

自動車リサイクル部品の活用による環境負荷削減効果分析

——中国における再製造部品を事例として——

王 舟・小幡範雄・燕 乃玲

- I. はじめに
 - 1. 研究背景と目的
 - 2. 先行研究における本研究の位置づけ
 - 3. 研究手法と範囲
- II. 実態調査による自動車再製造部品の現状
 - 1. リサイクル部品と再製造部品の定義
 - 2. 再製造エンジンメーカーの概要
 - 3. 再製造エンジンの技術及び加工方法
 - 4. 再製造エンジンの技術基準と品質確認基準
- III. 再製造エンジンにおける環境負荷削減効果の定量分析 (LCA)
 - 1. 再製造エンジンにおける目的と調査範囲の設定
 - 2. 素材におけるインベントリ分析と環境影響評価
 - 3. 生産プロセスにおけるインベントリ分析と環境影響評価の結果
 - 4. 中国のリサイクル部品の活用モデルについて検討
- IV. まとめと課題

I. はじめに

1. 研究背景と目的

モータリゼーションが進展する中国において、自動車の普及率が急速に上昇することは確実であり、廃車発生量は急速に増加しつつある。その将来予測として、「廃車の処理による環境汚染」、「大量生産による資源枯渇」といった影響が示された。これらの影響は、国レベル、地域レベルにおける持続可能な循環型社会の構築が極めて重要な課題であることを示唆しており、より詳細な廃車処理における地域間の再生資源活用の現状分析が必要であると考えられる。さらには、自動車リサイクルに適応した実践的なシステムの構築も要求される。そのためには、地域間のリサイクル部品再利用の状況を詳細に把握することが必要であるが、特に、環境負荷評価 (LCA 分析) については、利用可能なデータの制約から定量的な評価が困難である場合が多い。

世界的な循環型社会形成の視点からは、自動車の使用済製品、廃棄物をいかに再生可能な資源にするかが課題である。最もエネルギーロスが少なく、有効な資源化とは、部品の耐用性を考慮した上で、品質に支障がない程度に機能面の品質を維持し、耐用限界まで長期的に利用することである。個々の細部品をリユースすることによ

り細部品の集合体としての部品を廃棄物としないようにし、結果として最終製品が新しい部品の集合体としての製品よりも大幅に資源やエネルギーを最小化した製品として供給できるシステムが今後は重要である。特に自動車産業での細部品のリサイクル、部品の再利用は、発展途上国の経済性、環境負荷軽減、低コストの産業構造の点からも有効である。本研究は、自動車の再製造部品 (エンジン) を対象に、リサイクル部品の耐用性を LCA 分析の活用によって評価し、どのような再利用システムが中国社会にとって有効かつ現実的かを明らかにすることを目的とする。

2. 先行研究における本研究の位置づけ

資源の活用と言う視点における自動車リサイクル部品の再利用に関する先行研究は、国内外において、「日中廃棄物学会」と「日本 LCA 学会」などにおいて循環型社会の構築、環境負荷の定量分析をテーマとした多くの論文が発表されている。しかしながら、中国における「リサイクル部品再利用システムの構築」と「リサイクル部品の環境負荷削減効果の定量分析」の研究の事例は少なく。取分け本研究の対象である「自動車の再製造エンジン」に関する事例研究は、極めて少ないと言える。

先行研究として代表的なものには、早稲田大学の永

田、小野田研究チーム (2008) がまとめた「自動車リサイクル部品の利用促進のための環境貢献ポイントシステムの開発」で、自動車における環境貢献ポイントの算定ソフトの開発を発表し、リユース部品を活用することにより1台あたり797.8kgのCO₂排出量を削減できたことが示されている。続いて、竹島修平 (2008) は「自動車用鉛蓄電池におけるLCA」で、鉛の軽量化と再生鉛の使用によって環境負荷が小さくなることを主張した。さらに、石津恒雄 (2008) は「自動車用ガラスLCI」で、自動車用ガラスの製造システムの中で「板ガラス製造工程」と「自動車用ガラス加工工程」に対してCO₂排出量を算出した上で、製造の全過程における環境負荷低減と自動車ガラス全体の活用については今後の研究課題を提示された。

本研究は、モデル部品エンジンに対して、生産段階における環境負荷削減効果を定量分析するものであり、具体的には「資源削減効果」と「CO₂削減効果」を明らかにするものである。

3. 研究手法と範囲

本研究の対象部品は、中国のトップ乗用車メーカーである「上海大众・フォルクスワーゲン (以下「上海VW」と略す)」合弁会社で生産している「AJRエンジン」とした。これは同社において1998年から製造され標準的なクラスの乗用車の1つである。5人乗り4ドア「桑

塔納2000・3000型」に搭載されている。主な仕様は、排気量1800ccのガソリンエンジンである。

今回は事故車及び廃車から取り外した後、摩耗・劣化した部分を再製造する中古エンジンに対して、LCA¹⁾ (Life Cycle Assessment) 手法としてリサイクル部品の再利用システムにおける環境負荷の定量分析を行う。こうした分析のイメージを図1に示す。

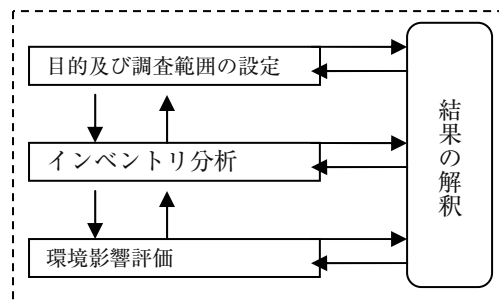


図1 LCA技法の構造段階

まず、目的及び調査範囲としては、図2に示したように、中古エンジンが再生資源素材として回収段階から再製造した使用 (部品交換) までの範囲を設定し、中古エンジンを再製造する時の環境負荷低減の効果を明らかにすることが目的である。次に、「インベントリ分析」では、再製造の各工程に対する環境負荷の入出力データを算出する。また、環境影響評価では、素材と再製造プロセスに対して「資源削減効果率」と「CO₂削減効果率」を提

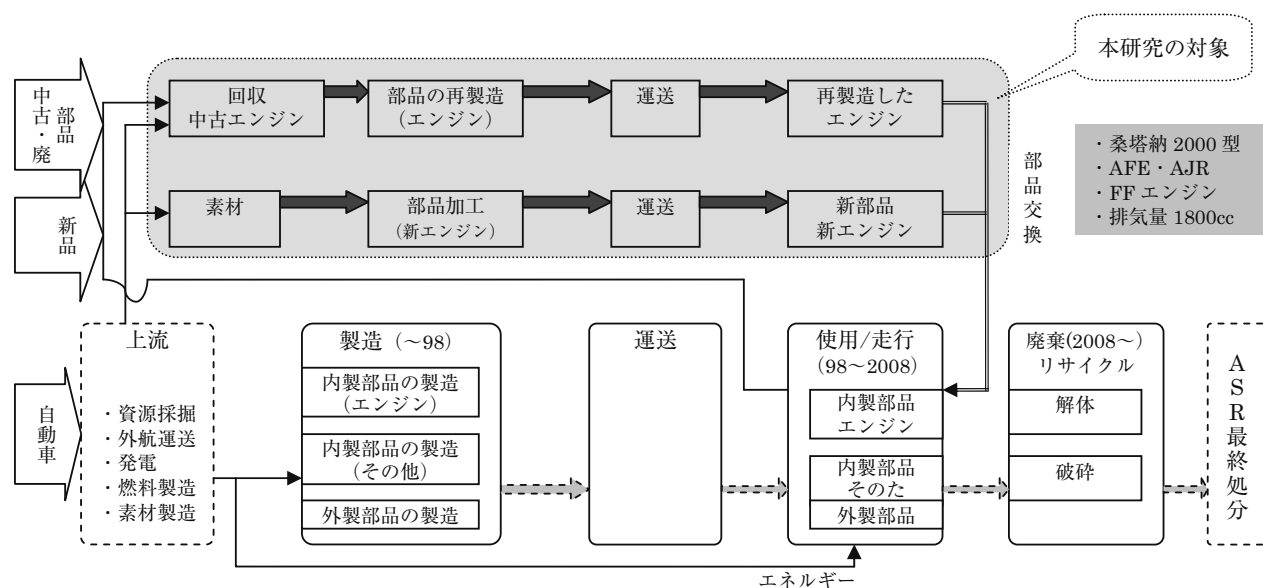


図2 本研究の範囲設定

示するものである。最後に結果の解釈によって、将来における中国の自動車部品の活用モデルや自動車リサイクルシステムの進展方法について提言する。

II. 実態調査による自動車再製造部品の現状

本章では、リサイクル部品と再製造部品について専門用語の定義づけを行い、現地調査の結果に基づいて、企業の概要、再製造技術の現状・基準と品質確認基準を紹介する。

1. リサイクル部品と再製造部品の定義

自動車リサイクル部品は、表1に示すように「リユース部品（中古部品）」と「リビルト部品（再生・再製造部品）」に大別される。

「リユース部品」は、「中古部品」と呼ばれる場合もある。中国の「リユース部品」は、『廃車回収・解体管理規則』（2001）によると5大部品（エンジン、トランスミッション操舵装置、ステアリング、フレーム、前後サスペンション）以外の外装部品が中心となっている。日本の場合は、バンパー、ドア、ミラーなどの外装部品が中心

となっている。

本研究は、中国における「リビルト部品」のうち再製造部品、取分けし、『自動車部品再製造管理試験弁法』（2008.以下「再製造試験弁法」に略称）にエンジン、トランスミッション、発電機、モーター、ステアリングの5品目に限定している。「再製造部品」とは、廃車から取り外した部品や修理の際に発生した交換部品等において摩耗・劣化した部分を再加工し、再加工が困難なものについては新品と交換するなど工程して、点検・清掃のうえ品質を確認した再生部品である。日本の再生部品は、摩耗・劣化した部分を新品と交換するなど修理を実施し、点検・清掃して品質確認を行ない商品化された再生利用の部品である。

2. 再製造エンジンメーカーの概要

2008年に実施した「再製造試験弁法」によって、自動車メーカー3社と部品メーカー11社が再製造試験企業と認定されて、5品目を中心とするリサイクル部品の再製造試験を始めた。

本稿のモデル企業は、表2、図3示すように再製造エンジンの部品メーカーである「大众瑞貝徳動力総成有限

表1 日中のリサイクル部品の分類と定義

	分類	定義	主要の部品種類
中国 リ サイ クル 部 品	リユース部品 (中古部品)	「リユース部品」とは、廃車から取り外し、点検・清掃して商品化された再利用の部品である。中古部品と呼ばれることもある。(但し、点検・清掃しないままに再利用する場合もある。)	5大部品 ²⁾ 以外のバンパー、ドア、ミラー、モーター、椅子、ライト、タイヤ、ホイール、エンジカバーなどの再利用可能な部品となっている。
	リビルト部品 (再製造部品)	「再製造部品」とは、廃車から取り外した部品や修理の際に発生した交換部品等、摩耗・劣化した部分を再加工し、ある部分を新品と交換するなど再製造を実施し、点検・清掃して品質確認を行ってから商品化された再生利用の部品である。	エンジン、トランスミッション、発電機、モーター、ステアリングの5品目 ³⁾ に限定している。
日本 リ サイ クル 部 品	リユース部品 リユースパーツ (中古部品)	「リユース部品」とは、使用済自動車から利用できる部品を取外し分解等の手を加えず、点検・清掃・美化して商品化された再利用の部品である。中古部品と呼ばれることもある。	バンパー、ドア、ミラーなどの外装部品が中心となっている。
	リビルト部品 (再生部品)	「リビルト部品」とは、使用済自動車から取り外した部品や修理の際に発生した交換部品等、摩耗・劣化した部分を新品と交換するなど修理を実施し、点検・清掃して品質確認を行ない商品化された再生利用の部品である。	エンジン、トランスミッションの機能部品、オルタネーターなどの電装部品、ブレーキシューなどの消耗部品がある。

(出典：「再製造試験弁法」2008年と矢野経済研究所「自動車リサイクル部品総覧2004年」を参考にして作成)

会社」を対象とした。本企業は「上海 VW」合弁会社の子会社であり、1988年にエンジンの再製造技術を導入し、2006年に上海 VW から「VDA6.3」品質認定を受けて、2007年から再製造エンジンが本格的に生産し始めた。生産能力は3,000台/年（8時間当たり）で、2008年8月までの総生産量は16,000台である。

表2 「大众瑞貝德動力総成有限公司」の概要

住所	上海安亭鎮
技術導入	1998年
成立	2007（本格生産開始）
工場面積	17820m ²
従業員	75人
生産設備	29台
生産能力	3000台/年・8時間当たり
総生産台数	16000台（2008年8月まで）

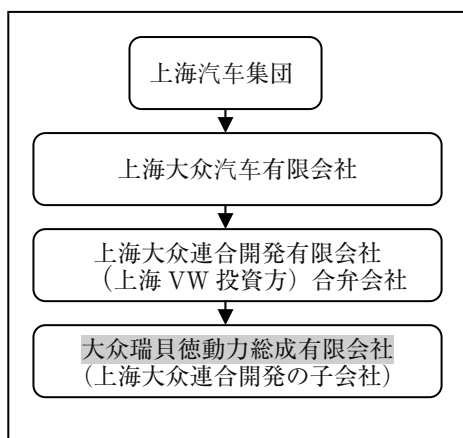


図3 上海 VW との関係

3. 再製造エンジンの技術及び加工方法

本企業の再製造技術は、上海 VW のエンジン製造技術から生み出された加工方法である。生産プロセスは、基本的にドイツ VW の生産ラインを参考にして、エンジンの専用加工設備をドイツ VW から直接輸入した。再製造エンジンの機械加工工程と検査工程は、新エンジンと同様な加工・検査設備を使用しており、生産技術基準と品質確認基準も、新エンジンと同じような基準に基づいて実施している。

加工方法は図4と5で示すように、「+加工法」と「-加工法」に分けている。「+加工法」とは、磨耗と劣化された部品の表面に硬い「イオン層」をかぶせて、中古部品のサイズ公差を新品状態部品のサイズ公差範囲にお

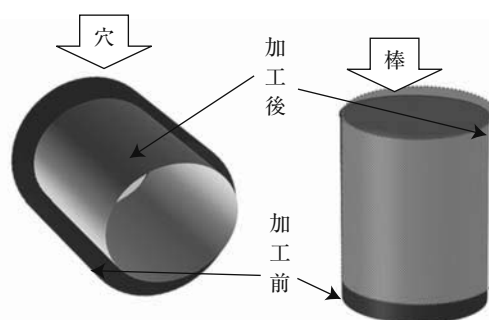


図4 +加工法

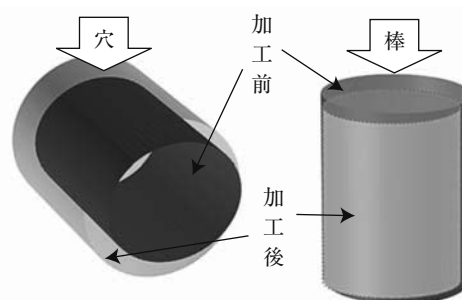


図5 -加工法

ける、部品のサイズ公差を「+」側にする加工方法である⁴⁾。「-加工法」とは、磨耗と劣化された部品の表面を削って研磨する。新品状態部品の加工公差基準を参考にして、中古部品のサイズ公差を「公差範囲内の基準」に基づいて部品のサイズ公差を「-」側にする加工方法である⁵⁾。

本企業は、生産コストを安くするためほとんどの部品を「-加工法」で再製造エンジンを加工している。

附表1に示すように再製造エンジンの性能は、理論的には新エンジンと同様な基準を達成したが、しかし金属寿命から計算する⁶⁾と、再製造エンジンは新エンジンの半分程度である。再製造エンジンの排気基準は、新エンジンと同様な基準（ユーロⅢ、Ⅳ）を達成している。

また、本会社の責任者へのヒアリング調査によって、生産コストは、新エンジンの半分に押さえ5～6千元/台で販売している。現在、上海 VW 車の市場保有量は約400万台で、新車の伸び率は、年間10～15%に増加している。上海大众的市場調査統計⁷⁾によると1985年から交換・修理が必要となる VW 車エンジンは約30～35万台とされており、新車の伸び率を勘察すると再製造エンジンの市場規模は、年間10～15%の増加率と予測されている。

表3 再製造技術の基準

基準項目	内容	備考
1- 中古エンジン 回収基準	①外観は基本的に完全である。 ②エンジンの各部品は大きな損傷がない。 ③シリンダーヘッド、シリンダーブロック、カムシャフト、クランクシャフト、コンロッド、中間シャフト、バルブ、オイルケースとモーターの損傷がない ④偽造（改造をしたもの）エンジンではない ⑤故障・廃棄の原因は、出火ではないことを確認する。 ⑥生産データを確認し、構造の変化があるかどうかを確認する。	構造を変化したものと改造された物については使用禁止となる。
2- 解体の 目視検査基準	中古エンジンを解体する際に、目視検査で6大部品（シリンダーブロック、カムシャフト、クランクシャフト、コンロッド、中間シャフト）について、①完全性、②メーカーマーク、③ひび割れ・金属錆・傷を確認すること。 （ひび割れがある部品は廃棄する）	本メーカー品ではないものは使用禁止となる。
3- 洗浄後の 仕分基準	洗浄後の部品について、専用測定具で精度検査を行う。 外形サイズ検査、金属寿命検査（磁性）を実施する。 *精密測定具（ノギス、高度標尺、ゲージ）を用いる	基準範囲を超えたものは使用禁止となる。
4- 加工検査基準	加工後の部品について、専用測定具で精度検査を行う。 外形サイズの精度検査を実施する。 *超精密測定具（電子ノギス、電子高度標尺、電子ゲージ）を用いる	基準範囲を超えたものは使用禁止となる。
5- テスト基準	組立後の再製造エンジンについて、検査システムで3項目のテストを行う。 ①総合試験（異音、振動、排煙、回転パワー、圧縮比、定額効率） ②走行テスト（慣らし運転・磨合、最大回転数、燃費効率、） ③圧力試験（油圧、水圧、気圧、油・水・気漏れ）	不合格のものを修理する。

（出典：「上海大众联合发展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の内部資料より作成）

4. 再製造エンジンの技術基準と品質確認基準

再製造技術の基準は、表3に示すように「回収基準、解体検査基準、洗浄後の仕分基準、加工検査基準、テスト基準」の5段階基準に基づいて各プロセスに対して品質確認を行う。

本企業は、中古・廃エンジンの6大部品（シリンダーブロック、カムシャフト、クランクシャフト、コンロッド、中間シャフト）に対して再製造を実施する。上海VW部品メーカーの新エンジンと同じような品質を達成するために、最初の中古・廃エンジンを回収する段階か

ら最後の検査段階まで厳しい基準に基づいた再製造を行っている。まず、回収段階では、中古・廃エンジンを「再資源素材」として、上海VW販売店と整備業者から回収されたうち、外観検査で再製造可能なエンジンが選択して「大众瑞貝德動力総成有限公司」工場に送られる。次に、解体と洗浄段階では、加工前に専門の技術者が再製造可能なエンジンに対して専用測定具で「外形サイズ検査、金属寿命検査（磁性）」などの精度検査を行う。続いて、加工・テスト検査段階では、技術者が上海VWエンジンの生産検査基準に基づき、再製造エンジンに対

表4 再製造エンジンの品質確認基準

年	動き	備考
1998	・「上海大众联合发展有限公司」はドイツフォルクスワーゲン（VW）を見学した後、「大众瑞貝德動力総成有限公司」で再製造エンジンのプロジェクトをスタートした。	} 技術導入期
2000	・JV、AFE、AJRの三種類エンジンは「国家内燃機品質監督検査センター」の実験を合格して生産を始めた。（生産能力は3000台/年）	
2001	・ISO9002/VD6.1の品質認証を取得した。	} 製造実験期
2002	・正式に「上海大众汽车有限公司」から再製造エンジンの生産メーカーとVW車のパーツメーカーと認定された。	
2004	・上海市科技委員会から「再製造エンジン高新技术賞」を受けた。	
2006	・上海VWの「VDA6.3」品質認証を取得した。	} 2007年から製造実施期
2008	・ISO/TS16949:2002,ISO9001:2000品質認証を取得した。 ・PASSAT/TOURAN1.8TエンジンはSVW品質認証を受けた。	

（出典：「上海大众联合发展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の内部資料より作成）

して品質確認を実施する。

「再製造エンジンの品質基準」の動きは、表4に示すように「技術導入期」、「製造実験期」、「製造実施期」の3段階に区分される。「技術導入期」には、エンジンの再製造技術を実験し生産の規格を決定した。「製造実験期」には、上海VWエンジンの「ISO9002/VD6.1、VD6.3」、「ISO/TS16949:2002,ISO9001:2000」などの品質認証を取得した。そして2007年から本格的にJV、AFE、AJRの三種類エンジンを生産し始めた。

Ⅲ. 再製造エンジンにおける 環境負荷削減効果の定量分析 (LCA)

ここでは、「上海大众联合发展有限公司」と「大众瑞貝德動力総成有限公司」における現地調査を実施した結果に基づいて、VWエンジンを再製造する際における必要な資源素材と再製造プロセスの結果となる「資源削減効果率」と「CO₂削減効果率」を提示するものである。

1. 再製造エンジンにおける目的と調査範囲の設定

ケーススタディとして、2008年に「再製造試験弁法」によって定められた5品目(エンジン、トランスミッション、ステアリング、発電機、モーター)のうち、本研究は、「再製造エンジン」を取上げてLCA分析を行った。

対象部品(対象車種)は、中国のトップ乗用車メーカーである「上海VW」合弁会社で生産している一般的な乗用車用エンジンの1つである「AJRエンジン」を選択した。このエンジンは、1998年から製造された5人乗り4ドア「上海大众」に装備されている。

事故車及び廃車から取り外した後、摩耗した部分や劣化した部分を再製造する中古エンジンと新エンジンの生産仕組システムの違いによって、環境負荷は大きく違うと考えられる。資源の再資源化に依る方策として、中古エンジンを再製造する時の環境負荷低減の効果を明ら

かにする目的である。

2. 素材におけるインベントリ分析と環境影響評価

エンジンの部品は、附表2のように①～⑱大種類に分類されるが、その中で①～⑦部品は再製造の対象となる部品であり、⑧～⑱部品は再製造をせず交換部品となる。

素材の構成比率は、表5のように①～⑦の再製造部品は、エンジン総重量の47.53%を占める71.5kgとなり、その中には、鉄40.21% (60.5kg)、アルミ7.32% (11kg)などが含まれる。解体された「⑧～⑱の部品」は、再生資源として回収されたうち、資源再生企業・鉄鋼メーカーに送って再資源化される。素材構成比率は、「鉄、アルミ、銅、鉛、樹脂、ゴム類、ガラス」など合わせて52.46%となり、重量にして78.9kgとなる。

◎一台あたり資源の削減効果

図6-1に示すように、中古エンジンから分解された「①～⑦部品」は、「再生資源素材」として洗浄工程から加工工程に回してエンジンの再製造を行うために、新エンジンの製造より40.21%の鉄(60.5kg)、7.32%アルミ(11kg)が削減できることが明らかになった。

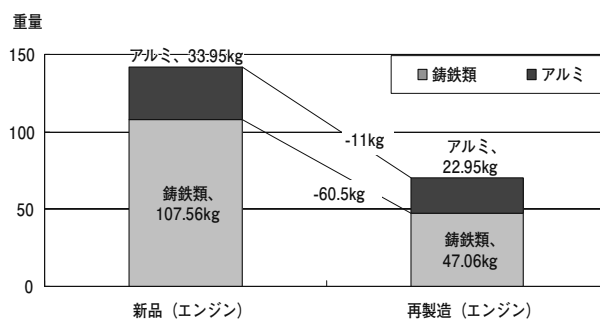


図6-1 生産段階における資源性の削減効果量

◎素材構成における一台あたり素材のCO₂削減効果⁸⁾

図6-2から明らかのように、新エンジンを製造するための「①～⑱部品」素材を生産する際に、839kgのCO₂を排出量される。一方、再製造エンジンは、「①～⑦部品」

表5 AJRエンジン事例に対象部品の材料構成

構成部位	合計重量 (kg)	鉄、鋼材類 (kg)	非鉄金属			非鉄金属		
			アルミ (kg)	銅 (kg)	鉛 (kg)	樹脂 (kg)	ゴム類 (kg)	ガラス/陶 (kg)
再製造部品①～⑦	71.5	60.5	11	なし	なし	なし	なし	なし
交換部品⑧～⑱	78.9	47.06	22.95	0.55	0.12	4.86	2.26	1.13
合計	150.4	107.56	33.95	0.55	0.12	4.86	2.26	1.13

(出典:「上海大众联合发展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の調査データを基に筆者が作成)

素材を生産する必要がないため、「⑧～⑱部品」素材だけを生産するとして、CO₂の排出量は480 kgとなる。再製造エンジンは新エンジンの57%程度になり、CO₂排出量に換算すると359kgが削減できることになる。

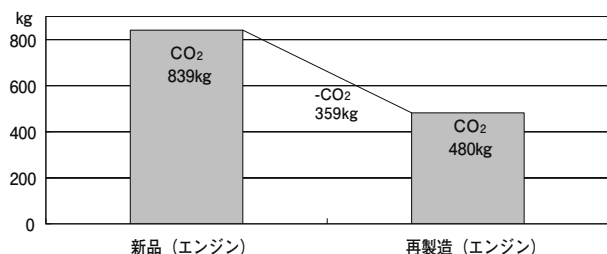


図 6-2 一台当たり素材の CO₂ 排出量

3. 生産プロセスにおけるインベントリ分析と環境影響評価の結果⁹⁾

図 7-1A に示すように、新エンジンの生産プロセスは、A- 鋳造工程、B- 加工工程、C- 高温処理工程、D- 組立工程、E- 検査工程の5段階に分けられる。鋳造工程では、資源から鋳・鍛造素材を作り、消費電力が高い設備を使用しているため、環境負荷が一番高く CO₂ 排出量は359kgとなる。続いて、加工工程では、まず、鋳造素材部品がプロセス B で粗加工してからプロセス C で高温・表面処理を行い、その後プロセス B に戻って部品の公差精度までを加工する。本プロセスでは使用設備も多く

CO₂ 排出量は81.7kgで2番目となり、機械加工で残った5kgの鉄くず、0.9kgのアルミくずは、再生資源として回収されて鉄鋼メーカーでリサイクルされる。よって、CO₂ 排出量の順位は、高温処理工程、検査工程、組立工程となる。一台当たりの各生産プロセスの CO₂ 排出量は図 7-2 に示す。各生産プロセスの入出力データは、附表 3 に表示している。

再製造工場の生産プロセスは、A- 分解工程、B- 洗浄工程、C- 加工工程、D- 組立工程、E- 検査工程に分けられる。図 7-1B のように各生産プロセスフローを表示している。まず、回収された中古・廃エンジンは、「再生資源素材」として分解工程において分解される。次に、分解された「①～⑦再製造部品」は加工可能な部品素材として再製造工場の洗浄、組立を通じて再製造する。分解された「⑧～⑱リサイクル部品」は再生資源としてリサイクルされる。最後に、再製造された「①～⑦部品」と「新しい⑧～⑱部品」はプロセス D で組立されて、プロセス E の検査を通して、新しいエンジン（再製造エンジン）となる。

一台分のエンジンの再製造における各製造プロセスの CO₂ 排出量を図 7-2 に示す。プロセス C（製造 - 加工工程）では、使用設備が多くて消費エネルギーも多いために CO₂ 排出量が56.3kgで1番目となる。次にプロセス B（洗浄工程）である。プロセス D（組立工程）では、多く場合は手作業で組立作業を行うために、消費エネルギー

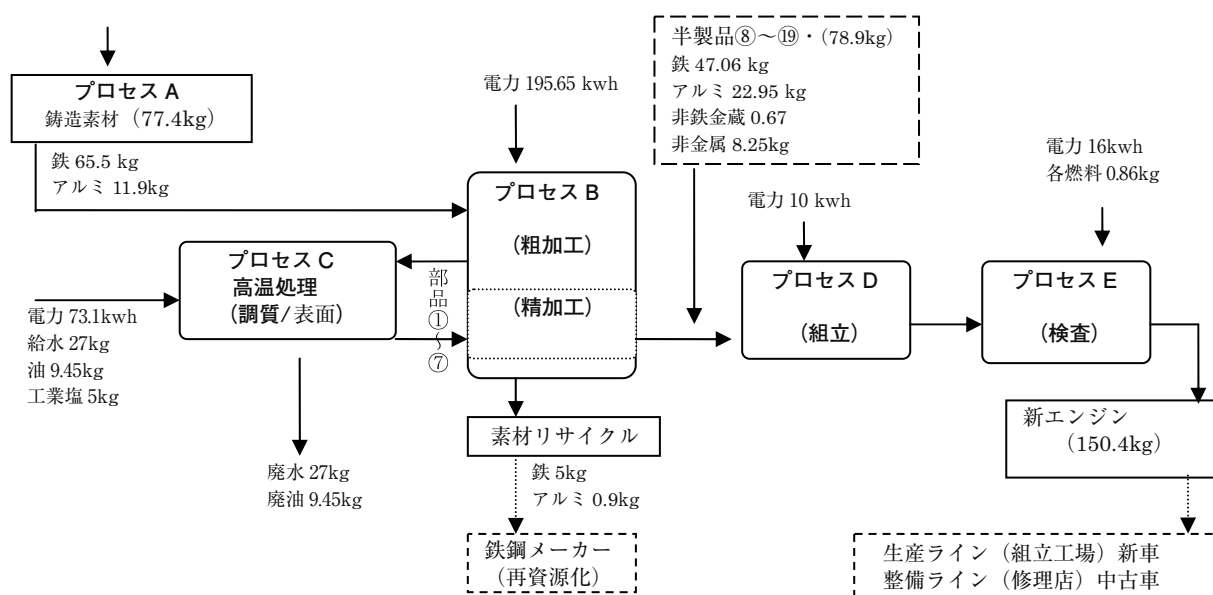


図 7-1A 新エンジン製造工場の各生産プロセスフロー

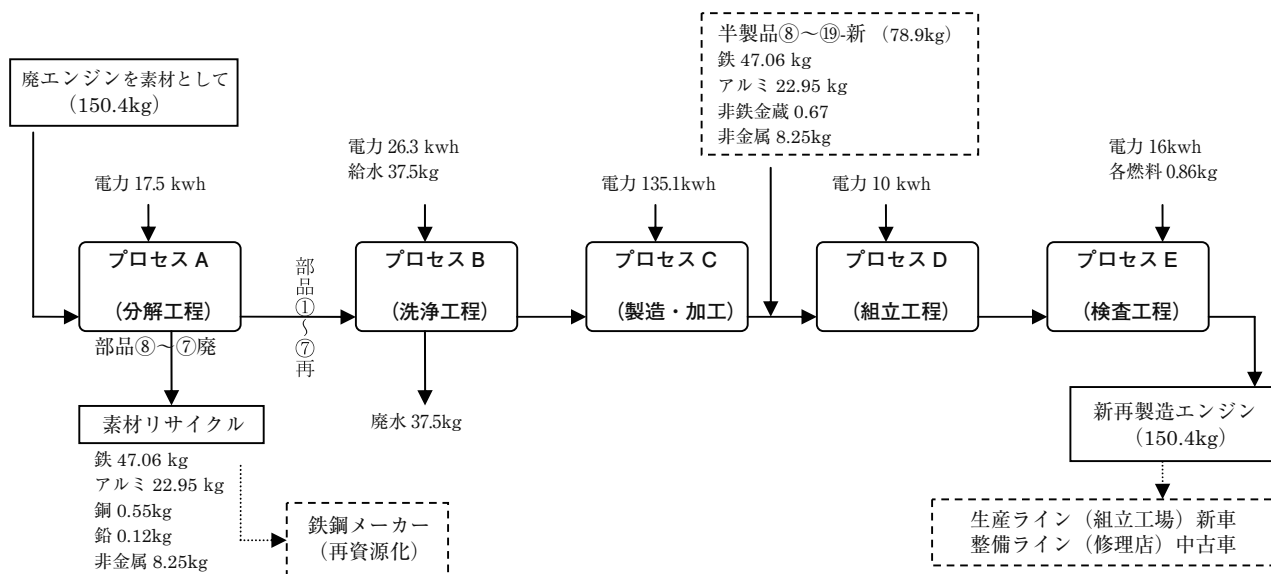


図 7-1B 再製造工場の各生産プロセスフロー

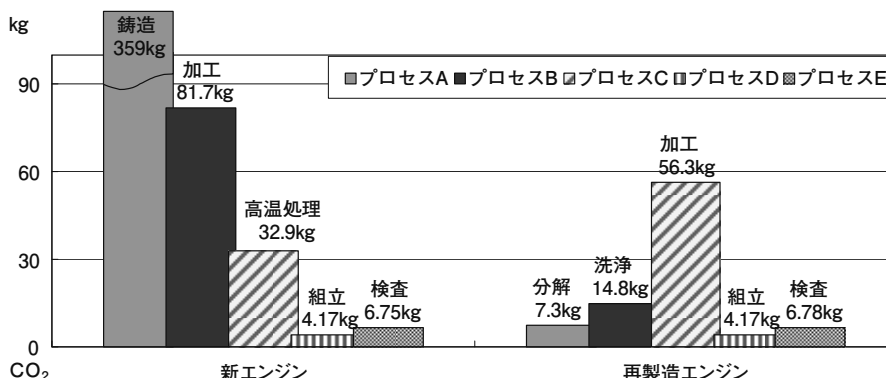


図 7-2 各生産プロセスの CO₂ 排出量

ギーが少ないことで CO₂ 排出量が 4.17kg で 1 番少ない。(各生産プロセスの入出力データは、附表 3 に表示)。

新エンジンと再製造エンジンにおける生産プロセスの使用設備種類の一覧表を附表 4 に示す。

図 7-2 から明らかのように、新エンジンの生産プロセスと再製造エンジンの生産プロセスを比較すると、エンジンの再製造活動によって、環境負荷が大幅に削減できた。新エンジンの生産プロセスの CO₂ 排出量は 964.52 kg なのに対して、再製造エンジンの生産プロセス CO₂ 排出量は 569.35 kg で、再製造エンジンは新エンジンと比較して、CO₂ 排出量は 395.17kg、率にして約 41% の削減となった。

4. 中国のリサイクル部品の活用モデルについて検討

図 8-1 示すように日本のリサイクル部品の再利用は、国内と輸出の 2 つのルートがある。日本では、年間約 500 万台の使用済み自動車が発生するが、約 100 万台は中古車として海外に輸出している。その中古車の流れによって日本のリサイクル部品も大量に海外に輸出されており、リサイクル部品からの利益は自動車リサイクル業者の総収入の半分以上を占めている。矢野経済研究所のデータによると、日本では年間 1,060 億円のリサイクル部品が利用されており、利用率は 3% である。そのうち、中古部品は約 900 億円、リビルト部品は約 160 億円である。しかし、途上国への中古車、リサイクル部品の流れによって、日本国内の環境負荷が削減できたが、しかし、

逆に、途上国の最終処理に伴って海外で環境負荷が増加する懸念がある。また、日本の再生資源が海外への流失する課題もあると考える。

一方、中国では、図8-2で示すようにリサイクル部品の再利用は、すべて国内で再利用されている。再利用ルートは、正規ルートと違法ルートである。正規ルートの再利用は、現地調査の結果によると、利用率は非常に少ない現状がある。大量のリサイクル部品は、廃車の違法流通問題に伴って不正な再利用が横行しており、特に車の5大部品で違法改造車の利用による交通安全性に大きな影響を与えている。現在のリサイクル部品の活用モデルにおいて、品質確認を行わないリサイクル部品の再利用に対して品質保証を確立させることが重要な課題であるとする。

車部品を生産する際には、従来の生産プロセス方式は天然資源・素材から完成製品まで大量なエネルギーを使用するが、しかし、新たな再生プロセス方式（部品の再製造）によって、中古部品及び廃エンジンは、再生可能な資源素材として活用されて、エネルギーを最小化した車製品の生産ができるようになる。「再製造部品」の活用によって、「資源削減効果への貢献」、「CO₂削減効果への貢献」、「省エネルギー生産への貢献」、「交通安全性問題の解消」の4つのメリットがあると考えられる。本稿には、最新製造技術で作られた「再製造エンジン」についての現状分析と環境負荷削減効果の定量分析を通じて、図8-3で示すように「将来」に向けた、品質確認されたリサイクル部品の活用モデルを提言している。

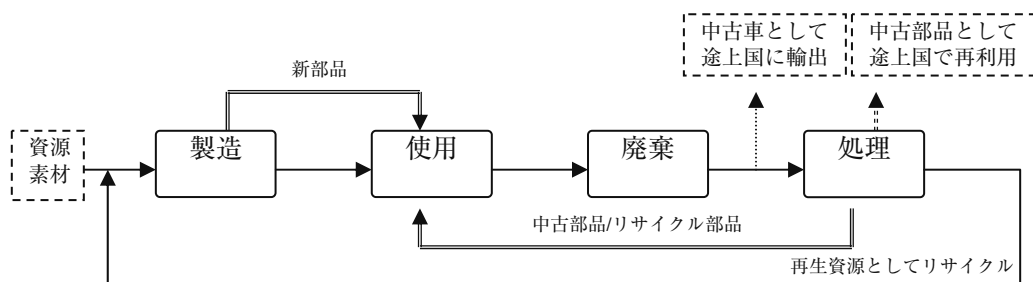


図 8-1 日本のリサイクル部品の活用モデル

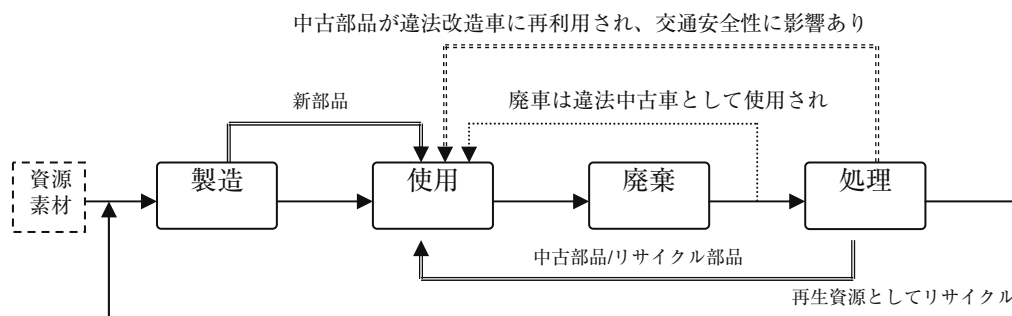


図 8-2 中国のリサイクル部品の活用モデル<現在>

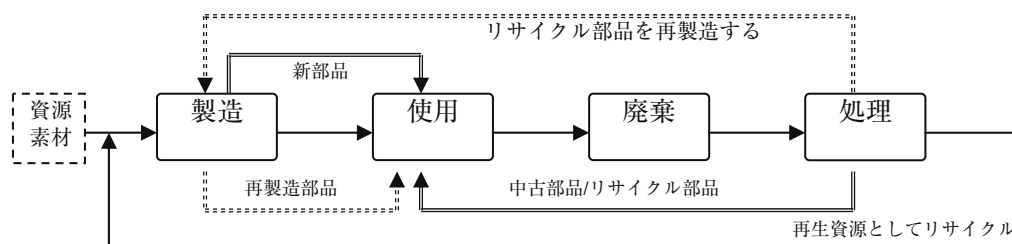


図 8-3 中国のリサイクル部品の活用モデル<将来>

IV. まとめと課題

本稿では、モデル部品（再製造エンジン）に対して、生産段階における現状分析と環境負荷削減効果の定量分析を行った。素材と生産プロセスにおける LCA 分析によって、一台当たりの「資源削減効果」と「CO₂削減効果」について分析した。その結果、再製造エンジンは新エンジンより大幅に削減できることが明らかになった。

素材における「資源削減効果」については、再製造エンジンは新エンジンの 0.5 (50%) 程度になり、その中に、鉄 (60.5kg)、アルミ (11kg) が削減できることが明らかになった。CO₂ の排出量を換算すると 359kg の CO₂ が削減できるようになった。

生産プロセスにおける「CO₂削減効果」については、再製造エンジンは新エンジンの 0.59 (59%) 程度になり、CO₂ 排出量は 395.17kg が削減できるようになった。

また、図 8-3 に示したように将来中国の自動車部品の活用に向けて、品質確認されたりサイクル部品の活用モデルを提言した。ISO9001:2000 の品質確認に基づいて製造された再製造エンジンの活用は、新部品の使用より「資源削減効果への貢献」、「CO₂削減効果への貢献」、「省エネルギー生産への貢献」の 3 つのメリットがあり、品質確認した中古部品の使用による「交通安全性問題」も解消できるので、「自動車リサイクルシステム構造改革」と「自動車生産の構造改革」に対して最適な推進方向であると思われる。

本稿では、素材における LCA 分析する際に、中国の産業連関表についての把握が不十分であるため、(社)日本産業環境管理協会の LCA データベースを参考として、日本の LCA ソフトウェアで分析を実施したため、厳密な中国側の LCA データを利用した分析が出来なかった。今後、中国側の LCA データベースについての文献調査を進めることで中国側の原単位計算で研究を進めたいと考えている。

謝辞

本調査は、「2009 年度 富士ゼロックス小林節太郎記念基金」と「立命館大学・国際的研究活動促進研究費」の研究助成により行われるものである。現地調査にあたり、中国浦東幹部学院の教研部、上海大众の関係者からいろいろな大変お世話になった。ここに記して謝辞を申し上げます。

参考文献・参考資料

- ・中国国家経済貿易委員会「廃棄自動車回収・解体管理規則」、2003 年
- ・中国国家経済貿易委員会「中古車流通管理規則」2005 年
- ・中国国家発展委員会、環境省「自動車製品回収利用技術政策」2006 年
- ・中国国家発展委員会「自動車部品再製造試験管理弁法」2008 年
- ・「大众瑞貝德動力総成有限公司」AFE、AJR エンジンの総部品一覧表（内部データであるため公表できない）
- ・「上海大众聯合發展有限公司」『再製造自動車部品市場調査報告書』2008 年版
- ・エンジンテクノロジー編集委員会「自動車エンジン要素技術」山海堂 2005 年
- ・日本自動車部品工業会「自動車部品の LCI データの概要」2004、2005 年版
- ・東京商工会「企業経営と LCA」pp.23～31、2000 年
- ・竹島修平「自動車用鉛蓄電池における LCA」FB テクニカニュース No.57 号、pp.3～7、2001 年
- ・永田勝也、小野田弘士「自動車リサイクル部品の利用促進のための環境貢献ポイントシステムの開発」廃棄物学会 (2008)
- ・船崎 敦「自動車シュレッダーダスト処理に関するライフサイクルアセスメント」エネルギー資源、pp.62～67、2003 年
- ・船崎 敦・種田克典「2002 年使用済み乗用車の LCA、自動車研究、pp.36～39、Vol.22、No.12、2000.12
- ・船崎敦・種田克典、自動車 LCA のためのインベントリー作成の考え方 (4) - ライフサイクルにおける車両構成材料の物質フロー -、自動車研究第 23 巻第 10 号、(2001)、pp.46～53
- ・布施正暁「日本発使用済み自動車の資源性の評価」第 2 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 pp.294～295 (2007)
- ・石津恒雄「自動車用ガラス LCI」第 2 回日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 pp.44～45 (2008)

注

- 1) 本研究の分析に際しては、日本産業管理協会のライフサイクルアセスメント実施ソフトウェア「JEMAI-LCA」と「Simple-LCA」を利用して関連分析を行った。当協会 HP は、<http://www.biz.jemai.or.jp/>
- 2) 2001 年「廃棄自動車回収・解体管理規則 307 号令」によって、「エンジン、トランスミッション操舵装置、ステアリング、フレーム、前後サスペンション」5 大部品の再利用を禁止する。
- 3) 2008 年「自動車部品再製造試験管理弁法」によって、エンジン、トランスミッション、ステアリング、発電機、モーター、の 5 品目を限定して再製造試験を実施する。但し、再製造する権利は、試験企業の自動車メーカー 3 社と部品製造企業 11 社であり、再製造された製品は新車への使用が禁止する。

- 4) 「+加工法」は、基本的に「外形が小面積・単純型面を持つ部品と磨耗・劣化が少ない部品」に対応する。イメージを図4示すように棒型部品は外部面に、穴型部品は内部面に「イオン層」を被せる。本加工方法の長所は、加工公差精度が高い特徴であり、短所は原価が高くて加工サイクルが長い点がある。
- 5) 「-加工法」は、公差範囲内の加工をするために、理論的に部品の元サイズは大きな変化はない。基本的に「外形が大面積・複合型面を持つ部品と磨耗・劣化が多い部品」に対応する。イメージを図5示すように棒型部品は外部面に、穴型部品は内部面を削・研磨する。本加工方法の長所は、原価が安く加工サイクルが短い点である。一方短所は、加工表面の金属硬度は大きく加工方法より弱い。
- 6) 「大众瑞貝徳動力総成有限公司」の内部資料によって、エンジンの寿命は、鉄、アルミなどの金属の寿命を計算すれば；新エンジンの寿命を（20万 km /20年）と設定する場合は、再製造エンジンの寿命はその本割程度で（10万 km /10年）となる。
- 7) 「上海大众联合发展有限公司」の『再製造汽車部品市場調査報告書 2008』を参考とした。
- 8) 素材における LCA 分析をする際に、中国の産業連関表についての把握が不十分であるため、日本（社）産業環境管理協会の LCA データベースを参考として、日本の LCA ソフトウェアで分析を実施した。そして、CO2 排出量の算出原単位も日本の経済産業省のデータを参考にして $1\text{kwh} = 0.555\text{kg}(\text{CO}_2)$ で換算している。
- 9) 生産プロセスにおけるインベントリ分析では、中国の新エンジンと再製造エンジンの生産工場を訪ねて、現場で各部品の生産データ（入力・出力項目）を測定して、日本の LCA ソフトウェアで分析を実施した。各部品の生産データの測定方法は、「部品分け」、「プロセス分け」で測定を行った。具体的に、「部品分け」では、各部品の（材料構成 / 重量、加工時間原単位、消費電力原単位）を測定し；「プロセス分け」では、各プロセスの（入力項目：消費エネルギー / 設備の使用電力・燃料、素材 / 新・再生、給油、給水、工業塩）と（出力項目：大気圏排出物、水圏排出物、回収物・リサイクル）を測定した。

参考資料

附表1 AFE / AJR エンジンの性能データ

	時 / 回転 r/min,	定額効率 Nennleistung	回転パワー (N.m) Max.Drehmoment	最大回転数 r/min	燃費効率 L/100km	圧縮比 Verdichtung	排出量 (L)
〈参考〉 AFE エンジン	5200	72 (± 63) kw	150 (± 138)	3300	8.11 L/100km (7.7 L/100km)	8.5	1.8
AJR エンジン	5200	74 (± 63) kw	155 (± 138)	3800	7.1 L/100km (7.3 L/100km)	8.5	1.8

(出典：「上海大众联合發展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の調査データを基に筆者が作成)

附表2 対象部品の材料構成比率と部品仕様

構成部位 (エンジン)		主要の部品 (材料区分)	AJR		備考
			重量 (kg)	比率 %	
再製造部品	① シリンダーヘッド (缸蓋)	・アルミ地金	11	7.3	
	② シリンダーブロック (缸体)	・ 鋳鉄、鋼材類	40	26.6	
	③ カムシャフト (凸輪軸)	・ 鋳鉄、鋼材類	1.3	0.9	
	④ クランクシャフト (曲軸)	・ 鋳鉄、鋼材類	15.6	10.4	
	⑤ コンロッド (连杆) × 4	・ 鋳鉄、鋼材類	1.5	0.99	
	⑥ 中間シャフト (中間軸)	・ 鋳鉄、鋼材類	1	0.66	
	⑦ バルブ (汽門閥) × 8	・ 鋳鉄、鋼材類	1.1	0.73	
	合計 A		71.5	47.5	
交換部品 (新品)	⑧ ベアリングキャブ	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑨ スターターモーター (启动马达)	・ 非鉄金属 (銅 / アルミ)	-	-	
	⑩ フライホイール (传动齿轮)	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑪ バルブスプリング (弹簧)	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑫ タイミングギア (動力齿轮)	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑬ タイミングベルト (传送带)	・ ゴム類	-	-	
	⑭ ピストン (活塞)	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑮ インジェクタ (电噴)	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑯ ロッカーアーム	・ 鋳鉄、鋼材類	-	-	
	⑰ スパークプラグ (火花塞)	・ 鋳鉄、鋼材類 (ガラス / 陶)	-	-	
⑱ シリンダヘッドガスケット	・ 樹脂 / 鋼材類 (メタル積層)	-	-		
⑲ その他部品	・ 鋳鉄、鋼材類、アルミ、	-	-		
	合計 B		78.9	52.4	
対象車の (エンジン) 重量		合計 C (総重量) =A+B	150.4	100	

(出典：「上海大众联合發展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の調査データを基に筆者が作成)

附表3 各生産プロセスの入出力データ項目の一覧（単位プロセスのデータ収集）（生産LCA分析）

新エンジン生産段階		プロセスA 鋳造	プロセスB 加工工程	プロセスC 高温処理	プロセスD 組立工程	プロセスE 検査工程	新部品 生産	合計	備考	
入力 項目	エネルギー	購入電力 kwh 各燃料 kg	641	195.65	73.1	10	16 0.86	857	1789.25 0.86	△ ○
	素材	鋳造素材 (kg)	77.4	-	-	-	-	-	77.4	○
	新部品	⑧～⑱部品 (kg)	-	-	-	-	-	78.9	78.9	○
	給油	補給分 (kg)	-	-	9.45	-	-	-	9.45	○
	給水	補給分 (kg)	-	-	27	-	-	×	27	○
	工業塩	補給分 (kg)	-	-	5	-	-	×	5	○
出力 項目	主製品	①～⑦製品 (kg)	-	71.5	-	-	-	-	71.5	○
	大気圏 排出物	CO ₂ (kg)	359	81.7	32.9	4.17	6.75	480	964.52	△
		NO _x 、NO ₂ (kg)	0.45	0.42	0.019	0.002	0.004	0.757	1.28	△
		SO _x SO ₂ (kg)	0.598	0.015	0.001	0.0007	0.001	1.11	1.73	△
	水圏 排出物	廃水 (kg)	-	-	27	-	-	×	27	○
		廃油	-	-	9.45	-	-	×	9.45	○
回収物 リサイクル	鋼材類 (kg)	-	5	-	-	-	×	5	○	
	アルミ (kg)	-	0.9	-	-	-	×	0.9	○	
再製造エンジン生産段階		プロセスA 分解工程	プロセスB 洗浄工程	プロセスC 加工工程	プロセスD 組立工程	プロセスE 検査工程	新部品 生産	合計		
入力 項目	エネルギー	購入電力 kwh 各燃料 kg	17.5	26.3	135.1	10	16 0.86	857	1061.9 0.86	△ ○
	素材	素材として (kg) ①～⑱廃部品	150.4	-	-	-	-	-	77.4	△
	新部品	⑧～⑱部品 (kg)	-	-	-	-	-	78.9	78.9	○
	給水	補給分 (kg)	-	○ 37.5	-	-	-	×	37.5	○
出力 項目	主製品	①～⑦製品 (kg)	71.5	-	-	-	-	-	71.5	○
	大気圏 排出物	CO ₂ (kg)	7.3	14.8	56.3	4.17	6.78	480	569.35	△
		NO _x 、NO ₂ (kg)	0.0037	0.0076	0.0289	0.0021	0.0035	0.758	0.804	△
		SO _x SO ₂ (kg)	0.0013	0.0027	0.0102	0.0007	0.0013	1.11	1.13	△
	水圏 排出物	廃水 (kg)	-	37.5	-	-	-	×	37.5	○
		COD (mg)	-	-	-	-	-	×	150	△
	回収物 リサイクル	ガラス類	1.13	-	-	-	-	-	1.13	△
		樹脂	4.86	-	-	-	-	-	4.86	△
		ゴム類	2.26	-	-	-	-	-	2.26	△
		鋼材類 (kg)	47.06	-	-	-	-	-	47.06	△
アルミ (kg)		22.95	-	-	-	-	-	22.95	△	
銅 (kg)		0.55	-	-	-	-	-	0.55	△	
鉛 (kg)		0.12	-	-	-	-	-	0.12	△	
	小計	78.9								

(出典：「上海大众联合发展有限公司」、「大众瑞貝德動力総成有限公司」の調査データを基に筆者が作成)

○：提供能（調査）、□と△：参考値（文献・資料算出）、×：提供不可能、-：対象外

附表4 生産プロセスの使用設備一覧表

新エンジン生産工場		再製造エンジン生産工場	
プロセス A (鋳造)	1- 高温電炉 (1200 ~ 1400 ° C)	プロセス A (分解)	1- 高温電炉 (630 ° C) 2- 分解システム
プロセス B (高温処理)	2- 高温電炉 (900 ° C) 3- 熱処理機 (油) 4- 洗浄槽 5- 電炉 (500 ~ 600 ° C) 6- 表面処理機 7- 表面処理槽 8- 廃水処理機	プロセス B (洗浄)	3- 専用洗浄機 -AF458 4- 廃水処理機 5- 表面処理機
プロセス C (加工)	9- 加工機械 a- 外園削 10- 加工機械 b- 内園削 11- 加工機械 c- 両面削 12- 加工機械 d- 平面削 13- 加工機械 e- 平面研磨 14- 加工機械 f1- 外園研磨 15- 加工機械 -バルブ研磨 16- 加工機械 g1- 内研磨 (シリンダーブロック) 17- 加工機械 g2- 内研磨 コンロッド研磨 18- 加工機械 h- ガスケット 19- 補助設備 a- 空気圧縮 20- 補助設備 b- 冷・溶接 21- 補助設備 c- 氬・溶接	プロセス C (加工)	6- 加工機械 a1- 外園削 7- 加工機械 b1- 内園削 8- 加工機械 c2- 両面削 9- 加工機械 d1- 平面削 10- 加工機械 e- 平面研磨 11- 加工機械 f1- 外園研磨 12- 加工機械 -バルブ研磨 13- 加工機械 g1- 内研磨 (シリンダーブロック) 14- 加工機械 g2- 内研磨 コンロッド研磨 15- 加工機械 h- ガスケット 16- 補助設備 a- 空気圧縮 17- 補助設備 b- 冷・溶接 18- 補助設備 c- 氬・溶接
プロセス D (組立)	22- 組立システム	プロセス D (組立)	19- 組立システム
プロセス E (検査)	23- 検査システム a- 総 24- 検査システム b1- 走行* 25- 検査システム b2- 走行 26- 検査システム c2- 圧	プロセス E (検査)	20- 検査システム a- 総 21- 検査システム b1- 走行* 22- 検査システム b2- 走行 23- 検査システム c2- 圧

(出典：「上海大眾聯合發展有限公司」、「大眾瑞貝德動力總成有限公司」の調査データを基に筆者が作成)

* - 製造されたエンジンはテストする際に、検査システム a、b、c 三種類テスト検査を行う、b1 設備と b2 設備は同じ走行テストの設備であり、どちらかの一回だけでテスト検査を行う。