

## 自動販売機のリユース・リサイクルシステムの開発

ICETT—四日市第3研究室（富士電機リテイルシステムズ（株））

主任研究者 木村幸雄

研究員 渡辺信広

中村雅昭

開発期間：2003～2005 年度

### 要約

自動販売機の二酸化炭素排出量の大きいプロセス段階は、材料段階と運転段階である。その点から自動販売機のリユース（リサイクル）システムを開発することにより、現在の廃棄自販機の最大全数再利用することで、材料面および一部省エネアップグレードにより最大約68万トン／年の二酸化炭素を削減できる。その他、技術開発や、フロン置換他により、市場で稼動する250万台の飲料自販機の再利用時の改良による二酸化炭素削減及び地球温暖化の環境影響負荷を小さくでき、より多くの効果を見込める。また、弊社はシェア50%前後のトップシェアを持ち、本技術開発の社会性も考慮した。

#### 1. 技術開発の目標

自動販売機のリユース・リサイクルシステムの開発で、本年度はリユースの中での易分解性の向上、リサイクルでは、生分解断熱材の開発、ウレタンの油化（燃料化）による環境負荷削減を目標とした。

##### ・技術開発の内容

- a. ハード開発：
  - ・断熱材の減容化技術（蒸気油化方式の開発）[リサイクル]
  - ・生分解材料断熱材の開発 [リユース・リサイクル]
  - ・易分解技術の開発。形状記憶材料スナップ [リユース・リサイクル]
- b. ソフト開発：
  - ・検討段階。 来年以降に寿命表示と省エネアップグレードのソフトを進める。

#### 2. 平成15年度実施内容及び結果

##### 2.1 断熱材の減容化技術

###### 2.1.1 実施内容

###### 1) 実験装置の開発

図1に示す実験フローの装置を試作する。

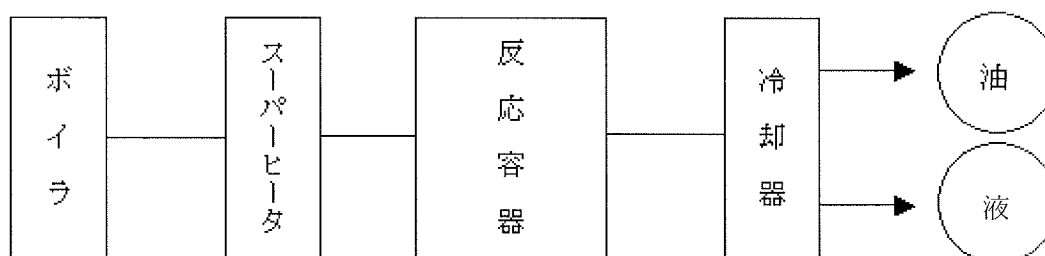


図1 実験フロー図

### (1) ボイラ

LPGを燃料とする90kg/hの能力をもつボイラを購入した。

### (2) スーパーヒータ

丸棒のステンレスに小穴を開け、これを加熱する。ここを蒸気が通過する際に昇温される。

### (3) 反応容器

内径570φのステンレス製の容器とそのまわりにヒータをつけた。蒸気量は、配管にとりつけたバルブの開程度により調節し、ウレタンの温度はヒータの温度調節コントローラで制御した。

### (4) 冷却器

容器の外側を冷却した冷却器を通すことで温度を下げ、凝縮液と油を回収した。

## 2) 蒸気量の定量

蒸気3次圧力と蒸気出口バルブ開度をパラメータとし、反応容器に導入される蒸気量の定量を行なった。蒸気量は反応容器にウレタンを入れないで冷却器から出てくる液を計量し求めた。求めた値により、下記式により蒸気量を算出できる。

$$\text{蒸気量 (L/h)} = \text{凝縮量 (g/h)} / \text{分子量 (g)} \times 22.4 \text{ (L)}$$

## 3) スーパーヒータの投入電力と蒸気温度

スーパーヒータの投入電力、蒸気量を変えて、スーパーヒータ出口の蒸気温度を計測した。

## 4) 分解条件の調査

### (1) 熱分解の検討

粉碎したウレタンをセパラブルフラスコに入れ、マントルヒータを用い空気雰囲気中で、350℃、60分加熱し、熱分解のみで油化できるか調べた。結果を図2、図3に示す。加熱後は、外観は茶色から黒色に変色しているが、すり潰すと粉末になり、分解反応は生じていない。

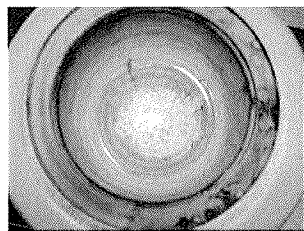


図2 ウレタン加熱前

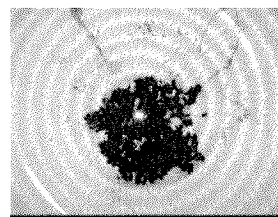


図3 ウレタン加熱後

### (2) 蒸気分解の検討

実験装置を使い、ウレタンを2kg入れ、温度を150℃、230℃、330℃に変えた時の油化率を求めた。200℃位から分解が始まり、330℃ではほとんど油化されていた。容器底に少量の黒色の残さが約1cm残っていた。容積としては、1/80に低減できた。

### (3) 蒸気量と油化率

処理システムの附属設備を軽減するため、蒸気量を配管のバルブを絞り調節し、油の回収率を明らかにした。その結果、油化率の最大は凝縮液量が約1000g/hのときであった。蒸気量が多くなると、ウレタン油化率が減少する。容器に残る残さも減少していることから、分解さ

れた油が蒸気量の増加に伴い、凝縮液に溶解するの油の割合が増加したと考えられる。凝縮液量が約 1000 g/h では、43 wt% の油、28 wt% の残さが回収できた。処理時間は装置起動から 2.5 時間であった。

## 2. 1. 2 結果

### 1) 成分分析

熱重量分析 (TGA) により、油、凝縮液、炭化物 (残さ物) について、それらが気化する温度から組成分析を行なった。これらのデータから次のことが明らかとなった

- (1) 油は、ガソリンを主体として、ガソリン+ケロシンが、93%と低分子化が一樣に進んでいる。
- (2) 凝縮液中の油も、ガソリン+ケロシンが87%である。
- (3) 炭化物は潤滑油以上が大半で、炭素前駆体であった。

### 2) 総発熱量分析

油中の凝縮液分量をカールフィシャー滴定方法通則 (JIS M8211) で、総発熱量をカロリーメータ (JIS K2279) で求めた。

- (1) 油の総発熱量はガソリン (11000~11300 cal/g) に比し、若干低い。含まれている凝縮液分の潜熱分低下していると思われる。
- (2) 凝縮液中には25 wt%の油があり、何らかの手法で凝縮液分を除去すれば油として利用できる可能性がある。
- (3) 炭化物は、石炭 (6000~7000 cal/g) 以上の熱量を有しており、量が集まれば固体燃料として利用できる可能性がある。

### 3) 分子構造分析

各試料の赤外線吸収分光分析を行ない、原料のウレタンと比較した。また、テトラヒドロフラン (THF) 溶媒に溶かし、ゲルパーミエションクロマトグラフィー (GPC) により、分子量分析を行なった。

- (1) 油の赤外線吸収分光分析では原料のウレタンと比較して、1718 cm<sup>-1</sup> 付近のウレタン基中の C=O 基による吸収ピークは観測されない。この分子結合を分解する反応が選択的に生じたと推察される。
- (2) 油のうち、凝縮液に溶けるものは分子量が約60~300で、凝縮液に溶けないものは約70~200の比較的低分子化合物の混合物である。凝縮液に溶けるものは、凝縮液にも油にも溶けるグリコール類であるため、本来凝縮液中に溶存する当該成分が油中に凝縮液と共に溶けこんだもので、これが油中の凝縮液の混入に対する石鹼的役割をはたしていると考えられる。

### 4) 成果

- (1) 蒸気によるウレタンの分解率は100%である。
- (2) ウレタン分解油の回収率は約50%で、総発熱量は7200 cal/gであった。その組成はガソリン+ケロシンが93%を占める。

(3) 残さ(炭化物)は約26%で、総発熱量は8600 cal/gであった。石炭と同等の熱量を有する。

(4) 凝縮液中の油は25%で、ガソリン+ケロシンが87%を占め、分子量は60~300の低分子化合物である。

(5) 減容化は、容積で1/80、質量で1/4になる。

## 2.2 生分解断熱材の開発

### 2.2.1 実施内容

#### 1) 真空断熱材の作成法

##### (1) 不織布を積層してコア材を形成

生分解プラスチックから製作した繊維を絡み合わせた不織布シートを [150×150mm] の大きさに切断して、厚さが約7~15mmとなるように積層する。積層厚さは、真空パックした際に大気圧によってコア材が圧縮されるための縮みしろを含んでおり、不織布シートの厚さ・材質・製法によって積層枚数を調整する。

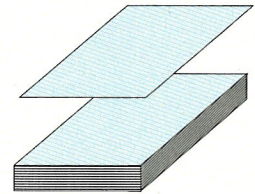


図4 不織布を積層したコア材

##### (2) 真空パック袋への収納

コア材を収納する真空パック用の袋はアルミ箔とフィルムを貼り合わせたシートの三辺が加熱シールされたもので、食品用途向けに市販されている [200×250mm] のものを切断して使用した。熱シール部の幅が10mmなのでパック袋の内寸は [180×180mm] となる。コア材の厚さがあるため両側に15mmずつの遊び幅を見込んでいる。図5で真空パック袋の外形寸法に対する断熱材の有効面積は約56%である。

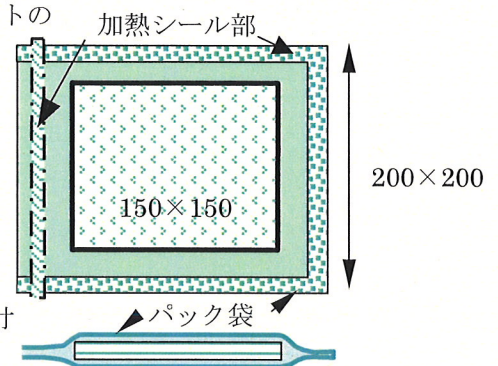


図5 コア材を収納した真空パック

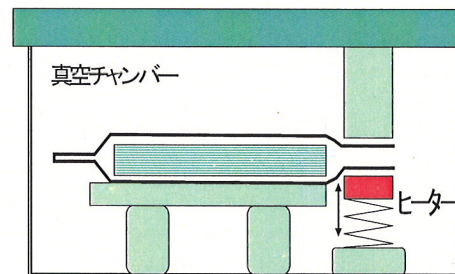
$$(150 \times 150) \div (200 \times 200) = 0.5625$$

##### (3) 真空中でのヒーター加熱による封止

真空パック袋を真空チャンバー内で封止するための装置の外観および内部構造を図6(a)(b)に示す。真空チャンバー内はロータリーポンプで真空度: 1Paまで減圧することができる。真空チャンバー内で加熱ヒーター部を上下し、真空パック袋の一边を加熱融着(約2~3秒)したあと、大気開放されて真空断熱材として取り出される。



(a) 装置の外観

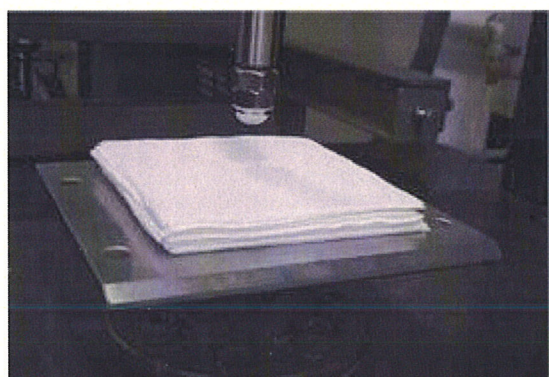
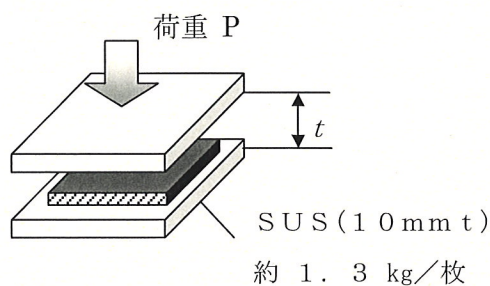


(b) 内部構造の概略図

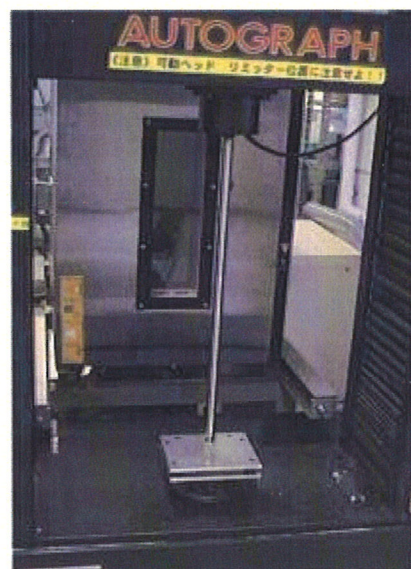
図6 断熱材の真空シール装置

## 2) 積層した不織布の圧縮荷重試験 (厚さおよび圧縮弾性係数の測定)

不織布をコア材として真空中で封止したあとは、大気圧の下で圧縮荷重を受けて板状の断熱材になる。その時の仕上がり厚さは不織布によって異なるため、積層枚数を定めるための手順を検討する必要がある。ここでは、[100×100mm]の不織布を約10mmの厚さに積層したサンプルに1気圧と等価な荷重を万能引っ張り試験機で加え、仕上がり厚さの予測データを得ることとした。図7に断熱材の圧縮荷重試験の様子を示す。



(a) 断熱材をセッティングしたところ



(b) 上板を載せて圧縮しているところ

図7 断熱材の圧縮荷重試験

## 3) 熱伝導率の測定

真空断熱材の熱伝導率は英弘精機(株)製の熱伝導率測定装置“HC-074・200シリーズ”を使用した。

### 2. 2. 2 結果

- 1) 生分解性プラスチック(PLA)を用いた不織布で熱伝導率 3.62 ミリ W/mK (30°C) を得た。
- 2) 真空パックした後に所定の厚さ(設計値)を得るために、必要な積層枚数を決定する手順を明確にした。
- 3) 不織布の材質、製法、密度、繊維径と熱伝導率の関係から真空断熱材に適したものの知見を得た。すなわち、主要因は真空パック内の真空度であり不織布の密度には必ずしも依存しない。
- 4) 不織布および電子顕微鏡(SEM)で観察し、不織布の製法によって繊維の状態に相違があることを明瞭に把握した。また、熱伝導率の測定結果から真空断熱材に適した材質・製法の不織布を選択する指針を得た。

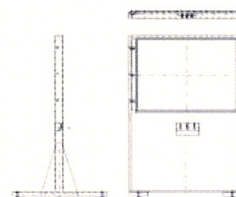
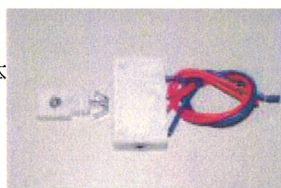
## 2. 3 易分解技術の開発

### 2. 3. 1 実施内容

自動販売機を構成している構造物は、大きく分けると鉄とプラスチックであり、そのプラスチックを容易に又短時間に分離・分解することが、リサイクルを効率良く進めるうえで重要な要素となる。そこで、自動販売機のプラスチックの中で最も質量があり、リサイクル効果の大きい電照板、分解効率を阻害するコネクタを対象として、数ある易分解方法の中から、一つの方法として、自由に変形させても加熱することで元の形状に戻るという特殊な性質を持っている形状記憶合金の機能を利用した易解体装置を計画し、容易に分離・分解できる易解体方法の開発を行った。

### 2. 3. 2 結果

1) 自動販売機の簡易扉図(8(b))の電照板を取付ける金具に易解体装置①図(8(a))を組付けて、易解体装置①に組み込まれている形状記憶合金ばねに6Vの電流を流し、そのばねを温度上昇させ、そのばねの復元力

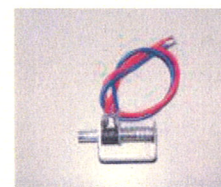


により電照板を取付ける板の取外しの動作確認を行なった(a)易解体装置①

(b) 簡易扉

結果、容易に取外しができ、繰り返し試験後、使用可能と判断できた。

2) 上記簡易扉の下部に、コネクタ取外し用の易解体装置②(図8(c))を組付けたコネクタ取付け金具を締結し、易解体装置②に6Vの電流を流し、そのばねを温度上昇させ、そのばねの復元力により、コネクタの取外しの動作確認を行なった結果、容易に取外しができ、繰り返し試験後、使用可能と判断できた。



(c) 易解体装置②

図8 易解体装置

## 3. 今後の予定

### 3. 1 断熱材の減容化技術の開発

- 1) 人手によるピーカでの油/凝縮液の分離する方法を簡易的にできる機構を考案する。
- 2) 油化装置の上蓋を取って材料を挿入している作業方法、処理中に材料を追加挿入できる機構を考案する。
- 3) バッチ運転での残渣物の断熱作用による運転温度の影響が考えられ、追加挿入の条件を検討する。
- 4) 紙、フィルム、クッションが取り付いているウレタンなど、ウレタン以外の混入物がある場合の条件の特性を調査する。

### 3. 2 生分解材料断熱材の開発

コア材およびバック内壁面からの放出ガスを抑制するため、真空中での予備加熱を行なうことにより、断熱性能を向上させる。

### 3. 3 易分解技術の開発

自動販売機のネジを多く使用している押し釘を、一括で取外せる易解体方法の研究を行なう。