

大型ポンプの生産活動におけるLCA

小塚 浩志* 江藤 康子* 岡崎 春雄**
横須賀 愛子** 羽鳥 之彬**

LCA for Production of Large-sized Pumps

by Hiroshi KOZUKA, Yasuko ETO, Haruo OKAZAKI, Aiko YOKOSUKA, & Yuki Yoshi HATORI

LCA (Life Cycle Assessment) is a method of assessing the life cycle of a product to grasp its environmental impact, from its manufacturing, usage and all the way to its disposal. An LCA database, featuring environmental impact unit data of the supply chain compiled from environmental and production management data from Ebara's Haneda Plant and associate companies, has been created. An LCA system which uses this database for calculating the environmental impact of each product from its specifications has been developed. This system enables easy calculation of environmental impact by custom ordered, large-sized pumps, thus making it possible for us to contribute to environmental protection by offering eco-friendly products. The promotion and implementation of activities for minimizing environmental impact can be done efficiently as the system is capable to reveal problems in each manufacturing process.

Keywords: LCA of product, Database by basic unit, Eco-friendly products, Activities for reducing environmental impact, Supply chain, Global warming potential, Photochemical ozone creation potential, Recycling

1. はじめに

LCA (Life Cycle Assessment) は、製品の製造から使用、廃棄に至るまでの資源・エネルギーの消費、排出物の発生など環境負荷を把握し、評価する手法である。積上げ法では、製造段階における環境負荷を、製品を構成する部品ごとに積算する。しかし、受注生産である当社羽田工場の製品は、部品ごとに環境負荷を求め積算する積上げ法では、全製品について環境負荷を把握するには作業量が膨大になる。そこで、環境負荷を、製品、部品ごとのデータ、すなわち、材料、質量、工数など見積時に使用する製作仕様とリンクさせ、環境負荷を見積金額と同時に計算する方法を検討した。

その方法として、羽田工場及び国内にある協力会社の環境管理部門が保有する年間の環境データ（資源・エネルギーの消費量、大気・水質への排出量、廃棄物量など）と生産管理部門が保有する生産管理データ（作業時間、質量、台数など）を組み合わせ、サプライチェーンの環境負荷原単位を算出しデータベース化した。このデー

タを使用し、個々の製品については、製品及び部品の製作仕様（材料、質量、工程、作業時間等）を使用して環境負荷を算出するシステムを構築した。

この方法により、受注生産である羽田工場の製品についても、 casting, 製缶, 鍛造, 熱処理, 外注機械加工など購入先の製造工程を含む製造段階における環境負荷の算出が容易になると共に、各工程における環境管理上の課題を明らかにすることができた。

また、素材の輸送、外注加工業者の輸送、製品出荷及び廃棄物の輸送による環境負荷の把握、並びに廃棄物のリサイクル有効性についても検討した。

本研究は、2003年度に開始し、第1期（2003年度）は予備調査として羽田事業所全体を対象に評価した。第2期（2004年度）は羽田工場の各工程（設計を含む）、鍛造工程及び外注機械加工工程について評価した。第3期（2005年度）は羽田工場の最新データを精査した。また、製缶工程、鍛造工程及び熱処理工程について評価した。

次に、第2期及び第3期の結果をまとめて報告する。

2. 目的

大型ポンプを製造するための原材料及び各工程の環境負荷を把握し、次の目的に使用する。

* コーポレート 羽田事業所 環境管理グループ

** 同 安全保障貿易管理室

** ビーイーアジア株

(1) 製品LCAを行うための原単位データベースの構築及び環境配慮製品の提供

(2) 各工程における問題点の把握と環境負荷低減のための対策検討・実施

3. 解析対象及び使用データ

評価対象の全体像を図1に示す。羽田工場並びに铸造工程、製缶工程、鍛造工程、熱処理工程及び外注機械加工工程の各協力会社の解析対象を次に示す。

3-1 羽田工場

機能単位は「2004年度の羽田工場における大型ポンプ、高圧ポンプなどの生産活動」とした。出荷質量は8965 t (605台) である。

3-1-1 各工程の環境負荷

羽田工場では、ユーティリティとして、電力、都市ガス、プロパンガス、ガソリン、軽油、灯油、上水を使用し、副資材・消耗品として、塗料、溶剤、洗浄剤、プラスチック、砂、潤滑油、切削油、接着剤、紙・ダンボールなどを使用している。塗料、溶剤、洗浄剤には、VOC (揮発性有機化合物)、樹脂及び重金属 (亜鉛等) の化学物質が含まれる。

また、生産活動の結果、金属屑、解体材 (木屑)、廃プラスチック、紙・ダンボール、廃砂、廃油、廃水・廃液、砥石屑などの廃棄物、燃焼排ガスやVOCなどの大気排出物、及びCOD, NH₃, P, Nや重金属を含む水域排出物を排出する。

以上のユーティリティ、副資材・消耗品、排出物は、各工程の使用区分、保有設備及び電力監視データを基に

表1 羽田工場の使用データ
Table 1 Data from Haneda Plant

開発・設計 Development and design	入力データ In	電力 Electricity
機械加工 Machining	入力データ In	電力, ガソリン, 灯油 Electricity, gasoline, kerosene
	出力データ Out	廃棄物, 燃料の燃焼による大気排出物, 副資材・消耗品のVOCの揮発による大気排出物 Wastes, emission to air by fuel combustion, VOCs to air from sub-materials and consumables
組立 Assembly	入力データ In	電力, ガソリン, 灯油, プロパンガス Electricity, gasoline, kerosene, propane gas
	出力データ Out	燃料の燃焼による大気排出物, 副資材・消耗品のVOCの揮発による大気排出物 Emission to air by fuel combustion, VOCs to air from sub-materials and consumables
試験(段取) Pre-arrangement	入力データ In	上水, 電力, 灯油 Water, electricity, kerosene
	出力データ Out	燃料の燃焼による大気排出物, 副資材・消耗品のVOCの揮発による大気排出物 Emission to air by fuel combustion, VOCs to air from sub-materials and consumables
試験(動力) Mechanical and Performance test	入力データ In	電力 Electricity
	出力データ Out	廃棄物 Wastes
塗装 Painting	入力データ In	電力, 都市ガス, 塗料, 溶剤 Electricity, city gas, paints, solvents
	出力データ Out	廃棄物, 燃料の燃焼による大気排出物, 塗料, 溶剤及びその他副資材・消耗品のVOCの揮発による大気排出物, 排水による水域排出物 Wastes, emission to air by fuel combustion, VOCs to air from paint, solvents sub-materials and consumables, discharge of wastewater treatment effluent to water bodies
物流 Distribution	入力データ In	ガソリン, 軽油 Gasoline, diesel fuel
	出力データ Out	燃料の燃焼による大気排出物 Emissions to air by fuel combustion
その他及び共通 Other typical processes etc.	入力データ In	上水, 電力, ガソリン, 灯油, 排水処理用薬品, 消耗品 Water, electricity, gasoline, kerosene, chemicals for wastewater treatment, consumables
	出力データ Out	排水, 廃棄物, 燃料の燃焼による大気排出物, 副資材・消耗品のVOCの揮発による大気排出物, 排水による水域排出物 Wastewater, wastes, emission to air by fuel combustion, VOCs to air from sub-materials and consumables, discharge of wastewater treatment effluent to water bodies
輸送(出荷) Transportation (Shipment)	入力データ In	消耗品(ダンボール), 軽油 Consumables (corrugated cardboard), diesel fuel
	出力データ Out	燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion

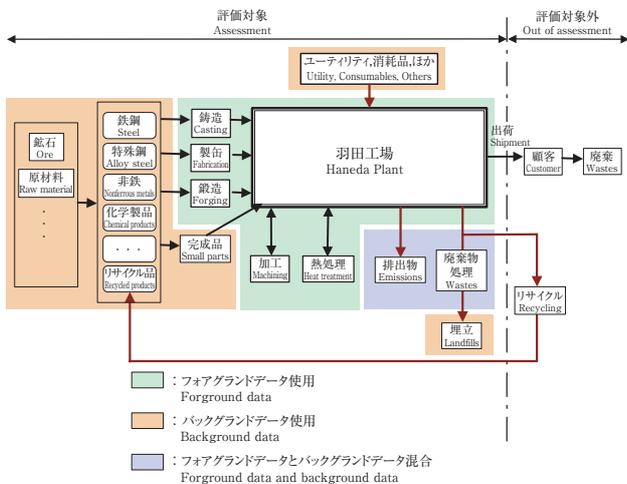


図1 大型ポンプLCAの全体像
Fig. 1 Overview of LCA flow for large-sized pump

配分した。一方、工場の共通設備、配分が困難な消耗品、試験用を除く上水、金属屑及び砥石屑を除く廃棄物、重金属を除く水域排出物は工場共通とした。

解析に使用した入力及び出力データは、可能な限り実

測値を使用した。次については計算値、分析値、推定値、バックグラウンドデータを使用した。

(1) 塗装、溶剤、洗浄剤に含有する化学物質量は、MSDS（製品安全データシート）などにより計算した。塗料については、全使用量の87%について含有物質及び含有率を調査し、使用量が少ない残りの塗料は、これらと同じ成分と仮定した。

(2) プラスチック、砂、潤滑油、紙・ダンボールなど副資材・消耗品の使用量は、使用量の把握が困難なため、廃棄物と同量であると設定した。

切削油、接着剤、その他の副資材・消耗品は、使用量が全体質量の1%以下であることから対象外とした。

(3) 燃料の燃焼による大気排出物は、解析ソフトのバックグラウンドデータを採用した。

(4) 下塗塗装作業の約20%が密閉した塗装ブースで行われ、VOCは燃焼焼却処理されていることから、下塗塗装の樹脂塗料に含まれるVOCは使用量の75%、それ以外の塗料は95%が大気排出すると設定した（5%は廃棄物として排出される）。

(5) 排水による水域排出物の対象物質は、過去に使用履歴がある、あるいは過去に検出されている7物質（COD、NH₃、P、N、Cu、Zn、Pb）とした。水域排出物量は、工場内2箇所から採取した試料の高い方の分析値を採用し、上水使用量を乗じて算出した。

各工程に配分した使用データを表1に示す。

3-1-2 輸送

国内調達を前提として、素材は鋳造品だけを対象とし、製品質量の10%程度を占める購入品は宅配便が多いため、対象外とした。対象とする輸送及びその輸送量の積

算は次のとおりとした。

(1) 鋳造品の片道輸送〔株荏原金属から羽田工場までの製品出荷（委託工場から直接羽田工場に納入される分を含む）〕

年間出荷量から輸送回数を推定し、年間輸送量を推計した。

(2) 主要な外注機械加工業者（21社）の往復輸送アンケートにより、距離、平均積載量、輸送回数を調査し、年間輸送量を推計した。

(3) 羽田工場からの製品出荷（仕立便による片道輸送とし、定期便を利用する小口貨物は対象外とした）

出荷統計及び積載量のサンプリング調査を基に年間輸送量を推計した。

(4) 羽田工場から中間処理場及び最終処分場までの廃棄物の片道輸送

マニフェスト記録から、輸送回数、積載量を算定し、年間輸送量を推計した。

3-1-3 リサイクルの有効性

羽田工場では、廃棄物を30種類以上に分別し、処理を委託している。廃棄物量全体の約82%を占める金属屑（鋳物屑、鋼屑）、解体材（木屑）、廃プラスチック、紙類、ダンボールについて、評価シナリオを設定し、リサイクルによる環境負荷回避分を評価した。

評価シナリオを表2に示す。

3-2 鋳造工程（株荏原金属）

大型ポンプのケーシング、羽根車など主要部品は鋳造品である。鋳造工程は、羽田工場の主要調達先である株荏原金属を代表として解析した。

機能単位は「2003年度の荏原金属における鋳造活動」

表2 廃棄物の評価シナリオ
Table 2 Scenarios of waste assessment

廃棄物 Wastes	処理工程 Treatment process	リサイクルによる環境負荷回避分 Avoidance of impact on environment by recycling
鋳物屑 Cast iron scrap	再生処理で再生鋳物を製造 From cast iron scrap to recycled cast iron	同量の銑鉄の製造 Puroduction of pig iron with equivalent amount
鋼屑 Steel scrap	再生処理で再生鋼を製造 From steel scrap to recycled steel	同量の銑鉄の製造 Puroduction of pig iron with equivalent amount
解体材 Wooden pallet	処理能力1000 kg/dの破砕処理と設定（燃料チップ製造） The capacity of crushing : 1000 kg/d (Fuel chip production)	燃料チップと同量の熱量を供給する重油製造と設定 Conversion into heavy oil to supply calorific values equivalent to those of fuel chips
廃プラスチック Waste plastics	焼却炉で燃焼し、熱エネルギーを回収 Combustion in incineration plant Thermal energy recovery	回収熱エネルギーと同量の重油熱エネルギーと設定 Conversion into heavy oil to be equivalent to that of recovered heat
紙類 Waste paper	新聞紙から新聞紙へ再生 From newspapers to recycled newspapers	バージンパルプによる同量の新聞紙の製造 Production of newspapers equivalent in amount to that produced from primary pulp
ダンボール Waste corrugated cardboard	ダンボールからダンボールへ再生 From corrugated cardboard to recycled corrugated cardboard	バージンパルプによる同量のダンボールの製造 Production of corrugated cardboard equivalent in amount to that produced from primary pulp

表3 荏原金属の環境データ
Table 3 Data from EBARA MATERIAL

入力データ In	
FC及びSCS原材料の量 FC and SCS (Materials)	購入量 Purchased amount
副資材・消耗品使用量 Sub-materials and consumables	購入量 Purchased amount
ユーティリティ、エネルギー使用量 Energy consumption of utility	実測値 Measured
出力データ Out	
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data
VOCの揮発による大気排出物 Emission to air by volatilization of VOCs	計算値 Calculated value
排水による水域排出物 Discharge to water body as wastewater treatment effluent	分析値 Analytical value
廃棄物量 Wastes	実測値 Measured

とした。溶解質量は2441 tである。使用データを表3に示す。

3-3 大物製缶工程（鈴鹿事業所）

大型ポンプには、大物製缶品と小物製缶品が使われており、ポンプ架台、モータ台などの大物製缶工程は、鈴鹿事業所を代表として解析した。

機能単位は「2004年度の鈴鹿事業所における製缶活動」とした。出荷質量は2143 tである。

使用データを表4に示す。

3-4 大物鍛造工程，熱処理工程（A社）

高圧ポンプでは鍛造品が使われていること、また大型ポンプでも軸材など一部に大物鍛造品が使われており、A社を大物鍛造工程の代表として解析した。併せて、A社は熱処理を行っており、熱処理工程についても解析した。

機能単位は「2004年6月～2005年5月のA社における鍛造活動」とした。売上高は25億円、従業員数は46名、出荷質量は6556 tである。

使用データを表5に示す。

3-5 小物鍛造工程（B社）

大型ポンプには、軸継手などに鍛造品が使われており、B社を小物鍛造工程の代表として解析した。

機能単位は「2004年10月～2005年9月のB社における鍛造活動」とした。売上高は7億円、従業員数は16名、出荷質量は1300 tである。

使用データを表6に示す。

3-6 小物製缶工程（C社）

大型ポンプには、共通ベース、軸受台などに製缶品が使われており、C社を小物製缶工程の代表として解析した。

表4 鈴鹿事業所の環境データ
Table 4 Data from Suzuka District

入力データ In	
原材料の量 Materials	購入量 Purchased amount
副資材・消耗品使用量 Sub-materials and consumables	購入量 Purchased amount
ユーティリティ、エネルギー使用量 Energy consumption of utility	実測値 Measured
出力データ Out	
溶断ガス類の燃焼による大気排出物 Emission to air by gas combustion for plate cutting	計算値 Calculated value
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data
VOCの揮発による大気排出物 Emission to air by volatilization of VOCs	計算値 Calculated value
排水による水域排出物 Discharge to water body as wastewater treatment effluent	分析値 Analytical value
廃棄物量 Wastes	実測値 Measured

表5 A社の環境データ
Table 5 Data from A Company

入力データ In	
ユーティリティ、エネルギー使用量 Utility, energy consumption	実測値 Measured
消耗品使用量 Consumables	購入量 Purchased amount
出力データ Out	
加熱炉，熱処理炉からの大気排出物 Emission to air from heating furnace and heat-treating furnace	分析値 Analytical value
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data

表6 B社の環境データ
Table 6 Data from B Company

入力データ In	
ユーティリティ、エネルギー使用量 Utility, energy consumption	実測値 Measured
消耗品使用量 Consumables	購入量 Purchased amount
出力データ Out	
加熱炉からの大気排出物 Emission to air from heating furnace	バックグラウンドデータ Background data
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data

機能単位は「2004年度のC社における製缶活動」とした。売上高は7.2千万円、従業員数は4名、出荷質量は224 tである。

使用データを表7に示す

表7 C社の環境データ
Table 7 Data from C Company

入力データ In	
エネルギー使用量 Energy consumption	実測値 Measured
消耗品使用量 Consumables	購入量 Purchased amount
出力データ Out	
溶断ガス類の燃焼による大気排出物 Emission to air by gas combustion for plate cutting	計算値 Calculated value
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data

表8 外注加工の環境データ
Table 8 Data from outsourced machining

入力データ In	
エネルギー使用量 Energy consumption	実測値 Measured
消耗品使用量 Consumables	購入量 Purchased amount
出力データ Out	
燃料の燃焼による大気排出物 Emission to air by fuel combustion	バックグラウンドデータ Background data

3-7 外注機械加工工程 (3社)

羽田工場では、軸材、小物品の機械加工はほとんどが外注化されており、軸材を加工する外注加工A社、中物を加工する外注加工B社及び小物を加工する外注加工C社を代表として解析した。

機能単位は「2003年度の外注機械加工各社における生産活動」とした。売上高は外注加工A社：4.1億円、外注加工B社：1.7億円、外注加工C社：5千万円、従業員数は外注加工A社：21名、外注加工B社：16名、外注加工C社：4名である。

使用データを表8に示す。

4. 評価項目

本解析に使用するバックグラウンドデータ及び解析ソフトは、ピーイーアジア(株)が保有するLCA解析ソフトGabi4を使用して、次の環境影響について評価した。

4-1 地球温暖化ポテンシャル

GWP (Global Warming Potential) は、化石燃料の燃焼により発生するCO₂やCH₄などの温室効果ガスによって地球温暖化が引き起こされる度合を示したものである。各物質のGWPはCO₂を基準とし、CO₂による温室効果への寄与度を1として算出する。

また、それぞれのガスは、大気中での滞留時間が異なるため、20年、100年といった時間変動を考慮している。

主な物質の100年を基準としたGWP(100)は、CH₄ = 23, N₂O = 296, フロン類は4600~11900である。

4-2 酸性化ポテンシャル

AP (Acidification Potential) は、化石燃料の燃焼により発生するNO_xやSO₂などが溶け込んでいる酸性雨などにより、森林破壊や生物への影響を引き起こす度合を示したものである。各物質のAPはSO₂を基準とし、SO₂排出による酸性化への寄与度を1として算出する。

主な物質のAPは、NO_x = 0.7である。

4-3 富栄養化ポテンシャル

EP (Eutrophication Potential) は、大気や水域に排出されたNやPが湖沼や海水域に流入して富栄養化を引き起こす度合を示したものである。各物質のEPはPO₄³⁻ (リン酸イオン)を基準とし、PO₄³⁻による富栄養化の寄与度を1として算出する。

主な物質のEPは、COD = 0.022, NO_x = 0.13である。

4-4 一次エネルギー消費量

一次エネルギー消費量は、素材、副資材の製造に必要な原油、無煙炭、褐炭、天然ガス、ウランのエネルギー量を評価したものである。

各物質1g当たりのエネルギーは、原油 = 約42 MJ, 無煙炭 = 25~30 MJ, 褐炭 = 8~10 MJ, 天然ガス = 約46 MJ, ウラン = 450000~560000 MJである。

4-5 光化学オキシダントポテンシャル

POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) は、工場や自動車などから排出されるNO_xとVOCが紫外線によって光化学反応を起こし、O₃ (オゾン)、アルデヒド類などの光化学オキシダントを生成し、光化学スモッグを引き起こす度合を、ヨーロッパにおけるベースラインを基準に示したものである。各物質のPOCPは、各VOCの排出量によるオゾン濃度変化をC₂H₄ (エチレン)基準とし、C₂H₄による光化学オキシダント形成の寄与度を1として算出する。

主な物質のPOCPは、トルエン = 0.637, キシレン = 1.06, エチルベンゼン = 0.59である。

4-6 人体への毒性ポテンシャル

HTP (Human Toxicity Potential) は、ライデン大学環境科学センターが提案したヨーロッパをモデル地域とした評価手法(CML2001)により、大気、水域、土壌に排出された有害化学物質の人体への影響度を示したものである。各物質のHTPは、大気の1,4-ジクロロベンゼン(パラジクロロベンゼン)の排出を基準とし、1,4-ジクロ

ロベンゼンによる人体に対する毒性の寄与度を1として算出する。

HTPは、排出先（大気、水域、土壌）により異なる。主な物質のHTPは、Ni（大気）= 35033, Ni（海域）= 747, Ni（土壌）= 198, ひ素（大気）= 347700, ひ素（海域）= 2397, ひ素（土壌）= 1020などである。

4-7 水圏生態系への毒性ポテンシャル

AETP (Aquatic Eco-Toxicity Potential) は、ライデン大学環境科学センターが提案した評価手法 (CML2001) により、大気、水域、土壌に排出された有害化学物質の水圏生態系への影響度を示したものである。各物質のAETPは、水圏への1,4-ジクロロベンゼンの排出を基準とし、1,4-ジクロロベンゼンによる水圏生態系に対する毒性の寄与度を1として算出する。

AETPは、排出先（大気、水域、土壌）により異なる。

主な物質のAETPは、HF（大気）= 40746153, HF（海域）= 53812989, HF（土壌）= 26897283, Zn（大気）= 67255, Zn（海域）= 111955, Zn（土壌）= 7209などである。

5. 解析結果

5-1 原単位データベース

原材料及び各工程の原単位当たりの環境負荷を表9に示す。

原単位の評価基準は、開発・設計、機械、組立、試験（段取）及び外注機械加工は作業時間、試験（動力）は原動機定格出力、塗装は面積、物流及びその他・共通は羽田工場の出荷台数、原材料、鑄造、製缶、鍛造、熱処理は各社の溶解質量又は出荷質量とした。

表9 原単位データベース
Table 9 Database by basic unit

	羽田工場 Haneda Plant								FC		SCS	
	開発・設計 Development and design	機械加工 Machining	組立 Assembly	試験(段取) Pre-arrangement	試験(動力) Mechanical and performance test	塗装 Painting	物流 Distribution	その他・共通 Other typical processes	原材料 Raw material	鑄造作業 Casting	原材料 Raw material	鑄造作業 Casting
GWP100 [kg CO ₂ -Equiv./ (i)]	404	1495	499	404	512	403	134	1594	603	1688	10171	2068
AP [kg CO ₂ -Equiv./ (i)]	0.58	2.43	0.72	0.58	0.73	0.74	0.82	2.35	2.68	2.75	56.3	3.25
EP [kg Phosphate-Equiv./ (i)]	0.04	0.21	0.06	0.05	0.06	0.08	0.13	0.78	0.19	1.39	40.8	1.42
POCP [kg Ethene-Equiv./ (i)]	0.15	0.70	0.35	0.40	0.18	17.7	0.28	1.56	0.30	1.14	4.13	1.27
HTP [kg DCB-Equiv./ (i)]	12.3	43.2	13.5	11.6	15.8	18.0	2.2	32.8	98.5	44.4	1406	56.2
AETP (海水域) [kg CO ₂ -Equiv./ (i)]	23.3	79.7	24.6	21.3	30.2	24.9	0.8	50.5	336	93.2	11348	116
一次エネルギー消費量 Primary energy consumption [MJ (i)]	9.0	32.6	10.5	8.7	11.5	9.6	1.8	28.1	10.4	33.9	104	42.5

大物製作業 Large size fabrication	小物製作業 Small size machining	大物鑄造作業 Large size forging		小物鑄造作業 Small size forging		熱処理作業 Heat-treatment	外注機械加工 Outside machining				
		878	6204	536	2950		409	長物加工 Long size machining	中物加工 Medium size machining	小物加工 Small size machining	
199	497	60	134	878	6204	536	2950	409	339	126	102
0.35	0.86	0.08	0.18	1.03	7.29	0.83	4.56	0.48	0.51	0.18	0.15
0.10	0.25	0.01	0.02	0.12	0.82	0.11	0.58	0.05	0.04	0.01	0.01
0.08	0.20	0.04	0.09	0.26	1.86	0.16	0.91	0.11	0.18	0.05	0.04
7.0	17.4	0.53	1.17	9.9	70	4.7	26	2.9	9.5	3.8	3.0
21.4	53.5	0.48	1.07	13.3	94	5.5	31	3.4	17.3	7.3	5.5
3.7	9.3	0.89	2.00	15.7	111	9.7	53	7.3	7.6	2.9	2.3

5-2 工程別の環境負荷

工程別出荷質量当たりの環境負荷を図2に示す。

製造工程全体では、鑄造工程における溶解電力に起因するGWP及び一次エネルギー消費量、並びに鍛造、熱処理工程における加熱用燃料の使用に起因するGWP及び一次エネルギー消費量が大きい。

一方、羽田工場では、機械加工工程及び試験工程（動力）における電力使用に起因するGWP及び一次エネルギー消費量が大きい。塗装工程ではVOCに起因するPOCPが認められる。

5-2-1 鑄造、製缶及び合金鋼の比較

鑄造品と製缶品の環境影響の違いについて、生産質量（出荷質量）当たりの環境負荷により検討する。

鑄造品と製缶品の出荷質量1t当たりの環境負荷を図3に示す。

ステンレス鋼（SCS14, SUS316）は、ねずみ鑄鉄（FC250）及び炭素鋼（SS440, S35C）に比べて環境負荷が大きい。これは、SCS14, SUS316の合金材料である

フェロクロム、フェロニッケル、フェロモリブデンなどの製造時に発生するCO₂, SO₂, NO_x, COD, VOC, Cr, HFの排出が大きな要因となっている。

SCS14とSUS316をGWPで比較すると、原材料はSCS14：SUS316 = 11.60：10.40とSCS14の方が約10%大きい。これは、鑄造品と圧延品の合金成分（Cr等）の含有率の微妙な違いによるものと思われる。生産工程では、鑄造工程（SCS14）：製缶工程（SUS316）= 2.07：0.20と鑄造工程は製缶工程の約10倍である。原材料と生産工程を合計した鑄造品（SCS14）：製缶品（SUS316）= 13.67：10.60と鑄造品（SCS14）の方が約30%大きい。

図4にねずみ鑄鉄（FC250）及び炭素鋼（SS440, S35C）の1t当たりの環境負荷を示す。

GWPで比較すると、原材料はFC250：SS440・S35C = 0.60：1.71とFC250はSS440・S35Cの約1/3である。これは、FC250の原材料である銑鉄は、高炉による溶解が1回であるのに対し、SS440・S35Cは、製鋼工程があるためである。更に、FC250はリサイクル品であるスクラップ材（環境負荷をゼロと評価）を多く使用していることも影響している。

一方、生産工程では、鑄造工程（FC250）：製缶工程（SS440・S35C）= 1.69：0.20と鑄造工程は製缶工程の約8倍である。原材料と生産工程を合計した鑄造品（FC250）：製缶品（SS440・S35C）= 2.29：1.91と鑄造品（FC250）の方が約20%大きい。

鑄造品より製缶品のGWPが小さい要因は、鑄造品は一旦固化した銑鉄を電気エネルギーを使用し溶解するのに対し、製鉄所では、溶銑のまま製鋼工程、連続鑄造、圧延を一貫して行うなど熱効率が良いこと、並びに溶接作業における溶解が極めて局部であり、エネルギーの使用が少ないためと考えられる。

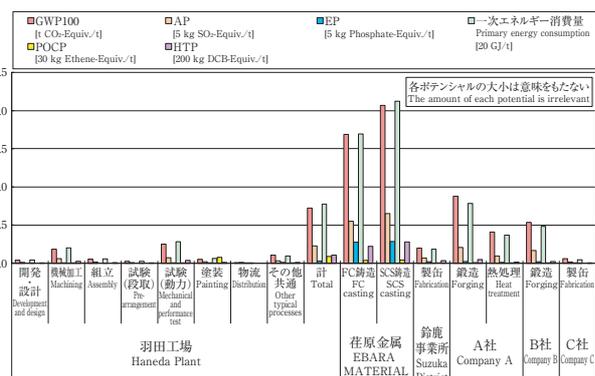


図2 工程別出荷重量当たりの環境負荷
Fig. 2 Environmental impact per shipment weight for each process

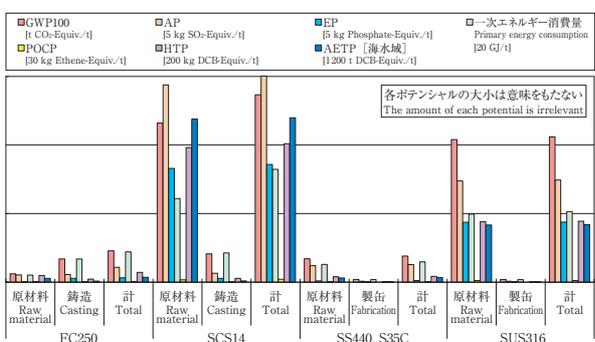


図3 鑄造品と製缶品の1t当たりの環境負荷
Fig. 3 Environmental impact per 1 ton of casting parts and fabrication parts

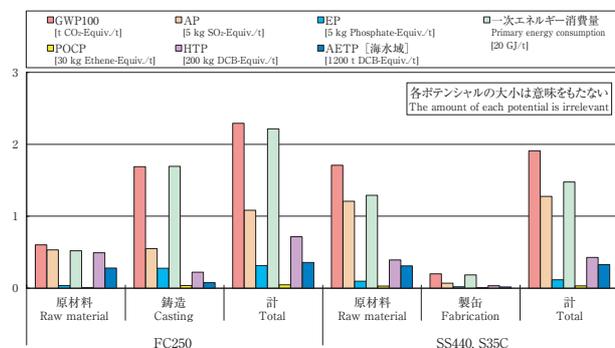


図4 鑄造品と製缶品の1t当たりの環境負荷 (FC250, SS440・S35C)
Fig. 4 Environmental impact per 1 ton casting parts and fabrication parts (FC250, SS440・S35C)

材料の違い、合金成分・含有率の違い、製作方法の違いが、最終製品の環境負荷に大きく影響しており、材料選定及び製作方法の選択に際しては、これらのことも判断に入れる必要があることが分かった。

5-2-2 工場規模の比較

工場規模による環境影響の違いについて、作業時間当たり及び生産質量（出荷質量）当たりの環境負荷により検討する。

各社の製缶、鍛造、機械の200人・時間（およそ作業員1人の1箇月の作業量）当たりの環境負荷を図5に示す。

製缶工程をGWPで比較すると、大物製缶（鈴鹿）：小物製缶 = 0.99 : 0.27と大物製缶は小物製缶の約4倍である。鍛造工程では大物鍛造：小物鍛造 = 12.41 : 5.90と大物鍛造は小物鍛造の約2倍である。機械加工工程では大物加工（羽田）：外注加工A：B：C社 = 2.99 : 0.68 : 0.25 : 0.20と大物加工は外注加工の4倍～10倍以上である。

製缶、鍛造各社のお荷質量当たりの環境負荷を図6に

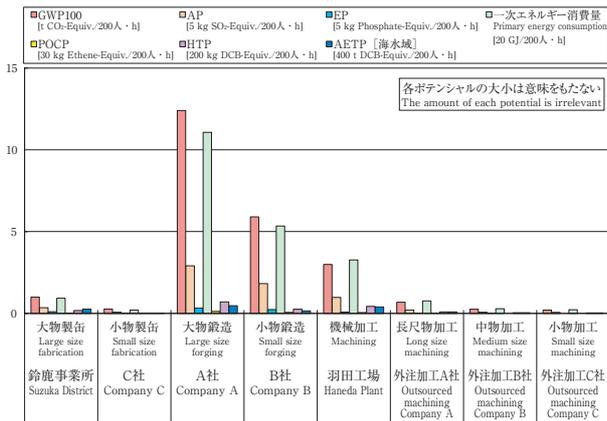


図5 各社工程の200人・時間当たりの環境負荷

Fig. 5 Environmental impact per 200 man-hours for each company and process

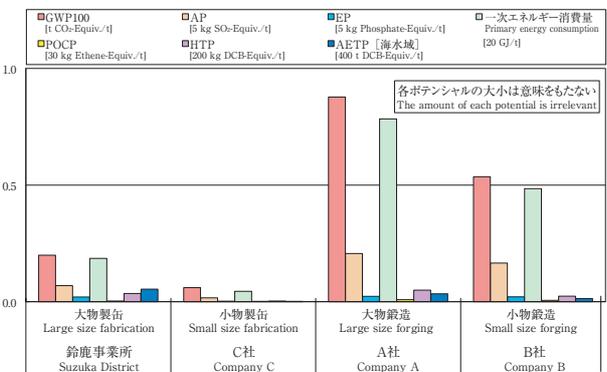


図6 各社出荷重量当たりの環境負荷

Fig. 6 Environmental impact per shipment weight for each company

示す。

製缶工程をGWPで比較すると、大物製缶（鈴鹿）：小物製缶 = 0.20 : 0.06と大物製缶は小物製缶の約3倍である。鍛造工程は大物鍛造：小物鍛造 = 0.88 : 0.54と大物鍛造は小物鍛造の約1.6倍である。

200人・時間当たり、出荷質量当たり共に、工場規模が大きい程、エネルギー使用に伴う原単位環境負荷が大きい。この原因として、

- (1) 保有している機械・設備が、待機エネルギーを必要とする自動制御である場合、稼働率の差異
 - (2) 機械・設備、集塵機・排風機などエネルギー消費設備の余裕の大小
 - (3) 建物、照明など固定設備の大小
- などが考えられる。

したがって、このような観点を基に、工場規模が大きい程、環境負荷が大きいという認識を持ち、改善に取り組むことが重要であることが分かった。

5-3 羽田工場環境負荷

5-3-1 各工程の環境負荷

羽田工場各工程の環境負荷を図7に示す。

機械加工工程及び試験工程（動力）は、電力使用に起因するGWP及び一次エネルギー消費量が大きい。いずれも、発電による間接排出である。

塗装工程では、塗料、溶剤及び洗浄剤に含有するVOCに起因するPOCPが大きい。塗装作業による直接排出が62%を占め、その他は塗料製造時の間接排出及び発電による間接排出である。

一方、水の使用量が少ないこと、有害物質の使用が少ないことなどから、EP、HTP、AETPは小さい。

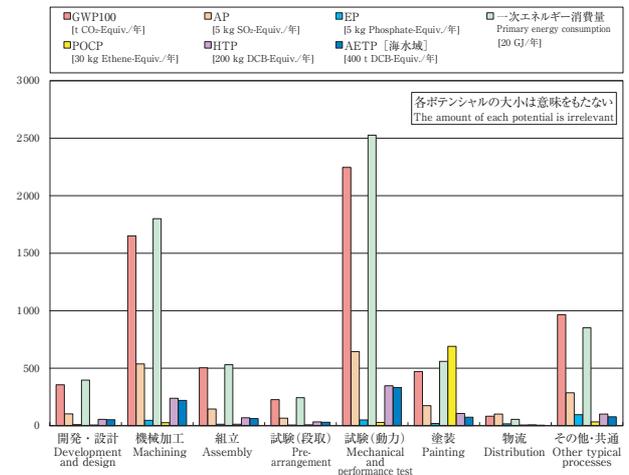


図7 羽田工場各工程の環境負荷

Fig. 7 Environmental impact of each process in Haneda Plant

5-3-2 各工程200人・時間あたりの環境負荷

各工程200人・時間当たりの環境負荷〔試験（動力）を除く〕を図8に示す。

機械加工工程では電力使用に起因するGWP及び一次エネルギー消費量が大きく、塗装工程では塗料、溶剤及び洗浄剤に含有するVOCに起因するPOCPが大きいこ

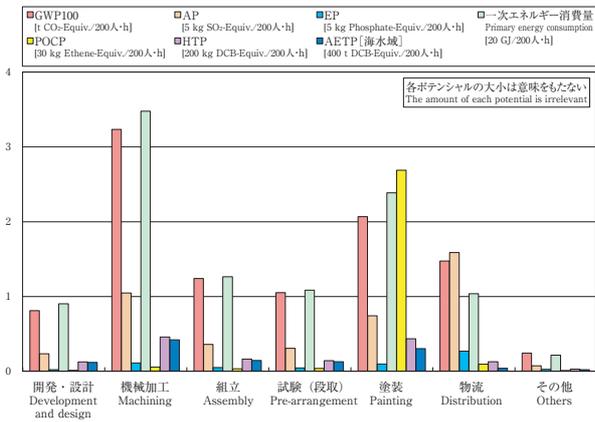


図8 各工程200人・時間あたりの環境負荷〔試験（動力）を除く〕
Fig. 8 Environmental impact per 200 man-hours for each

とは、各工程の環境負荷の評価と同様であるが、構内物流（フォーク、モータ）の燃料の燃焼（直接排出）に起因するGWP及びAPが大きい。

また、開発・設計におけるGWPは、組立工程、試験工程（段取）と同程度であり、事務所の空調、照明による環境負荷の発生は留意すべき項目であることが分かった。

5-3-3 輸送の環境負荷

（株）荏原金属（委託工場を含む）-羽田工場間、外注機械加工業者-羽田工場間、及び羽田工場からの製品出荷を合わせた輸送のGWPは、羽田工場の生産活動全体の5%程度であり、大きな負荷となっていない。

外注加工のための輸送が議論されるが、むしろ、加工される部品の大きさに応じた工場加工されることから、適切な業者選択を行えば、トータルとして環境負荷を削減することが可能となる。

また、羽田工場からの廃棄物の輸送についても処理全体の1.5%程度であり、大きな負荷となっていない。

5-3-4 リサイクルの有効性

リサイクルのために発生する環境負荷と、リサイクルによって回避される環境負荷を図9～12に示す。リサイ

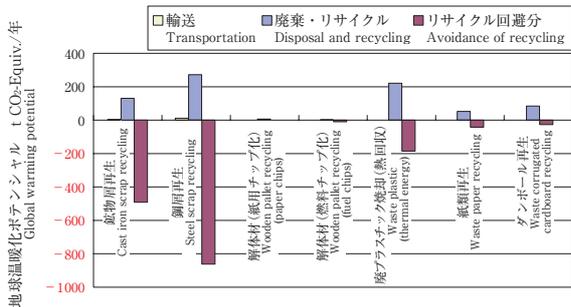


図9 リサイクルの有効性 (GWP)
Fig. 9 The effectiveness of recycling (GWP)

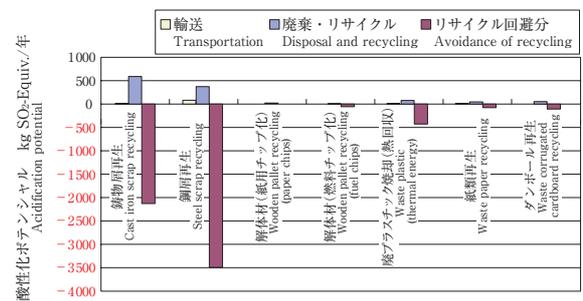


図10 リサイクルの有効性 (AP)
Fig. 10 The effectiveness of recycling (AP)

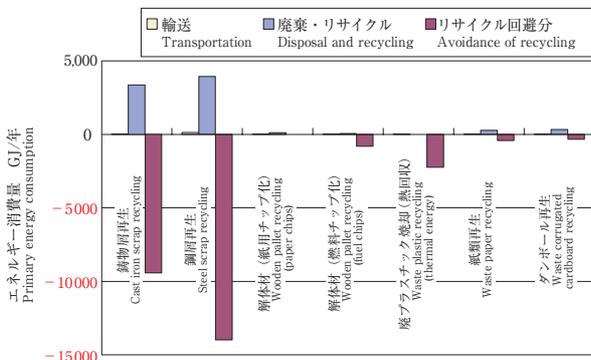


図11 リサイクルの有効性（一次エネルギー消費量）
Fig. 11 The effectiveness of recycling (Primary energy consumption)

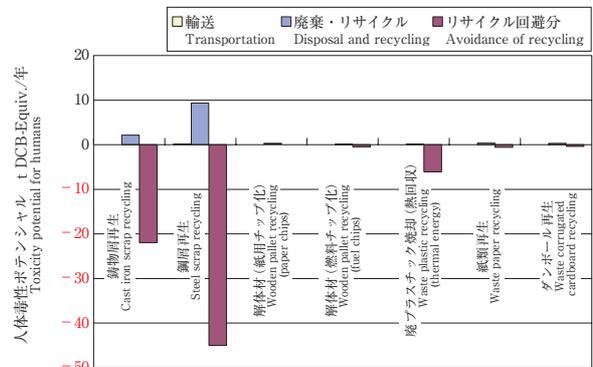


図12 リサイクルの有効性 (HTP)
Fig. 12 The effectiveness of recycling (HTP)

クルの有効性については、GWP, AP, 一次エネルギー消費量及びHTPのポテンシャルを評価した。

プラスの値は、廃棄物処理工程における負荷発生分、マイナスの値は、リサイクルによる環境回避分である。

鋳物屑、鋼屑は、GWP, AP, 一次エネルギー消費量及びHTPすべてについて、リサイクルの有効性が高い。

紙類、ダンボールは、GWP, AP, 一次エネルギー消費量及びHTPすべてについて、リサイクルの有効性が認められない。これは、パルプからの紙類の製造工程においては、黒液、木材チップなどバイオマス系の燃料を化石燃料の代わりに用いることからCO₂排出量が抑制されるためである。

廃プラスチックは、AP, 一次エネルギー消費量及びHTPについてはリサイクルの有効性が認められるが、GWPについてはリサイクルの有効性が認められない。これは、処理工程における熱回収率が70%程度であり、重油ボイラで熱エネルギーを得るより効率が悪い。処理工程における熱回収率が90%以上であれば有効性が認められる。

5-3-5 製品の環境負荷（1200 VZMの計算例）

原単位データベースを用いて、口径1200 mm 立軸斜流ポンプ(1200 VZM)の製作仕様(ケーシング：FC250, インペラ：SCS13, ほか)の環境負荷を算出した結果を図13に示す。

素材及び鋳造の環境負荷が大きい。特に、ニッケル、クロム、モリブデンなど合金金属を鉱山で採掘する際に発生する水圏生態系毒性の影響は顕著であり、製品の環境適合性を考える場合、留意すべき事項であることが分かった。

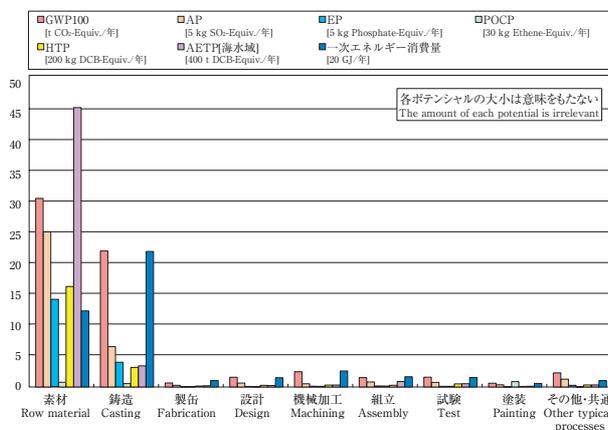


図13 製品の環境負荷（1200 VZM）
Fig. 13 Environmental impact of the product

6. まとめ

工場単位を基準とした環境管理データ及び生産管理データを使用して、工場・工程及び製品のLCA評価を行った結果、製品LCAのデータベースを構築すると共に、次のことが分かった。

(1) 大型ポンプは、原材料、鋳造工程及び鍛造工程など素材段階での環境影響が極めて大きく、質量の軽量化は環境影響の低減に大きく寄与できる。

(2) 製缶製ポンプは、鋳造製ポンプと比べ、製造時の環境影響が低減できる。しかし、ポンプの性能面からの検討も必要であり、今後、使用時における環境負荷の把握などを調査し、ライフサイクル全体の環境負荷の把握が必要である。

(3) ステンレスなど合金鋼は、耐食性など電気化学的性質が極めて優れており、ポンプに多用されているが、製造時の環境影響が大きく、適切な使用が求められる。

(4) 大きな工場は、小さな工場に比べ、作業時間当たり及び生産質量当たりの環境負荷が大きい。このことから、大きな企業では、小さな企業よりも、環境に配慮した活動が求められる。

(5) 羽田工場では、地球温暖化ポテンシャル（GWP）と光化学オキシダントポテンシャル（POCP）が主要な環境負荷となっている。GWPは機械加工工程及び試験工程の電力使用による影響が大きい。POCPは塗装工程の塗料、溶剤及び洗浄剤に含まれるVOCによる影響が大きい。

(6) 開発・設計など事務所における電力使用によるGWPは、組立工程、試験工程（段取）と同程度の負荷を発生しており、事務所の負荷低減も重要である。

(7) 羽田工場の製品出荷及び外注機械加工業者間の輸送における環境負荷は、生産活動全体の5%程度であり、輸送について、特別の課題として取り組む必要性は小さい。

(8) 金属類のリサイクルは、大きな有効性が認められるが、紙類、ダンボール、廃プラスチックのリサイクルについては、有効性が余り認められない。

以上の結果を基に、今後取り組むべき環境管理としての課題を次に示す。

6-1 原単位データベースの活用

本研究により、製造段階の環境負荷が把握できた。本原単位データベースを用いて、見積・設計時に環境負荷を算出すると共に、更に使用段階及び廃棄段階も含めた環境負荷の把握を行い、環境配慮製品の提供を目指す。

6-2 羽田工場各工程における問題点の把握

羽田工場では、電力使用の間接排出によるGWP及び一

次エネルギー消費，並びに塗料，溶剤及び洗浄剤に起因するVOCの直接排出によるPOCPの影響が大きいことが把握できた。この結果を基に，今後更に省エネルギー，化学物質削減に重点をおき，効率的かつ計画的に活動を推進する。

6-3 廃棄物のリサイクル検証

金属類はリサイクルの有効性が高いことから，分別を徹底しリサイクル処理を継続する。紙類，ダンボールは，リサイクルの有効性が認められないこと，廃プラスチック

はGWPの有効性が認められないことから，排出削減にも努める。

6-4 データベースの更新

各社・各工程の環境データの変化及び解析ソフトGabi4の係数の更新により，原単位データベース及び各工程の環境負荷データは変動する。数年ごとに環境データを入力して解析し，最新の原単位データベース及び各工程の環境負荷データに更新することが必要である。

