廃 タ イ ヤ 再 資 源 化 装 置*

川上 茂三**・小田 泰男**・田仲 秀基**
 沢 清彦**・尾村 紘**・下島 克彦**
 井上 公雄***・酒井 民雄****

Scrap Tire Pyrolysis Plant

Shigezo KAWAKAMI, Yasuo ODA,
 Hideki TANAKA, Kiyohiko SAWA,
 Hiroshi OMURA, Katsuhiko SHIMOMURA,
 Kimio INOUE and Tamio SAKAI

廃タイヤは、従来から再生ゴム原料、更生タイヤなどとして再利用されており、また最近では、温水ボイラ用燃料などのエネルギー源として利用される方法も開発されている。しかし、これらの方法も処理量が少なかったり、最近急激に増加してきたスチールコードタイヤには適用できないなどの問題があり、集積された未処理廃タイヤが社会的な問題となる場合すら起っている。これらの状況を背景として、株式会社神戸製鋼所は、廃タイヤを再資源化することを目的として、粉碎による粉末ゴム製造プロセスの開発と熱分解により油・カーボンブラックおよび鉄を回収するプロセスの開発を進めてきた。ここでは、後者の熱分解技術について説明する。

1. は じ め に

わが国の自動車保有台数は約3,500万台となり、保有率から見ても米国につぐ自動車国となった。自動車の普及につれて廃タイヤの発生量も増加し、1977年には本数にして約4,700万本、重量にして約55万トンに達したと推定されている。

廃タイヤは、従来から再生ゴム原料、更生タイヤなどとして再利用されてきたが、ゴムの種類によって再生が困難であったり、損傷度によって更生用に向かないなどの制限がある。最近になって触媒を使った低温再生法(加熱により軟化再生し接着剤やゴム配合剤とする研究)が発表され、合成ゴムを主体とした小形タイヤの再生にも適する処理法が生れている。また、石油価格の高騰に

より、温水ボイラの燃料として、あるいは、廃タイヤを直接セメントキルンの燃料として利用するなど新しい処理法が登場しており、廃タイヤの有効利用技術は今後急速に進展すると思われる。

神戸製鋼は、廃タイヤの粉碎による粉末ゴム製造プロセスのほかに、廃タイヤを熱分解し、油・カーボンブラックおよび鉄を回収するプロセスの開発を進めてきた。1973年にはパイロットプラントによる熱分解実験に着手した。1978年には、財団法人機械システム振興協会およびクリーン・ジャパン・センターなどの公的資金を得て、実用第1号プラント(以下「1号プラント」と称する)の建設に着手し1979年秋に完成した。

2. プロセスの概要

廃タイヤ熱分解プロセスを開発するに際し、下記の4項目を基本理念とした。

- 1) スチールコード、ビードワイヤなどのスチール類を予め分離することなく処理できること。
- 2) 粗破碎タイヤが処理できること。
- 3) カーボン・油・ガスなどの回収物が酸化されたり、希釈されないこと。
- 4) 操業が容易で自動化できること。

これらの条件を満足する熱分解装置として、外熱式ロータリキルンが適すると考えた。廃タイヤの熱分解について、基礎的なデータを得るために、石英チューブ中で加熱するバッチ式実験装置に続いて、写真1に示す連続式のパイロットプラントを試作し、実験を行なった。その結果を基にして写真2に示す1号プラントを建設した。1号プラントの能力は単位時間当たり1.1t、年間で7000tの廃タイヤを処理する能力を有している。第1図

* 昭和55年11月18日本会第65回例会において発表

** ㈱神戸製鋼所機械事業部技術部技術室

*** ㈱神戸製鋼所機械事業部産業機械工場設計部

**** ㈱神戸製鋼所技術開発本部機械研究所

昭和55年10月1日受理

写真1 パイロットプラント

写真2 1号プラント

第1表 回収物の比率
RATIO OF RECOVERED PRODUCTS

KINDS OF SCRAP TIRES	PASSENGER CAR & LIGHT TRUCK TIRES		TRUCK & BUS TIRES
NO. OF TEST RUNS	19	24	17
HEAVY OIL	42.2%	46.6%	33.7%
LIGHT OIL	6.8	6.0	6.3
CHAR	30.0	32.5	32.6
GAS	10.6	7.5	10.9
STEEL	5.4	4.0	11.7
CARBON SLUDGE	1.2	1.2	1.6
WASTE WATER	2.6	1.6	2.9
WASTE CHAR, GLASS FIBER, ETC	1.2	0.7	0.3

第1図 全体配置図

第2図 フローシート

は1号プラントの全体配置を示す。第2図は1号プラントのプロセスフローとマテリアルバランスの例を示す。第1表は1号プラントにおける回収物の比率を示す。

3. 主要設備の概要

3.1 廃タイヤ破碎設備

貯留ヤードに集積された廃タイヤは、フックコンベアにより破碎機へ供給される。破碎機としては、廃タイヤ破碎用として特別に開発された第3図の二軸剪断式破

碎機が使用される。破碎は1次および2次の2台の破碎機による。丸タイヤは1次破碎機で粗破碎され、更に2次破碎機で約100mm以下程度まで細破碎される。その能力は最大2t/hである。タイヤの中にはビードワイヤやスチールコードが含まれるためカッタの摩耗が激しいので、カッタの簡単な取外しと再研削が容易におこなえるよう配慮されている。

安定した熱分解をおこなうためには、破碎片を一定量ずつ、連続的に熱分解キルンへ供給する必要がある。廃

第3図 シュレ ッ ダ

タイヤの破砕片はビードワイヤおよびスチールコードのからまりや大きな摩擦のため連続定量切出しが困難な粒体であり、定量供給装置には特別の設計が必要である。

3.2 熱分解設備

破砕された廃タイヤ片は、三重ダンパによって発生ガスがキルン外部へ洩れるのを防ぎつつかつキルンへの空気の侵入を防ぎつつ、熱分解キルンへ供給される。熱分解は外熱式ロータリキルンでおこなわれる。キルン内壁面へカーボンが付着するのを防止するためと被加熱物を均一に加熱するために、キルンの中にはスクレーパが組込まれている。

キルンの加熱燃料には自ら発生する低沸油とガスの一部が使用される。キルンの出口側にも同様の目的の三重ダンパが設けられており、炭化物はこれによりキルンの外へ取り出される。排出された炭化物はビードワイヤやスチールコードなどの鉄分を分離除去された後、再加熱キルンへ送られる。再加熱処理用のキルンは小形の外熱式ロータリキルンであり、その目的は炭化物に付着している少量の油などの揮発性物質を除去することである。再加熱処理を加えることにより、炭化物中の揮発性物質の含有率を一定レベル以下に下げることができ、安定した品質のカーボンブラックが製造できる。

熱分解設備の処理能力は1.1 t/hである。熱分解温度は高いほど熱分解は短時間に進み、プラントの処理能力は高められるが、一定の温度以上に熱分解温度を高めるとカーボンブラックの性質がわるくなるので、熱分解温度には制限がある。

3.3 ガス処理設備

熱分解にて発生したガスは一次冷却塔にて冷却され高沸油が分離される。ガス中に浮遊している微細なカーボン粒子は一次冷却塔の上部より噴霧している油により捕捉されて塔底へ落ちる。一次冷却により凝縮した高沸油と微細なカーボン粒子は塔底より引き出され、シクナおよび遠心分離機へ送られ、カーボン粒子がスラッジとして分離除去される。一方冷却された高沸油は循環油と

して一次冷却塔へ戻されるが、一部は製品油として系外へ取り出される。

一次冷却塔を出たガスは、二次冷却器で常温まで冷却され、低沸油を凝縮させる。低沸油とともに少量の水が同時に凝縮するので、油水分離器により低沸油と分離する。

さらに残りの非凝縮性ガスは、ガスホルダを介して一部熱分解キルンの加熱用燃料として使用され、残りは燃料ガスとして外部へ供給される。

熱分解炉および乾燥炉から排出される燃焼ガスは1号プラントにおいては隣接するセメントプラントに導き、有害成分を除去している。

3.4 カーボン精製設備

熱分解にて生成した炭化物は、元来タイヤに配合されていたカーボンブラックと少量の無機薬品が残留したものである。炭化物はそのままではゴムに対する補強性がわるいが、粉碎処理を施すと市販のカーボンブラックに類似した補強性を示す。粉末状のカーボンブラックは、そのままでは取扱上および輸送上に問題があるので、造粒処理を施し、袋詰めの上出荷される。

回収カーボンブラックのゴムに対する補強性は炭化物を細かく粉碎するほど増大するので、微粉碎に適したエアージェット式粉碎機が使用されている。

粉碎されたカーボンを造粒する方法としては湿式法と乾式法があるが、生産量が小さい場合には湿式法は経済的な面で不利となるので、このプロセスでは乾式法が採用されている。炭化物に微量のバインダ(特殊テフロン)を添加した後粉碎・混合を行なう。これを混練機にかけるとテフロンがフィブリル化しバインダ効果が生まれるので、さらに圧延ロール形造粒機で板状に成形し、破碎してペレットを製造する。回収カーボンブラックのゴムに対する分散性はバインダの添加量や造粒時の成形圧力によっても影響を受ける。

カーボン精製設備の能力は375 kg/hである。

4. 回収物の性質と用途

4.1 油およびガス

熱分解にて回収される油は第2表のような性質をもち燃料として利用できる。高沸油は引火点も高く、重油に類似した性質を持っている。1号プラントで生成する油はC重油と混合してセメントキルンの燃料として利用している。低沸油は引火点が低いため燃料として外部へ供給するには安全に対する注意が必要である。1号プラントではキルン加熱用燃料として、ガスの一部とともにプラント内で自家消費している。熱分解で生成した油は芳香族成分が多くゴムに対する親和性に富んでいる。減圧蒸留によって低沸点成分を除くと、ゴム用プロセスオイ

第2表 高沸油の品質

●Quality of Heavy Oil

Characteristic Item		Quality
Specific gravity	15/4°C	Below 1.0
Flash point	°C	Above 35
Viscosity	(50°C Redwood Sec)	Above 30
	50°C cst	Above 2
Pour point	°C	Below - 10
Carbon residue	wt%	Below 8
Ash	wt%	Below 0.03
Sulfur	wt%	Below 2
Water content	wt%	Below 0.3
Copper corrosion	50°C, 3h	Inactive
Heating value (High)	kcal/kg	Above 9,700

ルとして利用できる可能性がある。

4.2 炭化物

炭化物はおもにタイヤに配合されていたがカーボンブラックが残留したものであり、粉碎・造粒してゴム配合用カーボンブラックとして再利用できる。本プロセスによる再生カーボンブラックと市販カーボンブラックの性質を比較した例を第3表に示す。再生カーボンブラックはpHが高く灰分が多いなど市販品との差がみられる。これは主として、タイヤ製造時に加硫促進剤として加えられた亜鉛化合物が硫化物として残留するためである。

第3表 回収カーボンブラックの品質

●Quality of Carbon Black

Characteristic Item		Quality
Configuration		Dry granulated pellet
Odor		Practicably free from odor.
Volatile matter		Stabilized
Benzene discoloration		Above 65%
Heating loss		Below 3%
pH value		6~11
Acetone extraction		Below 5%
Grain size	100 mesh over	Below 0.05%
Compounding property (Dispersion)		Above 80%

●Test Result of Rubber

Property	Type		
	KSC-1000	GPF	HAF
Viscosity ML ₁₊₄ (100°C)	68	68	71
Original property	Tensile strength 15' 240	123	269
	20' 241	171	270
	140°C 30' 236	178	266
	T _B 40' 218	192	255
	(kg f/cm ²)		
	Ultimate elongation 15' 700	1,000	620
	20' 610	810	520
	E _B 30' 510	640	430
	(%) 40' 430	600	390
	100% Modulus 15' 17	9	18
	20' 19	13	21
	M ₁₀₀ 30' 23	17	24
	(kg f/cm ²) 40' 24	20	29
	300% Modulus 15' 58	29	91
	20' 79	58	122
	M ₃₀₀ 30' 105	77	158
	(kg f/cm ²) 40' 122	94	181
After ageing property	Hardness 15' 61	57	65
	20' 63	60	66
	H _s 30' 64	61	67
	(JIS A) 40' 66	62	69
	Tear strength 15' 47	60	50
	20' 41	48	47
	T _{R-B} 30' 36	44	40
	(kg f/cm ²) 40' 34	41	38
	Gear Type 100°C ×24h	Vulc. Time 20'	40'
			20'
	T _B (kg f/cm ²)	180	172
	E _B (%)	310	320
	M ₁₀₀ (kg f/cm ²)	31	34
	H _s (JIS A)	69	68
			71
	Gear Type 100°C ×48h	Vulc. Time 20'	40'
			20'
	T _B (kg f/cm ²)	181	158
	E _B (%)	270	280
	M ₁₀₀ (kg f/cm ²)	36	35
	H _s (JIS A)	71	69
			73

Rubber Compounding Characteristics of This Test Result (Compounding characteristics using carbon black sampled from the pilot plant)

1. Compounding ingredients

SBR 1502	100 portions
No.1 zinc white	5 portions
Stearic acid	2 portions
Sulfur	2.2 portions
Accelerator DM	2 portions
Accelerator TT	0.1 portion
Carbon black	45 portions

2. Vulcanizing condition

Press vulcanizing at temperature of 140°C.

加硫ゴムに対する補強性は、市販カーボンブラックのHAFとGPFの中間的な値を示す。

熱分解条件の中で再生カーボンブラックの性質にもっとも大きな影響を与えるのは熱分解温度である。パイロ

写真3 回収カーボンブラックの用途

ットプラントによる実験の結果では、600°C以上の高温で熱分解すると再生カーボンブラックのゴムに対する補強性はいちじるしく低下する。これは高温で分解すると、炭化水素の2次分解によって生成するカーボンにより炭化物の凝集力が増大し、粉碎工程で容易に粉碎できない凝集塊が残るためである。

再生カーボンブラックの用途開発のため、安全ぐつ、自転車タイヤなどの製品を試作し(写真3)、製鉄所および機械工場で市販品との比較試験を実施した。

安全ぐつの試験履き(3カ月)によると、底部の摩耗量は市販カーボンブラック(HAF-LS)配合にくらべて、再生カーボンブラック配合の方がやや少ないという結果がでている。

自転車用タイヤについても同様に、市販カーボンブラック(HAF)配合にくらべて、摩耗量がやや少なく、再生カーボンブラックの耐摩耗性がすぐれていることを示している。

再生カーボンブラックはその他の工業用品などにもゴム配合用としての利用が考えられる。

4.3 鉄

タイヤ中のビードワイヤおよびスチールコードなどの鉄は、熱分解後磁選し、屑鉄としてリサイクルされる。

4.4 その他の廃棄物

その他の廃棄物として 1) カーボンスラッジ、2) 含油廃水、3) 異物が発生する。カーボンスラッジは高沸点油と炭化物の混合物であり高い発熱量を有している。含有廃水はタイヤ破砕片の表面付着水に熱分解油が混入したものである。異物とは主としてキルン内壁に付着、生成した炭化物が脱落してきた炭化物の塊であり、時には特殊なタイヤに補強材として使用されているガラス繊維が含まれることもある。これらの少量の2次廃棄物は1号プラントに隣接しているセメント用焼成キルンにお

いて焼却処理されている。

5. 実証運転における問題点

1号プラントは1979年10月に完成し、11月より実証運転が行なわれているが、この間に下記の如きいくつかの問題があることが判明している。これらの問題点の一部は既に解決済であり、また残りの点については現在対策を実施中である。

5.1 ガラス繊維による閉塞

米国製タイヤの数銘柄および国産タイヤの極く一部には、補強材としてガラス繊維を使用しているものがある。ガラス繊維を含むタイヤを熱分解すると、ガラス繊維が遊離する。繊維長が1mm以下の短繊維から25mm程度の長繊維まであり、その多くは炭化物と共に熱分解キルンから排出され、輸送の過程で綿状に集合し、あるいは、水平振動ふるいの網上で綿状に集合し異物として系外へでてくる。炭化物中に混入したガラス繊維は粉碎され、不純物として回収カーボンブラックの中に残留する。しかし、遊離したガラス繊維の一部はガス処理系へ混入する。その内のいくらかはシクナの中で沈澱し、更にデカンタで分離されてカーボンスラッジとともに系外へ排出される。しかし、シクナからオーバフローしたガラス繊維は循環油とともに冷却塔の塔頂へ導かれ、充填層の上へ散布される。その結果、充填層にガラス繊維が除々に堆積し、遂に閉塞に至るという問題がある。

対策としては、循環油系にガラス繊維除去装置を追加すればよいのであるが、下記の要件を満たすものでなければならない。

- 1) ガラス繊維を完全に捕捉することができること。
- 2) 逆洗が可能であること。
- 3) 密閉構造であること。(高温の可燃性油を処理するため)
- 4) インライン形であること。(既設プラントを改造するため)

この目的のために、鉄球の汜過層を使用したガラス繊維除去装置を現在設計、製作している。

5.2 スチールワイヤ塊による閉塞

自動車の高速化に伴ないラジアルタイヤの比率が増大している。ラジアルタイヤにおいては、従来補強材として使用されているタキスタイルの代りにスチールコードが使用されている。スチールコードを含む乗用車用ラジアルタイヤを熱分解すると、スチールコードおよびビードワイヤが遊離する。スチールコードとビードワイヤは熱分解キルンの回転によってゆっくりと出口側へ移動するが、その過程でキルンがボーリングドラムとして作用しスチールコードとビードワイヤが球状の塊となる。

このワイヤ塊はビードワイヤが骨材、スチールコードがバインダとなり、結合力が大きい。ラジアルタイヤの比率が大きくなると、ワイヤの塊の大きさが大きくなるとともに塊が互に結合して、可撓性のある太い柱状物となる。こうしてできたワイヤ塊が熱分解キルンの出口で閉塞すると、スクリュコンベアがトリップし、プラントが停止したり、あるいは、出口三重ダンプのシールが不良となり、可燃性ガスが漏洩する危険性のためにプラントを停止することになる。

対策としては、ワイヤ塊がキルン内で大きく成長しないようワイヤ塊のキルン内滞留時間を短くし、且つ、ワイヤ塊が閉塞しないような排出装置にすることが必要である。この考え方に基づいて新しい排出装置を設計・製作している。

5.3 炭酸水素アンモンの結晶による閉塞

廃タイヤの熱分解ガスの中に存在する各種元素のうち、C, H, O, N が結合して炭酸水素アンモン ($(\text{NH}_4)\text{HCO}_3$) が生成される。ガス処理プロセスの中で熱分解ガスが常温附近まで冷却されると、この炭酸水素アンモンの結晶が析出しそれにより配管系が閉塞するという問題があった。この結晶は水に溶解するという性質と 80°C 付近で昇華するという性質を有しているので、この性質を利用して、水洗回路を設けたり、あるいは、配管をスチームトレ-

スすることにより解決することができた。

6. む す び

廃棄物を単に処理するだけではなく再資源化を図ることは、資源の大部分を輸入に頼っているわが国にとって望ましいことは明白である。

しかしながら廃棄物の再資源化が成立するためには効率のよい処理技術の開発とともに、安定した廃棄物の収集システムと回収物の再利用ルートの確立が必要である。

神戸製鋼では廃タイヤを単に廃棄物として処理するだけでなく、粉末ゴムや油・アカーボンブラックなどの有用な資源として回収するための技術開発を続けてきたが、これらの技術は実用の段階に到達しつつある。今後とも技術改良に努め、廃タイヤの再資源化が定着するように努力する所存である。

今回の1号プラントは(財)機械システム振興協会事業および(財)クリーン・ジャパン・センター事業として、(財)兵庫県資源再利用事業団を中心として、住友セメント㈱赤穂工場内に建設された。(財)機械システム振興協会事業分については新機械普及促進事業の一環として、「廃タイヤ熱分解システム分科会(委員長:東京都立大学 平山直道教授)で検討され、推進された。