

# PCB 汚染容器処理技術の開発と基本設計

Development and basic engineering for removing technology of PCB from electric devices



資源再生事業室  
矢田 貝 直 幸  
Naoyuki Yatagai  
加 藤 治  
Osamu Kato  
浄 弘 明 彦  
Akihiko Jogu

当社は、高濃度 PCB 汚染コンデンサ・トランスを処理するため、部材ごとの最適洗浄性を把握して、最も除染が困難とされるコンデンサ素子を含むすべての部材を基準値以下に除染できるプロセスを確立した。本プロセスは、容器解体／溶剤洗浄／真空加熱／溶剤再生、および排ガス処理で構成され、これに基づき、年間処理量125トンの PCB に相当する容器処理プラント（50 kVA のコンデンサ20台／日の処理規模に相当）の基本設計を、作業環境保全、安全対策も反映して完了した。

In order to remove high concentration PCB from capacitors and transformers, Shinko Pantec, Co., Ltd., has established the process by confirming the suitable method to remove PCB from individual materials. Performance of this process fulfilled the regulation values for all materials including element contained in capacitor, which was the most difficult material to be cleaned. The developed process is consisting of dismantle of electric devices, solvent extraction, heating and drying under vacuum, solvent distillation and gas treatment. Based on this process, basic engineering for the plant of which annual capacity is 125 tons PCB (equivalent to 20 sets/d of 50 kVA capacitor) has been completed, on which safety and protection ideas for the working environment and plant site are reflected.

## Key Words :

高濃度汚染コンデンサ  
高濃度汚染トランス  
溶 剤 洗 浄  
真 空 加 熱 乾 燥

Capacitor containing PCB of high concentration  
Transformer containing PCB of high concentration  
Solvent extraction  
Heating and drying under vacuum

## ま え が き

1998年より開発を開始した PCB 汚染容器処理技術は、1999年3月旧通産省技術評価委員会より技術認定<sup>1)</sup>を受けた。その後、当社技術研究所内にパイロットプラントを建設し、低濃度汚染トランスの洗浄基本条件<sup>2)</sup>を確立した。

引き続き、高濃度汚染容器処理プロセスの開発をおこない、下記の除染プロセスを開発した。

- 1) 有機塩素系溶剤（主にパークロロエチレン、以下 PCE と記す）による洗浄プロセス
  - 2) 環境負荷を軽減できる炭化水素系溶剤（主にノルマルパラフィン系溶剤）による洗浄プロセス
  - 3) 前記の洗浄プロセスに加えて、絶縁紙、木などの含浸性部材を真空加熱乾燥するプロセス
- これらの処理技術は、解体、洗浄、真空加熱、排ガス処理、および溶剤再生の各実験により、最適操

作変数を把握して、一貫プロセスとして開発された。

## 1. 容器処理プロセス

第1図にPCB汚染容器処理プロセスのブロックフローを、第2図にプラントレイアウトを示す。処理プロセスは、抜油・解体の前処理工程、除染工程、洗浄溶剤を蒸留する再生工程、排ガスの処理工程、および出荷の最終確認をおこなう検定・出荷工程で構成される。

### 1.1 前処理工程

#### 1) 受入・検査

コンデンサ、トランスなどの汚染容器の受入時に、PCB漏れなど外観が検査され、銘板記載事項が調査される。続いて、移送ラインに移され、寸法測定、重量測定、X線による内部構造透視の検査を受ける。

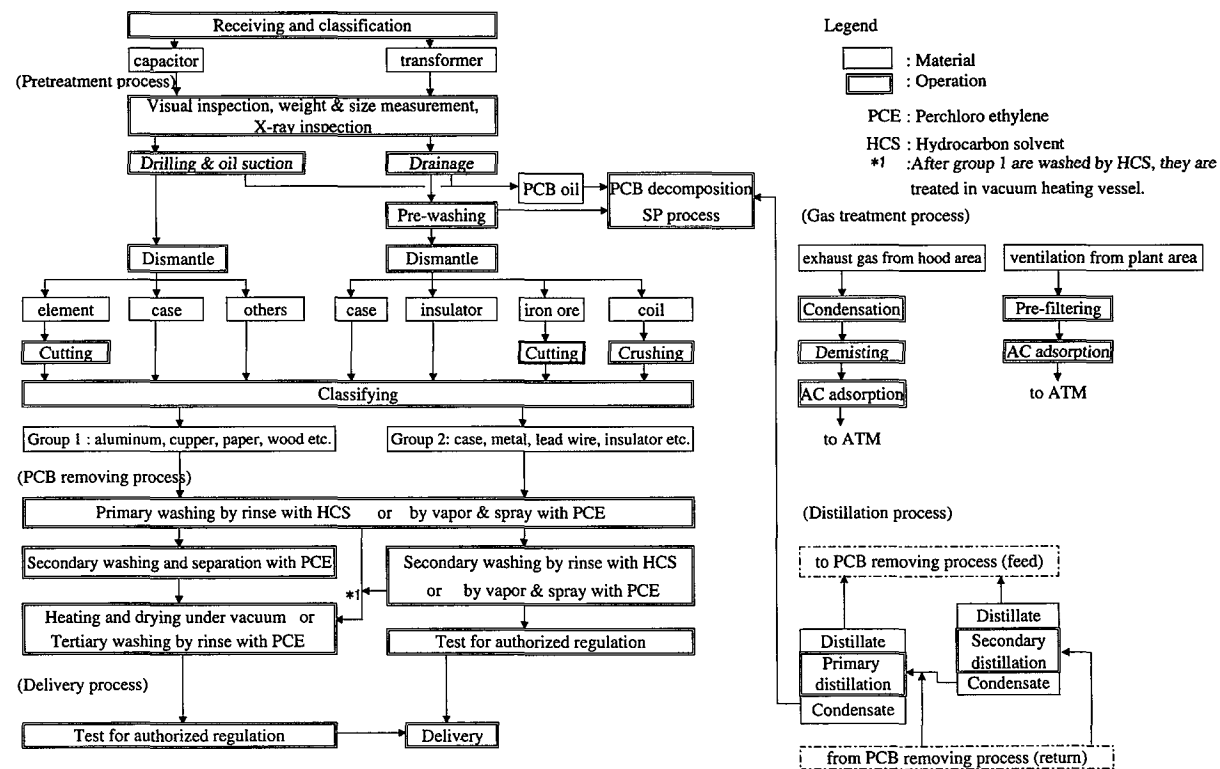
#### 2) 抜油・予備洗浄

コンデンサ、トランスの外観を写真1に、構造を第3図に示す。コンデンサは、穿孔によるPCB飛散を防止するため、真空吸引された抜油針で穿孔され、PCBが回収される。一方、トランスは絶縁油の取り替え用に設けられたドレン口を利用

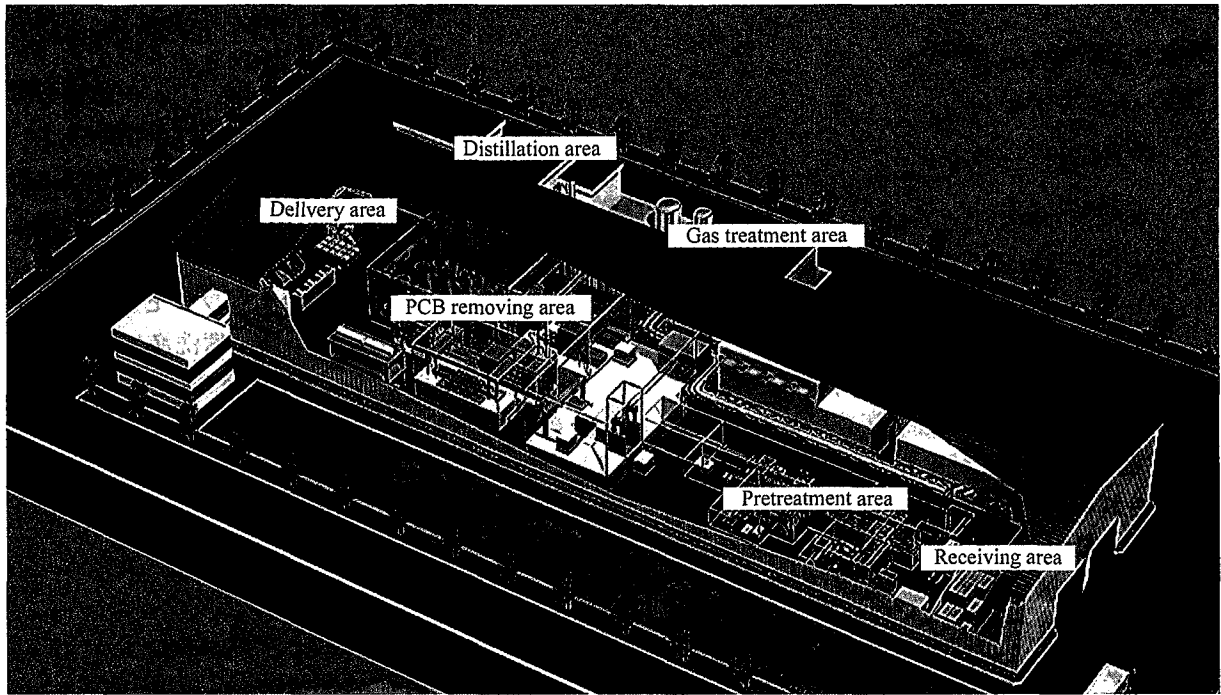
してPCBが油抜きされた後、絶縁油で予備洗浄される。これは、蒸気圧がPCBより低い絶縁油を使って洗浄することにより、PCBの蒸発を抑えて、以降の解体作業を容易にするためである。なお、当社が開発したナトリウム分散体による脱塩素化プロセス(SPプロセス)<sup>3)</sup>では、高濃度PCBを絶縁油で希釈後、無害化処理するため、絶縁油による予備洗浄は、SPプロセスに影響を与えない。コンデンサは、予備洗浄によるPCBの除去効果が低いため予備洗浄されず、抜油後にそのまま次の解体工程へ送られる。

#### 3) 解体

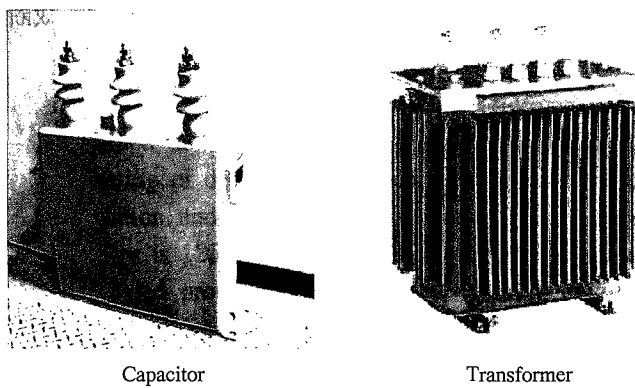
洗浄効果をあげるため、内部部材は所定寸法まで分解される。コンデンサは遠隔操作により、蓋部の切断、蓋から碍子の取り外し、碍子からリード線・小物の取り外し、素子の取り出しがおこなわれる。その後、素子は素体絶縁紙、バンドが取り外され、1個ずつに分解される。トランスは、内部コアの取り出し、ボルト取り付け部品と木枠の取り外し、コア解体によるコイルの破碎、鉄心の分解がおこなわれる。解体された部材は、裁断



第1図 PCB汚染容器処理プロセスのブロックフロー  
Fig. 1 Block flow diagram of PCB removing process



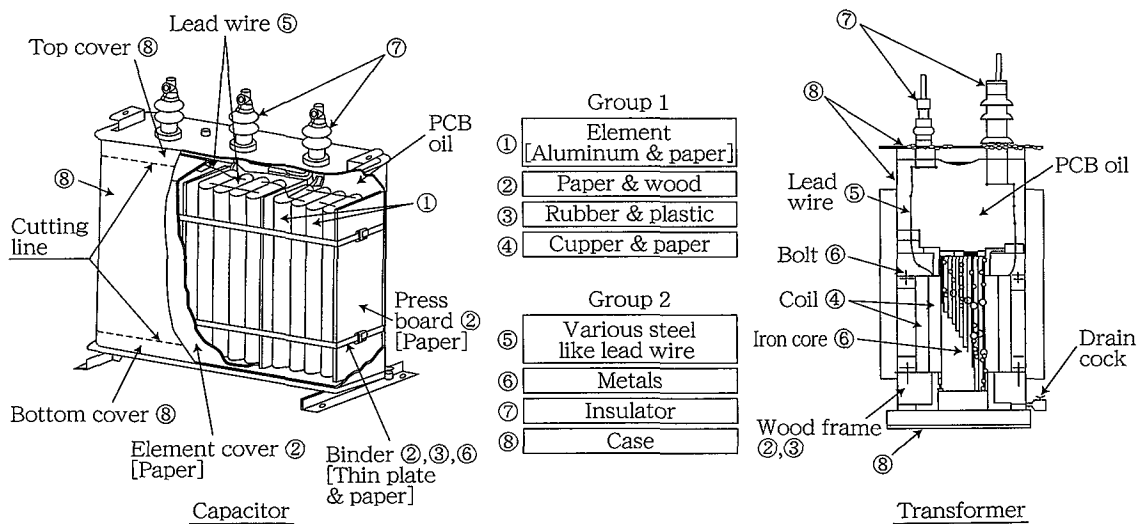
第2図 PCB汚染容器処理プラントレイアウト  
Fig. 2 Layout of PCB removing plant



Capacitor

Transformer

写真1 コンデンサ・トランスの外観  
Photo 1 Capacitor and transformer



第3図 コンデンサ・トランス構造図  
Fig. 3 Structure of capacitor and transformer

素子、紙・木屑、ゴム・プラスチック、破碎コイルの銅・紙からなるグループ（以下グループ1とする）と容器、碍子、鉄心などの金属類、リード線のような複雑金属のグループ（以下グループ2とする）に大きく分類される。ただし、部材ごとに最適洗浄方法を適用するため、分解後の各部材は専用籠に装填される。

上記の解体装置は作動空間が広く、多様な形状やサイズの汚染容器に対応でき、また、発熱が少なく火花、切り粉の出ない構造となっている。

## 1.2 除染工程

部材の種類に適した、また洗浄工程でのPCB濃度に適した洗浄方法が、段階的に採用される。洗浄剤は炭化水素系溶剤、または、PCEが用いられる。炭化水素系溶剤の特徴は、PCEに比べて洗浄能力は劣るが、PRTR（化学物質管理促進法）、化審法（化学物質の審査および製造等の規制に関する法律）などの法規に該当しないことである。一方、PCEの特徴は、比重が1.6程度で、紙・木や金属との比重差を利用して、コンデンサの素子やトランスのコイルを紙・木と金属（アルミ・銅）に分離できることである。このため、基準検定用に分離する必要がなく、回収・再利用も容易となる。

### 1) グループ1の洗浄

炭化水素系溶剤を用いる場合、グループ1の部材は浸漬洗浄を繰り返し、脱液後、真空加熱乾燥にて最終処理される。第4図に示す真空加熱装置は、ヒータと真空ポンプを調整して、温度と圧力

が制御される。排ガス温度は、タール・木酢液の発生が少ない200-250℃に設定され、真空圧は、PCBの常圧最高沸点450℃に対して、炭化水素の蒸気圧と蒸気温度の沸点換算ノモグラフより指示される蒸気圧400 Pa以下の領域で運転される。この温度条件下では、紙が炭化することはない。

PCEを用いる場合は、溶剂量を少なくするため、一次洗浄では蒸気・スプレイ洗浄が適用され、二次洗浄では浸漬・分離洗浄が、三次処理では真空加熱乾燥、あるいは浸漬洗浄が適用される。

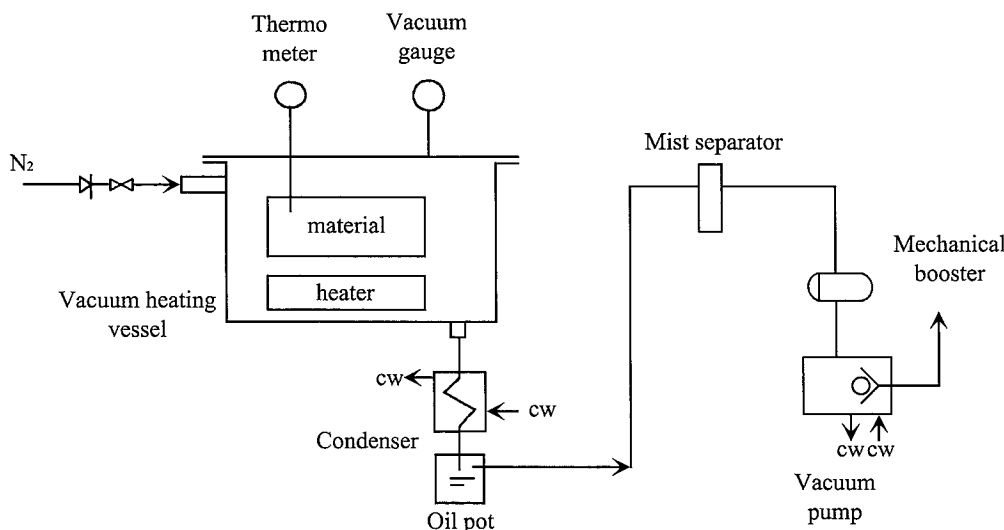
### 2) グループ2の洗浄

炭化水素系溶剤を用いる場合、グループ2の部材は、一次、二次ともに、超音波を用いて常圧、または、7000 Pa程度の真空状態で浸漬洗浄される。PCEを用いる場合は、一次、二次洗浄ともに蒸気・スプレイ洗浄である。

二次洗浄で洗浄を実質的に終了させるため、金属部材と碍子は、自主管理分析（拭き取り試験、または部材採取試験）により基準値到達が確認される。二次洗浄されたすべての部材は、三次洗浄槽に入れられる。ここで、判定浸漬洗浄をおこない、洗浄液を採取して公定法により分析する。ただし、リード線のような複雑金属部品に対しては、二次洗浄後に、真空加熱乾燥処理される。なお、PCEを用いた二次洗浄は、超音波洗浄である。

## 1.3 溶剤再生工程

高濃度のPCBが付着した容器や部材を除染する場合、洗浄の早い段階では、純度の低い溶剤が用い



第4図 真空加熱装置のフロー図  
Fig. 4 Flow chart of vacuum heating vessel

られ、最終洗浄段階では、純度の高い溶剤が用いられる。再生溶剤の濃度に応じて、たとえば、炭化水素系溶剤を使用する場合は、2段階の再生工程で構成される。再生溶剤のPCB濃度は、一次蒸留塔が10 ppm - 20 ppm程度であり、二次蒸留塔が0.1 ppm程度である。いずれも溶剤は精留塔で再生する。

溶剤再生に必要なエネルギー低減と設備・部材の再汚染の可能性を低くするため、第1図の蒸留再生工程のブロックフローに示すように、二次蒸留塔の底部缶出液を一次蒸留塔供給液に加えている。

PCEの場合も同様に、PCB濃度によって3段階の再生工程で構成されるが、三次の精留を除いて、一次、二次は単蒸留で溶剤を再生する。

#### 1.4 排ガス処理工程

汚染容器の受入以降、出荷基準に到達するまで、汚染容器とその内部部材は、遮蔽室で処理される。また、作業員のPCB汚染を防止するため、遮蔽室は排風機で排気されて、負圧に管理される。

第1図のブロックフローに示すように、前処理工程、除染工程、および溶剤再生工程から排出されるPCBと溶剤を含んだ排ガスは、凝縮器、デミスタで、PCBと溶剤が凝縮・分離され、その後2塔式の吸脱着機能をもつ活性炭槽を経て排気される。分離、および吸脱着されたPCBと溶剤は溶剤再生工程に送られる。

一方、工場内の換気はフィルタで除塵後、活性炭吸着槽を通して排気される。

#### 1.5 検定・出荷工程

真空加熱処理、または浸漬洗浄で最終処理したグループ1の部材とグループ2の複雑金属部品については、部材採取試験、および溶出試験による公定法で検定がおこなわれる。複雑金属部品を除くグループ2の部材については、三次処理の洗浄液試験による公定法で検定がおこなわれる。基準値に到達した金属類は、再利用される。碍子、紙は一般産業廃棄物として処分される。

#### 2. 容器処理プロセスの物質収支

年間処理量125トンのPCBに相当する、標準的な容器処理プラントの物質収支を第1表に示す。処理能力は50 kVA相当のコンデンサで20台/日であり、稼働日数は年間300日としている。処理プロセスは、炭化水素系溶剤、またはPCEを使用して、グループ1の部材とグループ2の複雑金属部品については、溶剤洗浄後、真空加熱乾燥を適用している。なお、PCEの場合は、洗浄のみでも最終処理できる。複雑金属部品を除くグループ2の部材は、溶剤の種類によらず、洗浄のみで除染される。

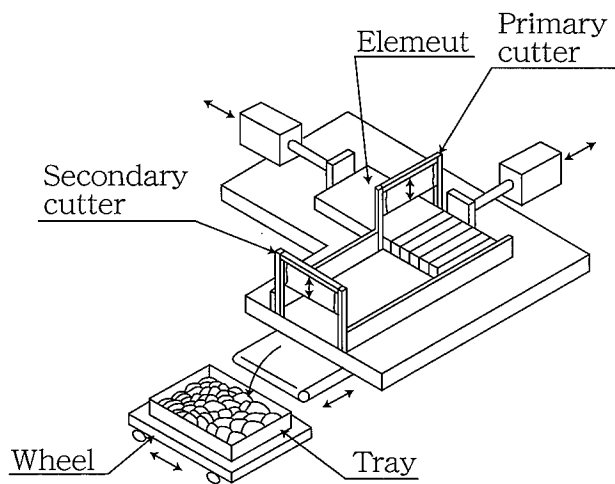
抜油PCBと溶剤を含んだ高濃度PCBは、洗浄用絶縁油とともに、PCBの無害化工程（SPプロセス）に送られる。PCEを使用する場合は、アルミの分離が可能で、年間40トン近くが回収・再利用される。各種排ガスは作業環境基準値以下に処理されて、排出される。

第1表 物質収支  
Table 1 Material balance

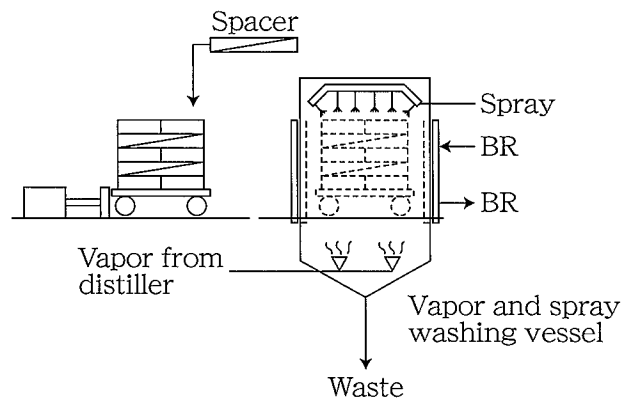
Item	kg/d (Nm <sup>3</sup> /d)	Remarks
<b>Input</b>		
Capacitor	953	50kVA 20 sets
Solvent	30	new feed
Insulation oil	100	cleaning oil for pan, gutter
N <sub>2</sub> -seal gas	(2 500)	tank seal
-vacuum vessel	(800)	ventilation & cooling
Fuel oil	5 100	heat source for distillation
<b>Output</b>		
Suction oil PCB	167	from dismantle area
Removal PCB	252	from washing area
Solvent	30	loss (to SP process)
Insulation oil	100	loss (to SP process)
Iron (case etc.)	143	for recycle use
Insulator	10	waste
Copper	19	for recycle use
Aluminum	133	for recycle use
Paper	229	waste
N <sub>2</sub> -seal gas	(2 500)	<100 μg/Nm <sup>3</sup>
-vacuum vessel	(800)	<100 μg/Nm <sup>3</sup>
Process exhaust gas	(360 × 10 <sup>3</sup> )	<100 μg/Nm <sup>3</sup>
Fuel exhaust gas	(70 × 10 <sup>3</sup> )	N.D
Ventilation	(2 880 × 10 <sup>3</sup> )	<100 μg/Nm <sup>3</sup>

第 2 表 主要機器仕様  
Table 2 Specification of major equipment

Process	Operation time (hour)	Equipment
Oil suction, drainage	4	Vacuum drill
Cutting of element For case, insulator & metals	4	Primary and secondary motorized cutters
Primary rinse washing	2-6	Washing vessel with ultrasonic wave generator and vacuum system, 18 m <sup>3</sup> ×1set
Secondary rinse washing	2-6	Washing vessel with ultrasonic wave generator and vacuum system, 18 m <sup>3</sup> ×1set
Rinse washing for authorized regulation For paper, aluminum	4-8	Washing vessel, 11 m <sup>3</sup> ×1set
Primary rinse washing	6	Washing vessel with dewatering device 2.2 m <sup>3</sup> ×6 sets
Heating and drying under vacuum	12	Horizontal and cylindrical vessel, 5 m <sup>3</sup> ×1set



第 5 図 コンデンサ素子裁断の概念図  
Fig. 5 Conceptual drawing for cutting of capacitor element



第 6 図 蒸気洗浄の概念図  
Fig. 6 Conceptual drawing for vapor washing

### 3. 主要設備の機器仕様と運転概要

前記コンデンサ処理を、炭化水素系溶剤を用いておこなった場合の機器仕様を第 2 表に示す。前処理工程の各单位操作は 4 時間程度で、8 時間の常昼勤務で対応する。最も時間を要する処理は、グループ 1（紙、アルミ）の洗浄で、溶剤洗浄に 6 時間、真空加熱乾燥に 12 時間程度、公定分析に 15-20 時間を要する。

炭化水素系溶剤と PCE を用いた場合のそれぞれの運転概要について、以下に詳述する。

#### 3.1 容器解体

コンデンサは、切断機で缶体が切断され、プレス、カッターなどでさらに小物部品に分解される。缶体は、反転装置で残油が流下回収され、その後、底板に穴が開けられ、素子は穴を通して押し出されて、

カッター、マニピュレータなどで 1 個ずつに分解される。缶体は端子蓋と同様に底部の外周が切断され、取り外される。

#### 3.2 素子の裁断

コンデンサ素子は 2 段階で裁断される。第 5 図に素子裁断の処理概念図を示す。一次裁断では、一定の幅で素子が送られ、ロール状からスライス状に、2 次裁断では更に、短冊状に裁断される。

#### 3.3 グループ 1（紙、アルミ）の洗浄

炭化水素系溶剤を用いた場合、裁断された素子は脱液機能付きの洗浄槽で攪拌・浸漬洗浄された後、真空加熱乾燥処理される。装置は、250℃、2.7-6.7 Pa で運転され、5 時間保持される。保持の間、装置は窒素ガスで数回置換される。

PCE を使用する場合、裁断された素子は、底部

第3表 PCB 除染処理の結果

Table 3 Result of removing treatment for PCB

Solvent	Hydrocarbon solvent				
Treatment					
Primary	Rinse washing				
Secondary	Not applied		Rinse washing		
Tertiary	Heating and drying under vacuum			Not applied* <sup>1</sup>	
Material	paper	aluminum	lead wire	insulator	case
Residual PCB	<0.0005	0.001	0.01	0.06	0.03
unit	mg/lit.	mg/kg	mg/kg	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$
Regulation	0.003	0.01	0.01	0.1	0.1
Solvent	Perchloro ethylene				
Treatment					
Primary	Vapor and spray washing				
Secondary	Rinse and separation		Rinse	Vapor and spray washing	
Tertiary	Heating and drying under vacuum			Not applied* <sup>1</sup>	
	(Rinse washing)* <sup>2</sup>				
Material	paper	aluminum	lead wire	insulator	case
Residual PCB	<0.0005	0.004	0.003	0.02	0.02
unit	mg/lit.	mg/kg	mg/kg	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$	$\mu\text{g}/100\text{ cm}^2$
Regulation	0.003	0.01	0.01	0.1	0.1

Notes \*1: Rinse examination for authorized regulation was conducted as tertiary treatment. Test result was less than 0.06 mg/kg and has passed the regulation value (0.5 mg/kg).

\*2: When element was rinsed by PCE in the tertiary treatment, residual PCB in the aluminum was 0.002 mg/kg and that in the paper was less than 0.0005 mg/lit.

が網目状のトレイに装填され、このトレイが複数段に積層されて、蒸気洗浄される。第6図に蒸気洗浄の処理概念図を示す。蒸気洗浄槽は、下部に蒸気供給口が、上部および側面にはスプレイノズルが設けられている。装置内を常圧に保持するため、側面上部には冷却装置が取り付けられ、蒸気を凝縮させる。素子は蒸気洗浄された後、前記のノズルから常温の溶剤をスプレイされ、冷却・洗浄される。二次処理では、低速回転する攪拌機で紙とアルミが洗浄・分離される。真空加熱で三次処理する場合、保持温度は210℃で、他の条件は炭化水素系溶剤の場合と同じである。PCEによる三次処理では、紙とアルミが別々の洗浄槽で、数回攪拌洗浄される。

#### 3.4 グループ2（金属部材、碍子）の洗浄

金属部材および碍子は、被洗浄性の差によりケース、碍子類（以下ケース類とする）と蓋、端子、リード線類（以下蓋類とする）の2種類に分類され、お

のこの洗浄槽に装填される。

炭化水素系溶剤を用いる場合、ケース類と蓋類は、同じ洗浄槽を使って、別々に一次洗浄される。つまり、ケース類は常圧下で、蓋類は真空状態で超音波洗浄される。二次洗浄は、一次洗浄と同様の手段で、専用の二次洗浄槽を用いておこなわれる。

PCEの場合は、ケース類と蓋類は同時に、同じ蒸気洗浄槽でスプレイと蒸気による一次洗浄がおこなわれる。続いて、ケース類は、専用の二次洗浄槽に送られ、再度、スプレイ洗浄と蒸気洗浄がおこなわれる。蓋類の二次洗浄は、超音波浸漬洗浄である。なお、リード線などの複雑金属部品は、さらに真空加熱処理される。

#### 3.5 除染処理の結果

第3表に部材ごとの除染結果を示す。各部材とも除染基準を達成しており、特に、除染が困難と思われた素子は、紙が定量限界以下で、アルミ箔はPCE

PCB および PCB 汚染物 <sup>4)</sup>	当社の実施状況
低濃度 PCB 汚染油 (250 000 kL)	: SP プロセスにて処理検証済み
低濃度 PCB 汚染トランス (400万台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理検証済み
電気機器 (23万台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理可能 (検証予定)
高濃度 PCB 汚染コンデンサ・トランス (107 000台)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理検証済み
感熱紙 (768トン)	: 容器処理技術 (SED Process) にて処理可能 (検証予定)
熱媒 (5 334トン)	: SP プロセスにて処理検証済み

の場合は基準値の2/5で、炭化水素系溶剤の場合は1/10であり、いずれも、基準値を満たした。

なお、PCEを用いて、三次処理を真空加熱乾燥せずに浸漬洗浄した場合は、紙が定量限界以下で、アルミ箔は基準値の1/5であった。

#### 4. 作業環境保全と安全対策

プロセス開発にあわせて、その信頼性や作業の安全性を検討し、PCBに特有の対策を基本設計に反映した。

##### 4.1 PCB曝露対策

作業者が曝露しないように、工場内のPCB濃度は作業環境基準値 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の1/10以下に管理維持される。このほか、次の各点に留意している。

- 1) 負圧に管理された遮蔽室内で汚染物を取り扱う。
- 2) 解体や移送中に滴下するPCBや溶剤は、装置下部に設けられたパンに回収される。パンは絶縁油で洗浄され、洗浄廃液はSPプロセスへ送られて無害化処理される。
- 3) 洗浄溶剤は密閉系とし、サンプリングなど開放系となる場所では局所排気をおこなう。
- 4) 建屋の換気は独立の一過式とし、工場内を清浄

に保つ。

##### 4.2 安全対策

PCBや溶剤の漏洩に対しては、2重の流出防止堤、および不浸透性床を設けて、流出を防止する。また、PCBや溶剤は屋内で取り扱い、雨などによる流出も防止する。

##### むすび

2001年7月、PCB特別措置法が施行され、2015年までの処理が義務付けられた。当社は保有するSPプロセスと本報で述べた汚染容器処理技術をあわせて、上記のPCBおよびPCB汚染物<sup>4)</sup>の一貫処理システムを供給できるようになった。

##### [参考文献]

- 1) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB処理技術ガイドブック、(1999)、資料 5.1-2、(その10)、(その11)
- 2) 加藤治ほか：神鋼パンテック技報、Vol.44 No.2 (2001)、p.2
- 3) 川井隆夫ほか：神鋼パンテック技報、Vol.42 No.1 (1998)、p.34
- 4) 産業廃棄物処理事業振興財団：PCB処理技術ガイドブック、(1999)、p.8

#### 連絡先

浄 弘 明 彦      資源再生事業室  
チーフマネージャ

T E L 078 - 992 - 6525  
F A X 078 - 992 - 6504  
E-mail a.jogu@pantec.co.jp

矢田貝 直 幸

T E L 078 - 992 - 6525  
F A X 078 - 992 - 6504  
E-mail n.yatagai@pantec.co.jp

資源再生事業室  
技術担当課長