が、新品部品製造時のGHG排出量 E_{npm} に相当する。

Table 1 Excerpt of the engine investigation result.

Component name	Weight [kg]	Material	Processing method	GHG emissions [kg-CO _{2e}]
Engine oil pan	11.1	Steel	Press	22.6
Piston pins	7.67	Steel	Machining	8.57
Snap rings	0.0830	Steel	Press	0.264
Pistons	11.4	Aluminum	Casting	47.3
Connecting rods	20.0	Steel	Forging	110
Grow plug shat	0.373	Steel	Machining	0.417
Crank cap	14.3	Aluminum	Casting	59.4
Armature core	0.779	Steel	Press	2.48
Armature coil copper plate	0.446	Copper	Other	2.44
Spline shaft	0.0147	Steel	Machining	0.0157
Commutator plastic	0.0498	Unknown plastic	Injection molding	0.169
Insulation protective resins	0.0206	Unknown plastic	Injection molding	0.0699
Insulation paper	0.00884	Paper	Other	0.0323
Copper plate cover	0.00454	Grass fiber	Other	0.0188

Table 2 The weight and GHG emissions of the engine and transmission.

Subject parts	Weight [kg]	GHG emissions [kg-CO _{2e}]
Engine	989	3.52×10^3
T/M	364	903

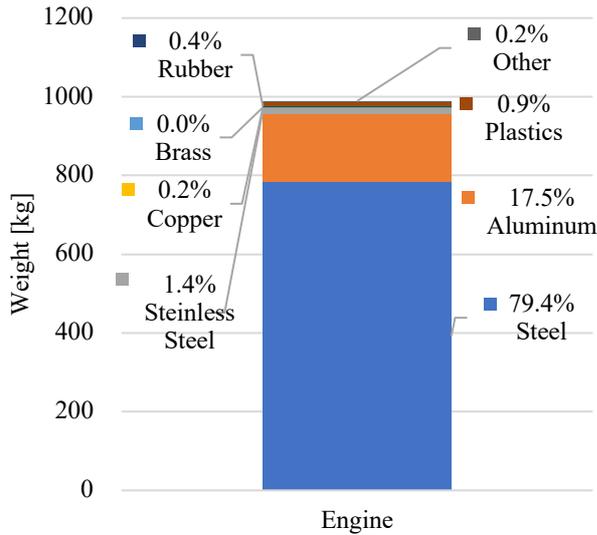


Fig. 3 Breakdown of materials within the weight of the engine. Steel and aluminum account for more than 96% of the weight.

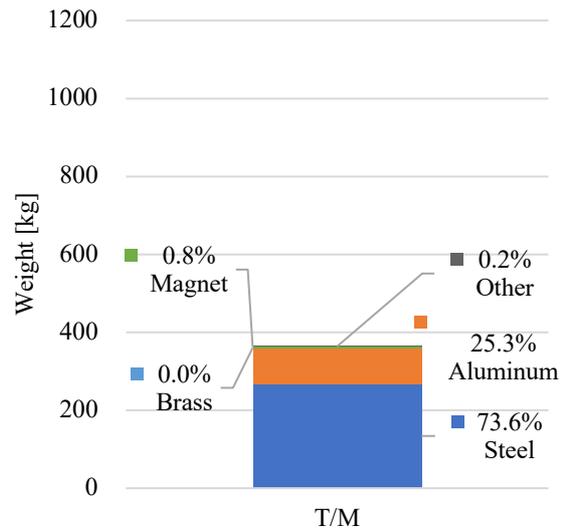


Fig. 4 Breakdown of materials within the weight of the T/M. Steel and aluminum account for more than 98% of the weight.

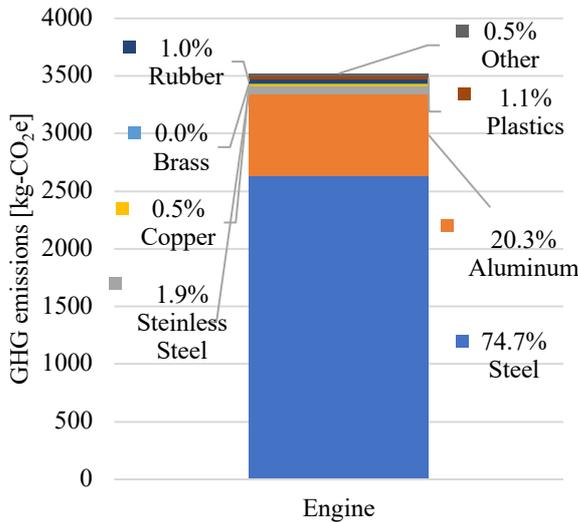


Fig. 5 Breakdown of materials within the GHG emissions of the engine. Steel and aluminum make up 95% of the GHG emissions.

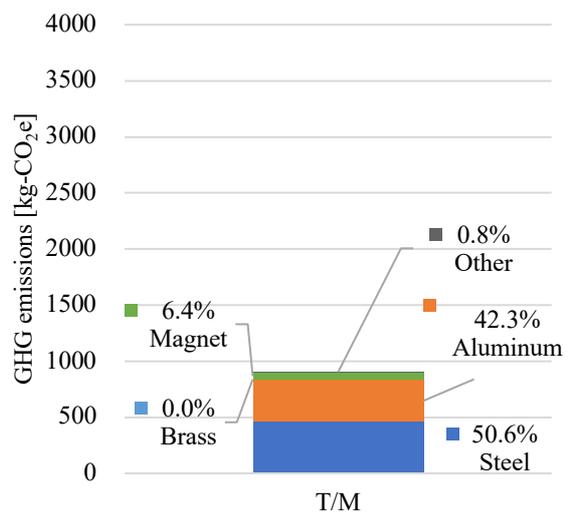


Fig. 6 Breakdown of materials within the GHG emissions of the T/M. Steel and aluminum account for more than 98% of the GHG emissions.

4・2 部品取り外しにおける GHG 排出量 E_{dup} の算出

本研究では、リユース部品として多く販売されているエンジン、T/Mのリユース部品製造工場調査を行い、図2に示した工程で実施されていることを確認した。部品取り外しにおけるGHG排出量は、この工場調査により得られたトラック分解時の情報を用いて、使用された機器によるGHG排出量から求める。分解工程において使用された機器は、主に電気機器（エアツール用コンプレッサ、天井クレーン）とガスバーナである。電気機器の使用におけるGHG排出量の算出には、消費電力量を知る必要があるが、本研究は電力ロガーを用いて消費電力を調査した。一方、ガス機器においては、ガスバーナに接続されている液化酸素ボンベとLPガス（Liquefied Petroleum Gas）ボンベの使用量を調査した。この調査から得られた消費電力量および酸素、LPガスの使用量、ならびにそれらの使用によるGHG排出量を表3に示す。ここで、酸素およびLPガスの使用量に関しては、様々なトラック分解時の使用量から推測を行った。推測にあたり、酸素、LPガスの使用量と車両重量（車体重量に、積載のない荷台の重量と、エンジンオイル、燃料、LLCが満たされた状態における重量を加算した値）との相関を

取得した。図 7 にその相関図を示す。また、車両重量のデータには、メーカーの諸元表 (いすゞ株式会社, 参照 2025)を用いた。その表を表 4 に示す。

しかし、表 3 に示したデータは、トラック分解工程全体における投入物の使用量であるため、対象部品に分配する必要がある。そのため、本研究ではトラックの車体全体の重量に対する対象部品の重量比を用いて、表 3 の消費電力量および酸素、LP ガスの消費による GHG 排出量を分配する。表 5 に調査対象トラック全体の重量に対するエンジンと T/M の重量割合、ならびに分配後の消費電力量および酸素と LP ガス消費による GHG 排出量を示す。表 5 におけるエンジンと T/M の消費電力量、ならびに酸素および LP ガスの消費による GHG 排出量は、部品取り外しにおける GHG 排出量 E_{dup} に相当する。

Table 3 Power consumption, oxygen and LP gas usage, and resulting GHG emissions obtained from the truck disassembly analysis.

Input		Usage	GHG emissions [kg-CO ₂ e]
Power consumption	Air tools (Compressor)	1.51 kWh	0.819
	Crains	1.07 kWh	0.579
Oxygen		4.94 kg	0.787
LPG		1.29 kg	6.07

Table 4 Data of the truck vehicle weight (いすゞ株式会社, 参照 2025).

Type	Vehicle weight [kg]
CYJ77D-WX-D24A	10710

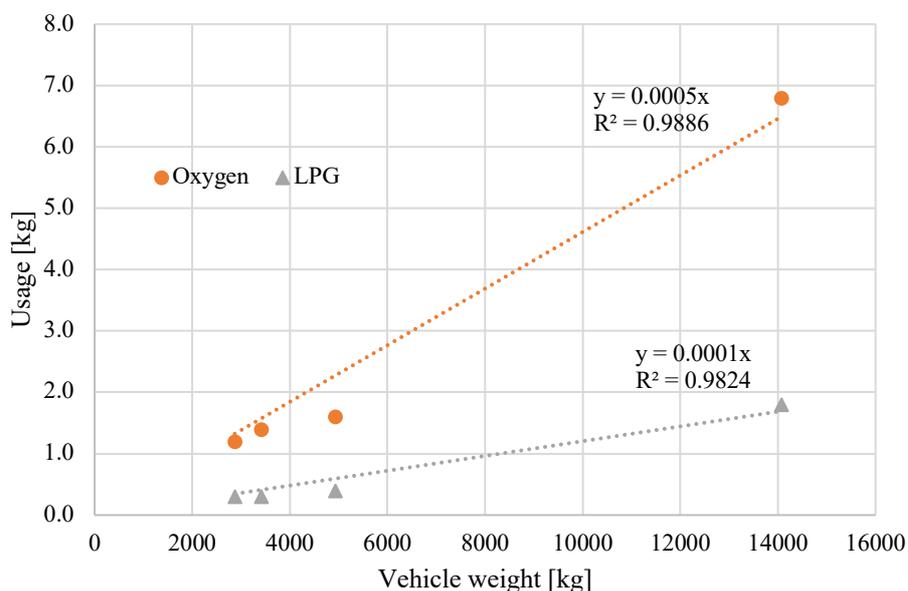


Fig. 7 Correlation between Oxygen / LPG usage and truck vehicle weight. This figure shows the correlation between oxygen and LP gas consumption and vehicle weight, obtained from truck disassembly analyses (4 data points). The determination coefficients (R^2) for the regression lines were high, at 0.9 or greater.

Table 5 Allocation of GHG emissions from dismantlement of used parts by weight ratio of the target parts to the complete truck.

Target parts	Weight [kg]	Weight ratio	GHG emissions from inputs [kg-CO ₂ e]		
			Power consumption	Gas (Oxygen, LPG)	Total
Engine	989	13.6%	0.190	0.929	1.12
Transmission	364	5.0%	0.0698	0.342	0.412
The complete truck	7.29×10^3	100.0%	1.40	6.85	8.25

4・3 洗浄、美化工程における GHG 排出量 E_{cb} の算出

リユース部品製造において、洗浄工程は部品をトラックから取り外した後、または部品販売前に実施される。加えて、美化工程も、洗浄と兼ねて同時並行して実施される。一方、点検工程に関しては、トラック分解工程において、診断機による DTC (Diagnostic Trouble Code) のチェックや目視による動作確認によって事前に実施されている。そのため、本研究ではこの時点における点検工程の GHG 排出量は発生しないと判断した。したがって、ここでは、洗浄（美化を含む）工程における GHG 排出量のみを算出する。

本研究において、トラックのエンジン、T/M の洗浄工程は、同等の部品を洗浄した場合のデータを代表値として GHG 排出量を算出する。また、エンジンや T/M は、走行時に巻き上げた泥や埃、またはエンジンのオイル漏れなどにより、強固な汚れが付着しやすいため、洗浄工程では高圧洗浄機を用いて洗浄が実施された。そのため、洗浄工程における投入物には、洗浄時に使用されたアルカリ性洗浄剤や洗浄水に加えて、高圧洗浄機に使用された灯油や電力が含まれる。各投入物の使用量について、洗浄剤と灯油は部品の洗浄前後における容器の重量を計測して算出する。洗浄水は高圧洗浄機のスペックにある吐出量（1300 L/hour）に洗浄機の使用時間を乗算して算出し、電力においては電力ロガーのデータを用いて消費電力量を算出する。それらの方法を用いて、エンジンと T/M の洗浄工程調査から得られたデータを表 6 に、そのデータに基づいて算出した GHG 排出量を表 7 に示す。なお、表 7 におけるエンジンと T/M の洗浄における投入物消費による GHG 排出量が、洗浄工程における GHG 排出量 E_{cb} に相当する。

Table 6 Input material consumption for cleaning target parts.

Target parts	Alkaline cleaner [kg]	Kerosene [kg]	Washing water [L]	Power consumption [kWh]
Engine	2.43	3.75	0.620	5.61
T/M	0.848	1.51	0.268	2.30

Table 7 GHG emissions from input material consumption for cleaning target parts.

Target parts	GHG emissions [kg-CO ₂ e]				Total
	Alkaline cleaner	Kerosene	Washing water	Power consumption	
Engine	7.90	14.8	0.0847	3.05	25.8
T/M	2.76	5.94	0.0365	1.25	9.99

4・4 GHG 排出量削減効果 E_R の算出

エンジン、T/M のリユース部品活用時の GHG 排出量削減効果 E_R を、4.1 節で算出した新品部品製造時の GHG 排出量 E_{nppm} および 4.2 節の部品取り外しにおける GHG 排出量 E_{dup} 、4.3 節の洗浄工程における GHG 排出量 E_{cb} を用いて、式 (1) から算出した。図 8 にその結果を示す。結果として、20t 超クラスの大型トラックにおけるエンジンと T/M の GHG 排出量削減量は、それぞれ 3.50×10^3 kg-CO₂e、892 kg-CO₂e であった。削減効果としてはエンジンが 99.2%、T/M では 98.9% と、どちらも約 99% の削減効果があることを明らかにした。削減効果が高い要因として、新品部品製造時の GHG 排出量がリユース部品製造時の GHG 排出量よりも著しく大きい点が挙げられる。このことから、環境負荷低減を重視する上では、新品部品よりもリユース部品を活用することが重要であることが示唆される。

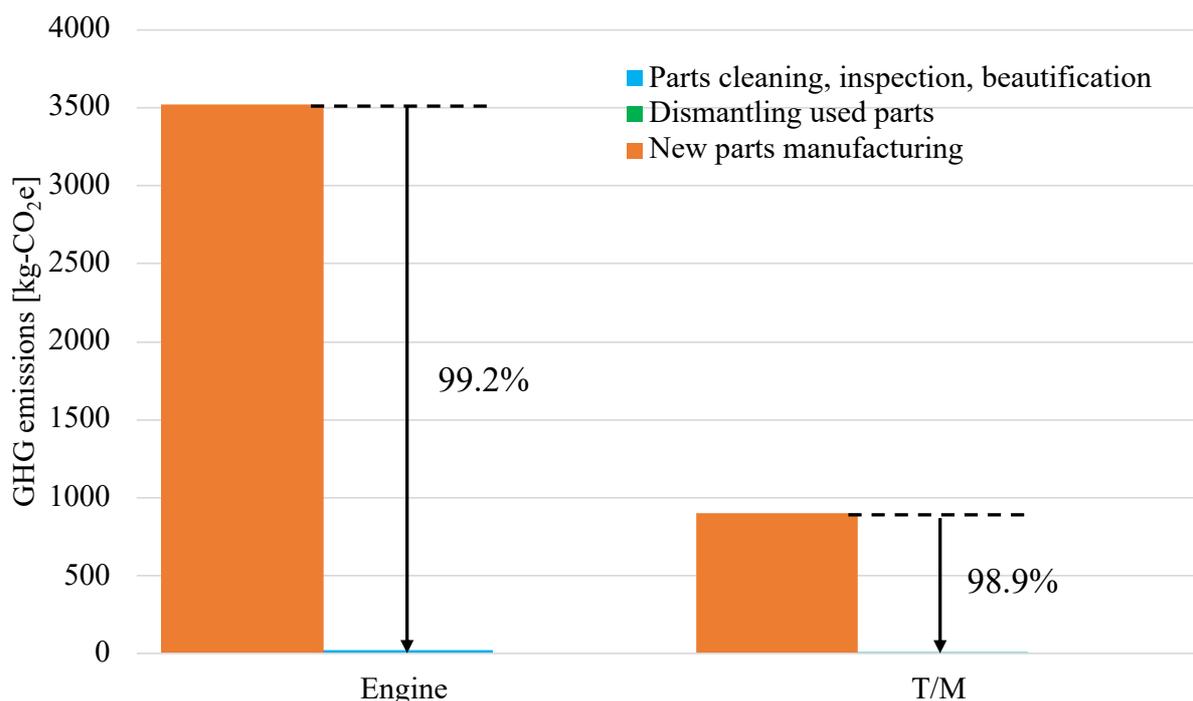


Fig. 8 GHG emission reduction effect from reusing engine and T/M. Using Equation (1), the GHG reduction effects from reusing engine and T/M are calculated. It is revealed that the engine showed a reduction of 3.50×10^3 kg-CO₂e, and the T/M showed a reduction of 892 kg-CO₂e, with both contributing to approximately 99 % GHG reduction.

5. 結 言

本研究では、大型トラックのリユース部品活用による環境負荷削減効果の評価を目的として、リユース部品製造工場の調査からトラック分解プロセスを調査、分析し、エンジン、トランスミッションのリユース部品活用によるGHG削減効果をLCAの観点から評価した。リユース部品製造工場の調査により、トラック分解のプロセスモデルを作成し、分解工程および洗浄工程における投入物、使用機器を明らかにし、消費量およびGHG排出量の多い投入物を明らかにした。また、部品の分解調査により構成部品の素材、重量、加工方法を明確にし、新品部品製造時のGHG排出量を算出した。加えて、その部品のトラック全体における重量との比により、部品取り外しによるGHG排出量を算出し、洗浄工程のGHG排出量を合わせて、リユース部品製造時のGHG排出量を算出した。そして、新品部品およびリユース部品の製造によるGHG排出量からリユース部品活用によるGHG排出量削減効果を算出した。結果として、エンジンでは 3.50×10^3 kg-CO₂e、T/Mでは 892 kg-CO₂e の削減量を確認し、どちらも99%程度の削減効果があることを明らかにした。

今後の課題としては、トラック分解によって排出されたものとして廃油やフロンガス、クーラント液があり、それらの処理に伴うGHG排出量を考慮に入れることが挙げられる。また、本研究では大型トラックのエンジン、T/Mのみのリユース部品活用時のGHG排出量削減効果を確認したが、トラックはフレーム等一部の部品を除き、ほとんどの部品がリユース部品としてリサイクルすることが可能である。そのため、エンジンとT/M以外のリユース部品を活用した場合のGHG排出量削減効果を明らかにすることも、本研究の課題である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、株式会社新井商会にリユース部品製造工程の調査、トラックデータの提供および部品分解調査など多大な協力をいただいた。記して感謝の意を表す。本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費若手研究 23K13515 の助成を受けたもので、感謝の意を表す。

文 献

- 浜本光紹, 日本における一般廃棄物処理の循環性, 環境共生研究, No.16, (2023-03), pp.1-12, <<https://dokkyo.repo.nii.ac.jp/records/3285>>, (参照日 2025 年 7 月 7 日).
- 藤野健一, 吉田正, 服部達也, 金子鎮雄, 渾大防一平, IDEF0 による現場労務安全管理の分析と情報管理の方向性, 建設マネジメント研究論文集, Vol. 4, (1996), pp.59-68, DOI: 10.2208/procm.4.59.
- いすゞ自動車株式会社, G カーゴ/トラクタ 主要諸元表, <https://www.isuzu.co.jp/product/giga/lineup/g_cargo/pdf/g_cargo_shogen.pdf>, (参照日 2025 年 6 月 29 日).
- 小林峻, 岡本拓也, 藤田光伸, 森孝男, 早川明宏, 杉本淳二, 井上全人, リビルトエンジン使用による二酸化炭素排出量削減効果, 設計工学・システム部門講演会講演論文集, 2018.28, No. 2604, DOI: 10.1299/jsmedsd.2018.28.2604.
- 経済産業省, 自動車リサイクル法とは, <https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/automobile_recycle/about/recycle/recycle.html>, (参照日 2025 年 6 月 22 日).
- 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEA ラボ, LCI データベース IDEA version 3.1.0, (2021).
- 高橋颯太, 岩崎誠和, 藤田光伸, 森孝男, 鈴木廉, 鈴木雄大, 玉木基裕, 杉本淳二, 石塚克美, 乙幡勝三, 鈴木成幸, 小林謙六, 谷洋紀, 早川明宏, 井上全人, 温室効果ガス排出削減量評価の算定および公開事例ー自動車リユース主要 50 部品ー, 第 11 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集, D3-01 (2016), p.318.
- 山田周歩, 堀内郁矢, 井上全人, 藤田光伸, 早川明宏, 森孝男, 自動車リビルト部品の利用による温室効果ガス削減効果の評価と製品設計への指針の検討 (AC コンプレッサ, スタータ, オルタネータの事例), 日本機械学会論文集, Vol. 90, No. 940 (2024), DOI: 10.1299/transjsme.24-00109.