

特集 解説 | カーエアコンにおける構成材料の環境への配慮*

Consideration to the Environmentally Conscious Material used in the Car Air Conditioner

山崎博之 加藤 文夫
Hiroyuki YAMAZAKI Fumio KATO

Recently, it is an important subject to decrease the shredder dusts from the End-of-Life-Vehicles. Approximately 50% of DENSO's plastics usage is used for the car air conditioner. There are two methods to decrease to decrease the amount of the shredder dusts from the car air conditioner ; one is recycling the plastics and the other is reducing the plastics amount used in the car air conditioner.

Key Words : Environment, Recycle, Car Air Conditioner, Polypropylene.

1. はじめに

昨今、地球環境問題は国内外で活発な議論がされており、自動車に関しても、使用済み自動車処理の最終段階で発生するシュレッダダグストの低減が大きな課題となっている。現在、使用済み自動車は年間約500万台(1995年)発生している。このうち金属類を中心に重量比で約75%が再利用、再資源化されているものの、樹脂やゴムを中心とする再利用・再資源化が困難な材料は、シュレッダダグストとして埋立処分されており、その量は年間80万トン(95年)に達するといわれている¹⁾。Fig. 1 に使用済み自動車の処理ルートを示す¹⁾。

こうした状況のなか、自動車は「再生資源の利用の

促進に関する法律」、いわゆるリサイクル法で第1種指定製品(使用後にリサイクルができるように製品の構造、材質を工夫すべき製品)に指定され、その判断基準として①部品材料の工夫、分別に係る工夫等を実施。②事業者は、自動車の設計に際し、①の点について事前評価を実施し、記録。③再生資源の利用促進に資する情報提供、技術向上等が示されている²⁾。更に通商産業省の産業構造審議会の検討を踏まえ97年5月に通商産業省により「使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ」が策定・公表され、使用済み自動車のリサイクル率向上のための目標値が設定された。

この中で使用済み自動車リサイクルの目標値は、①2002年以降に販売が開始される新型車のリサイクル可能率は、90%以上とする。②使用済み自動車のリサイクル率は、2002年以降は85%以上、2015年以降は95%以上とする、とされている³⁾。このように、自動車

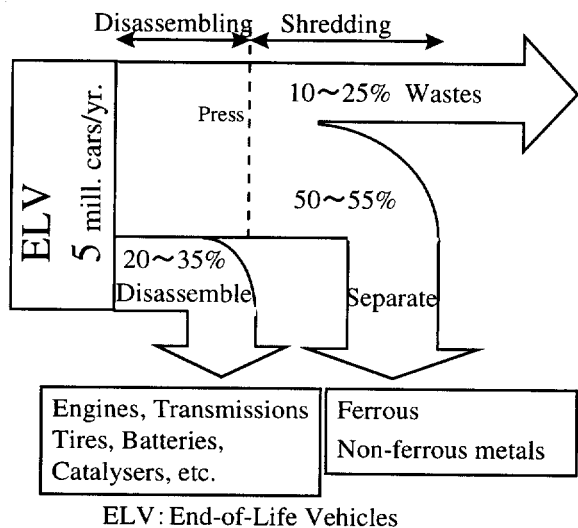


Fig. 1 Situations of the ELV process

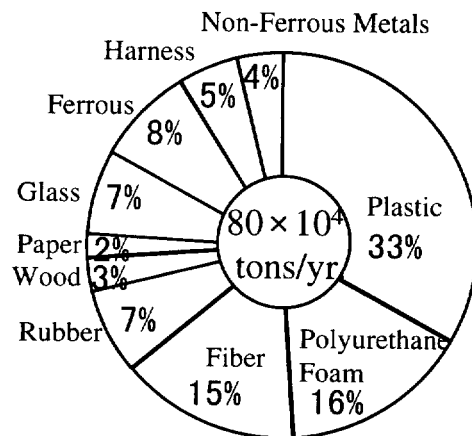


Fig. 2 Contents of shredder dust

* 98年3月2日原稿受理

にとってはリサイクルをはじめとする環境への配慮が不可欠となっているが、このことは自動車を構成する部品に対しても同様に当てはまることである。

当社では、1992年に「環境委員会」を発足させ、その下部組織に「製品リサイクル小委員会」を設け、「使用済み自動車部品のリサイクル率向上」等についての取り組みを展開中である (Fig. 3)。

ここでは当社の代表製品であるカーエアコンを例に、環境への配慮について、構成材料のリサイクルを中心としたこれまでの当社の取組み事例および今後のリサイクル型製品開発を目指した活動を紹介します。

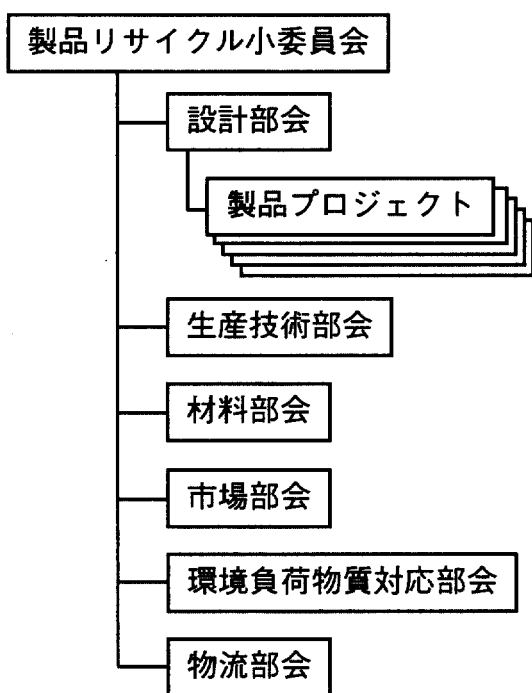


Fig. 3 Structure of product recycle working committee

2. 使用済み自動車部品のリサイクルに対する基本的な考え方

当社の使用済み自動車部品のリサイクルに対する考え方は Fig. 4 に示した“インバースマニュファクチャリング”⁴⁾的な活動を基本としている。

使用済み自動車部品のリサイクルを考えた場合、前提条件として易リサイクル製品設計が必要となる。具体的には、車両からの取り外し容易化、部品への分解容易化、易リサイクル材料の選定等が挙げられる。

使用済み自動車から回収された材料を再び製造段階で使用するためには、回収材料のマテリアルリサイクル技術を確認することが重要となる。また使用済み自動車から回収された製品を製品・部品として再使用するためには製・部品の長寿命化および再使用製・部品の品質保証が重要となる。

3. カーエアコンでのこれまでの取組み事例

3.1 カーエアコンの位置づけ

カーエアコンの位置づけとしては、当社の主要製品であること。また現状の使用済み自動車処理では、樹脂はシュレッダダストとして埋立て処分されているが、その樹脂のカーエアコンへの使用量が当社の使用量の約50%を占めていることから、使用済み自動車のリサイクルを考えた場合、当社として最も重要な製品となる。

カーエアコンから発生するシュレッダダストの低減のためには、

- (1) 使用済みカーエアコンから構成材料をマテリアルリサイクルする方法と、
- (2) 同一機能を出来る限り小型、軽量で実現できる製品とし、そもそもの使用材料を低減する方法が

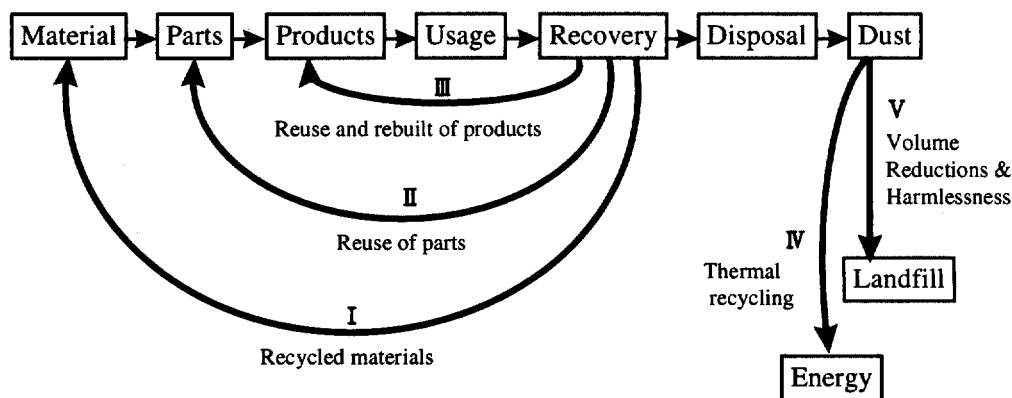


Fig. 4 Flowchart of recycling process

ある。

以下この2つの方向からの事例を示す。

3. 2 マテリアルリサイクルへのアプローチ

エアコンシステムの概略図を Fig. 5 に示す。このうちレシーバ、コンデンサ、コンプレッサ、等は現状の使用済み自動車処理のプロセスにおいてシュレッダー後にアルミ等の金属として回収され、リサイクルされているものと思われる。エアコンユニットのうち、エバポレータ、ヒータコアについても現状、シュレッダー後にアルミとして回収されリサイクルされていると思われる。これらを除いたエアコンユニットは多種の部品および多種の材料で構成されており、これら構成材料のリサイクルを中心とする環境への配慮が急務である。金属部品を除いたエアコンユニットはケース、エアミックスドア、モード切替ドア、内外気ドアはPP樹脂（ポリプロピレン樹脂）を用い、その他の小物部品にはPOM樹脂（ポリオキシメチレン）、ABS樹脂（アクリロニトリルブタジエンスチレン）等を用いている。このうちPP樹脂が重量比で約9割となっている。

現状を把握する目的でエアコンユニットの破碎・選別テストを実施した。エアコンユニットの構成を Table. 1 に示す。テストは、破碎→磁力選別→非鉄選別により鉄、アルミを回収し、樹脂の分別を目的にしたものである。その結果、車両から取り外した状態を想定したエアコンユニットを丸ごとの評価では樹脂として分別されたものに不純物として約10%のアルミ粉等が混入した。このような状態では樹脂のマテリアルリサイクルは非常に困難である。次にヒータパイプ、エバポレータ等を取り外し、締結部の金属ネジ等を含むケース、ドア、小物のみにした状態でテストを実施した場合には、磁力選別により鉄成分は除かれ100%樹脂として回収が可能であったが、主成分のPP樹脂にPOM樹脂、ABS樹脂等の異材質樹脂が混入した状態であった。このような状態でも樹脂のマテリアルリサイクルは非常に困難であり、これらのことからエアコンユニットのリサイクル、特に使用樹脂の大部分を占めるPP樹脂のマテリアルリサイクルを可能とするためには次のことを考慮に入れる必要がある。

- ①容易にPP樹脂単一素材に分別できるエアコンユニットの易分解設計
 - ②回収樹脂材料の再利用検討
 - ③できる限りエアコンユニットに使用している樹脂をPP樹脂に材質統合
- これらの内①の易分解設計については画期的な設計

を目指し鋭意検討中であるが、今回はエアコンユニットにおけるPP樹脂の環境への配慮についてのこれまでの取り組み事例を紹介する。

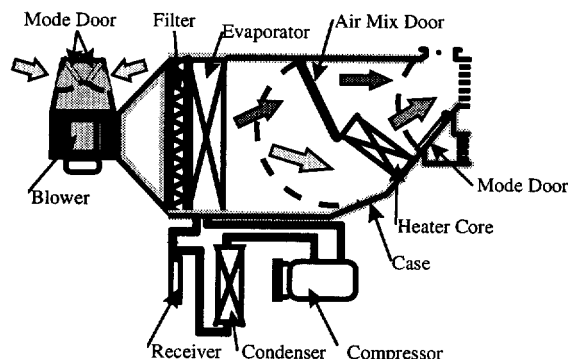


Fig. 5 Air conditioner system

Table 1 Material system of air conditioner unit

Parts	Material
Case,Door	PP,Urethane
Small Parts	POM,ABS
Heater pipe Heater core Evaporator	Aluminum
Blower motor	Copper wire,Ferrous
Servo motor	Copper wire,Ferrous
Power transistor	Printed wiring board
Wire harness	Copper wire,PVC

3. 3 分解しやすい製品構造の事例

—エアコンケースかん合のスナップフィット化—
従来のエアコンケースのかん合部は、ホールドスプリング法、あるいはネジ締めで固定していたが、スナップフィット化することで、分解作業性の向上および金属部品の廃止が可能となる。Fig. 6 にスナップフィット構造を示す。スプリング構造を持たせたツメ部が対向するケース側の受け部にかん合する構造である。ケースを組み付けた後はツメ部に荷重が負荷されたままとなるため、この方式を採用する際の懸念点としてつめ部のクリーブ破壊があげられ、これに対する配慮が必要となる。

今回、①市場でのエアコンケース部の出現温度分布、②ケース材PP樹脂の各温度でのクリーブ破壊寿命の把

握、③スナップフィット部に発生する最大応力の算出（弾性FEM解析）からつめ部のクリープ寿命を予測した。ただし、クリープラプチャ線図は20℃および80℃で実測し、長時間側は表計算ソフトで累乗近似線として外挿した。その他の出現温度レンジについては温度依存性に線形性があるものとして20,80℃の外挿線を用いて均等に分割して補完した。

FEM解析で求めたスナップフィット部の最大発生応力の直線と Fig. 7 のPP樹脂の各温度のクリープラプチャ線の交点がケース材のクリープ寿命である。

市場でのクリープ破壊の総寿命消費率は次式で示される。

$$\alpha = \sum (hn/Hn) \quad (1)$$

ただし α は総寿命消費率、 Hn はその温度レベル n でのクリープ寿命、 hn はその温度での市場での出現時間、 (hn/Hn) はその温度での寿命消費率である。マイナー則に基づき全温度レベルに渡ってこれらを加えた α が1未満であればクリープ破壊しないと判断できる。市場12年間における総寿命消費率を Table. 2 に示す。この表から明らかなように、最大発生応力負荷時においても総寿命消費率は約0.5となりクリープ破壊はない

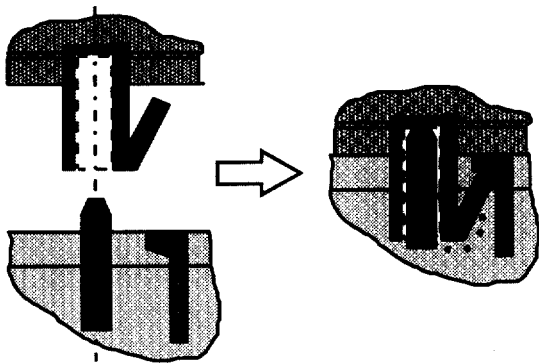


Fig. 6 Snapfit structure

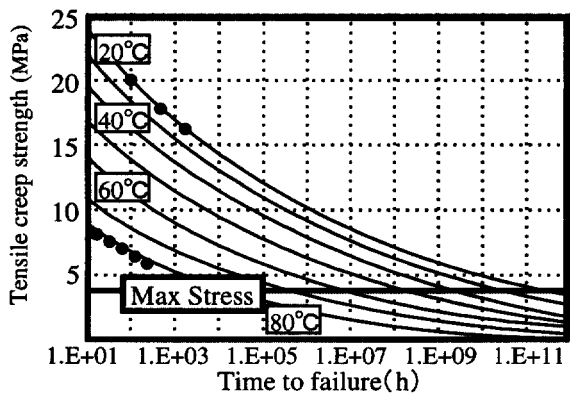


Fig. 7 Creep rupture of PP

ものと判断できる。本方式は96年より一部の型式で流動中である。

Table. 2 Total consumption of life time

Temp. (°C)	hn (h)	Hn (h)	hn/Hn
~80	3235	6.9×10^3	0.468
~75	0	3.8×10^4	0
~70	302	2.2×10^5	0.00137
~65	1708	1.2×10^6	0.00142
~30	24020	8.0×10^7	3.00×10^{-7}
~25	22136	4.0×10^{11}	5.53×10^{-8}
~20	24218	1.5×10^{12}	1.61×10^{-8}
Total ratio			0.47

3. 4 PP樹脂のマテリアルリサイクル検討事例 —市場回収エアコンケースの劣化度把握—

使用済み自動車からカーエアコンが回収され、エアコンケース材(PP樹脂)をマテリアルリサイクルすることを考えた場合、①分解しやすい製品構造、②市場での劣化度把握、③回収材の再生材料化技術、④再生

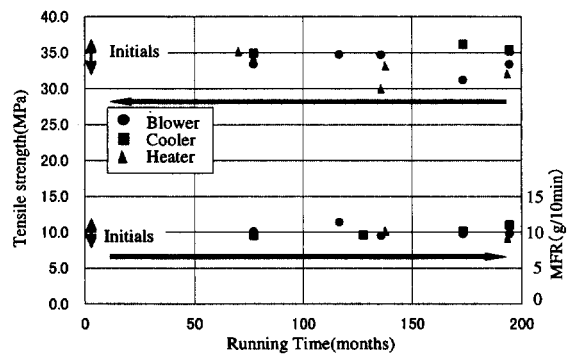


Fig. 8 Results of deterioration of A/C case in the field

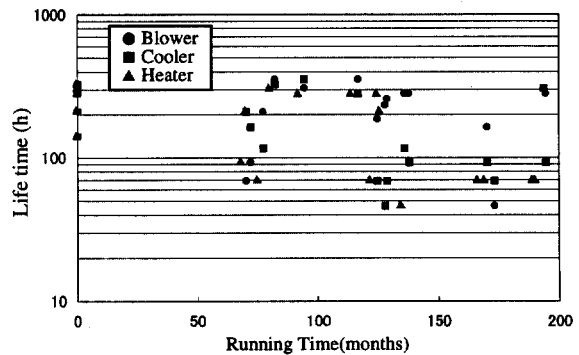


Fig. 9 Results of copper resistance life time of A/C case in the field

材料の用途先等が課題として挙げられる。このうち市場での劣化度について、走行期間5年から16年のカーエアコンを市場回収し、PP樹脂の劣化度を調査した。評価の項目としては、回収エアコンケースからの切り出しテストピースによる強度低下、劣化による分子量低下の指標となる流動性(メルトフローインデックス: MFR)変化および回収エアコンケースの銅害余寿命の測定を実施した。その結果、走行期間16年のサンプルにおいても強度低下、流動性の変化は認められず(Fig. 8)、また銅害余寿命も最小でも48時間あり(Fig. 9)、PP樹脂ポリマの劣化は認められなかった。これらの結果からはエアコンケース材のマテリアルリサイクルは可能であると考えられる。

3.5 製品、部品の減量化の事例

—フィルムドア式エアコンユニット—

製品の小型、軽量化は使用する資源、材料を極力少なくする省資源の観点から、また使用済み自動車からの廃棄物発生量の低減、更に燃費向上による走行時の二酸化炭素削減に寄与できる。

従来のエアコンユニットは、室内温度をコントロールするため温風と冷風の割合を調節したり、足元や顔、フロントガラスなどへ風を送る吹き出し口の切替えを行うために複数のPP樹脂製の板ドアを開閉させていた。

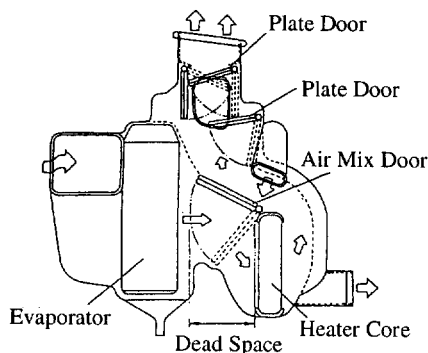


Fig. 10 Structure of conventional unit

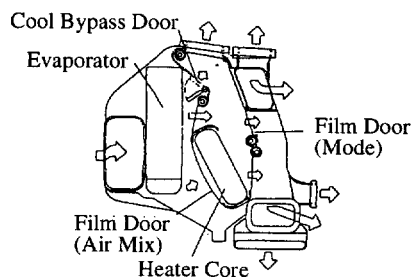


Fig. 11 Structure of a film door type unit

そのため、ドアの作動空間を確保する必要から小型化には限界があった。(Fig. 10)

これに対して1994年に開発したフィルムドア式エアコンユニット^{5)~8)}では板ドアの開閉の替りに、随所に開口部を設けたフィルムをスライドさせることにより風の遮断、通風量等を制御するものである。この方式により板ドアの作動空間が不要になり、28%の小型化と11%の軽量化が可能となった。(Fig. 11)。

このフィルムドアを可能にしたキー技術としては、織布とフィルムの複合化による高性能フィルムの開発があげられる。開発したフィルムの構造をFig. 12に示す。開発のポイントは①織布とフィルムの複合化による高強度化、②複合構造の最適化による操作性、シール性の確保、③織布の織り方の工夫による摩擦摺動音の低減等が挙げられる。

①の高強度化については、引張強度と引裂強度の両立化およびクリープ変形の極小化が図れるように引張強度の優れるPPS(ポリフェニレンサルファイド)フィルムと引裂強度に優れるNY(ナイロン)織布を組み合わせ背反する両特性を両立化させた。

②の操作性とシール性はフィルムの曲げ剛性値の点からは相反する特性となる。Fig. 13に示した関係より、両特性を満足する曲げ剛性値の目標値を明確にし、この目標値を満足する領域でのフィルム構造を最適化し、PPSフィルムの厚みを25μm、織布の厚みを90μmとした。

③の摩擦摺動音の低減するには、摩擦係数を低減する方向と接触面積を低減する方向がある。織布には縦糸と横糸の織目構造があり、その織り方に異方性を持たせることとした。摩擦摺動音は次式で示される。

$$F_v [(\mu_1, S_1) + (\mu_2, S_2)] \quad (2)$$

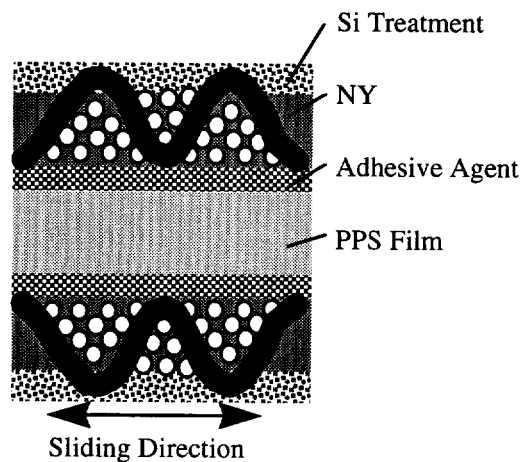


Fig. 12 Schematic representation of film

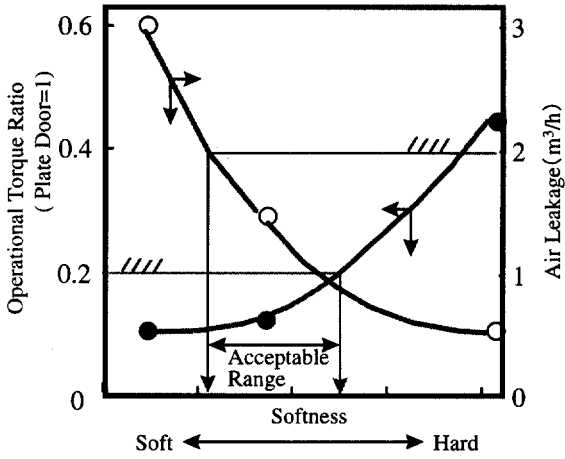


Fig. 13 Sealing capability and operability

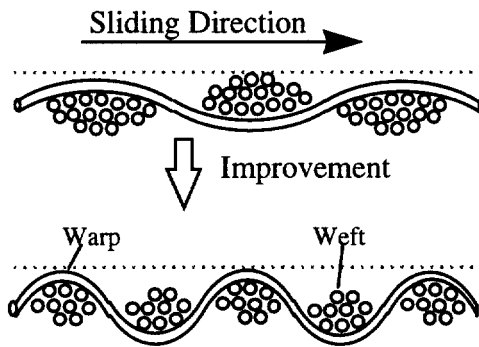


Fig. 14 Improvement of PA cloth weaving

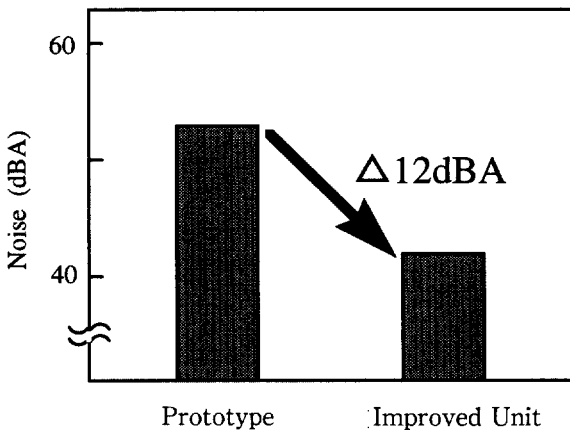


Fig. 15 Result of minimizing air noise level

但し μ_1, μ_2 はそれぞれ縦糸、横糸の摩擦係数、 S_1, S_2 はそれぞれ縦糸、横糸の接触面積である。摩擦係数は摺動方向に対し横糸の抵抗が大きく、従って横糸の接触面積 S_2 をできるだけ小さくする必要があった。Fig. 14 下はその概略図であるが、織布の織り方を縦糸が横糸よりも約 $10 \mu\text{m}$ 高くなるように織り、摺動方向に対し妨げとなる横糸がケースやシャフトに非接触になるよ

うに工夫した。これにより摺動音は 12 dBA 低減できた。(Fig. 15)

4. おわりに

以上エアコンユニットに関して構成素材の内、特に PP 樹脂のリサイクルを中心とした環境への配慮について、これまでの取り組み事例^{9,10)}を挙げてきたが、まだまだ不十分であるため、現状の取り組みとしては、分解のしやすさ、樹脂材料の材質統合を含めたりサイクルしやすい材料の選定等を考慮した、エアコンシステム全体の易リサイクル性製品設計に取り組んでいる。さらに市場からの PP 樹脂の回収を想定したりサイクル材の適用、製品の分解技術等についても検討をはじめている。

また今後は、エアコンおよびそれ以外の製品に関して、製品のライフサイクル(Fig. 16)¹¹⁾すなわち、製品の材料調達から生産、使用、リサイクル、廃棄までの環境側面と環境影響を LCA 手法等の活用により把握し、より環境に配慮した製品を提供していくことが重要であると考えます。

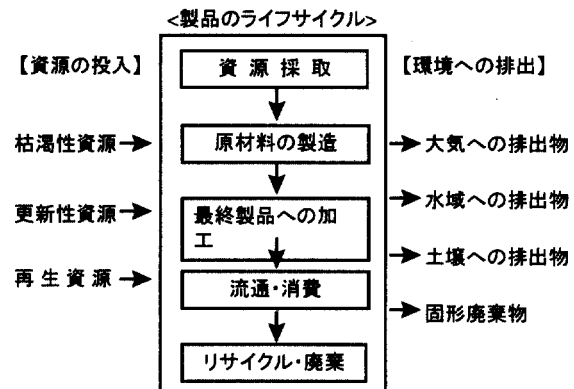


Fig. 16 Products life cycle

<参考文献>

- 1) トヨタ自動車株式会社：自動車と環境 (1996), p. 34, 38.
- 2) 織朱 實：よくわかる廃掃法・リサイクル法・容器包装リサイクル法, 日報 (1995), p.155.
- 3) 通商産業省：使用済み自動車リサイクル・イニシアティブ (1997), p.4.
- 4) 財団法人ロボット・エフ・エー技術センター：インパース・マニュファクチャリングシステム開発プロジェクト調査研究報告書 (1997).
- 5) Hiroshi Nonoyama, SAE PAPER 960687.

- 6) 井上美智, 山崎博之, 加藤文夫, 東原昭仁: 空気
通路切替装置, 特開平 5-21234.
- 7) 井上美智, 小坂 淳, 漆原 勝, 加藤文夫, 東原
昭仁: 車両用空調装置, 特開平 7-137524.
- 8) 小坂 淳, 宮川守実乃, 加藤文夫, 東原昭仁: フィ
ルムおよびその製造方法, 特開平 8-99521.
- 9) 岩井克夫, 加藤文夫: クリーンジャパン 113,
(1995), P.4.
- 10) 竹内桂三: 日本機械学会東海支部, 第 85 回講習会
教材 (1997), P.19.
- 11) 物産科学技術協会: LCA のすべて, 工業調査会
(1995), P.34.

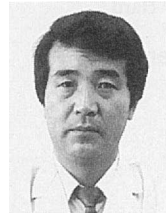


〈著 書〉



山崎 博之 (やまざき ひろゆき)

材料技術部
材料のリサイクル技術開発に従事。



加藤 文夫 (かとう ふみお)

材料技術部
非金属材料開発, 同応用技術開発
に従事。