解 説

プラスチック基複合材料のリサイクル—VI. ——各企業での実施例(4) タイヤに おけるリサイクル——

林 宏*

1. はじめに

モータリゼーションの発展に伴い、わが国の自動車保有台数は6,000万台を突破し、生産台数も年々増加、1980年以降、連続1,000万台ラインを記録し、世界第1位の生産国となっている。

これらの自動車に装着されるタイヤは、時代と共に量、質、形等々大きな変遷を続け今日に至っている。つまり、自動車の高性能化に伴い、タイヤの軽量化、高性能化を図るため、使用材料が厳選され、ラジアル化、扁平化、チューブレス化等タイヤ構造においても大きく変化し、加えて環境に即応したタイヤが望まれている。

一方、用済タイヤの処理も大きな問題となり、資源再利用の面からリサイクルの研究が急務となっている。しかし、タイヤは複合材料で構成されており、高性能化追求のため軽量で耐久性のある材料を使用することから、リサイクル用としての材料の分離、再利用が非常に難しくなってきた。

タイヤ業界としては、タイヤメーカー、タイヤ販売店が一丸となって用済タイヤの処理方法、処理先の開拓に積極的に取り組むことになっている。

以下に、タイヤリサイクルの概況について述べる。

2. タイヤの機能と構造

タイヤのリサイクルを説明する前に、タイヤの機能と構造について若干触れておきたい。

タイヤは自動車の部品であるが、次の4大機能を具備し、重要保安部品となっている。

- ① 荷重の支持
- ② 駆動・制動力の路面への伝達
- ③ 振動・衝撃の緩和

④ 操縦性・安定性の発揮

このようにタイヤに課せられた4大機能を発揮するには、ゴム・繊維（最近ではスチールコードも多用されている）の複合材料が用いられ、強度、保形、保護等、相互に有機的なつながりを持たせている。

タイヤの原材料は、使用材料統計から見てみると、図1、表1のとおりである。

タイヤの構造は大別してラジアルタイヤとバイアスタイヤに分けられる。カーカスを構成するコードが、トレッド中心線に対して直角に配列されているものがラジアルタイヤ、斜めに配列されているものがバイアスタイヤという。ラジアルタイヤはバイアスタイヤに比べ、次のような特徴があるので、最近の自動車の高性能化、高速道路の完備に対応して、表2に示すとおり、ラジアル化の比率は年々高まってきている。

(ラジアルタイヤの特徴)

- ① 操縦性、安全性が優れている
- ② 耐摩耗性が良い
- ③ 転がり抵抗が少なく、燃費が節約できる
- ④ スリップが少なく、けん引力が大きい

また、ラジアル化とともに、チューブレス化も進んで、乗用車用タイヤの95%はチューブレスとなっている。

3. 用済タイヤの発生量

(1) 自動車用タイヤの生産・販売量

1991年(1~12月)の自動車用タイヤの生産・販売量は表3に示すとおりである。国内販売量は新車用、補修用の他に輸入品、更生タイヤを含めて約1億4千万本となっている。

(2) 用済タイヤの発生量と回収状況

① 用済タイヤの発生源

用済タイヤの発生源は大別して次の3とおりが考えら

* Hiroshi HAYASHI: (社)日本自動車タイヤ協会
(105 東京都港区虎の門 1-1-12)

図1 タイヤ原材料重量構成比¹⁾

れる。

- ・タイヤが摩耗して、新品タイヤと交換する時
- ・廃車にする時
- ・用済タイヤが原形のまま利用されていたもの（更生タイヤ等）が廃棄される時

したがって、用済タイヤの発生量は次のような算式で概略推計できる。表4に発生量の推移を示す。

$$\boxed{\text{用済タイヤ発生量}} = \boxed{\text{補修用タイヤ販売量}} + \boxed{\text{廃車時発生量}}$$

② 用済タイヤの回収ルート

タイヤの販売時や自動車の廃車（解体業）時に発生した用済タイヤは、「産業廃棄物」として整備されたチャネルを通し、直接または間接的に回収され、回収業者に回収処理委託をしている。

特異なケースとしてユーザーが直接自治体のゴミ回収時に出すものは、「一般廃棄物」として自治体が処理することになるが、タイヤ販売会社が回収したり、処理業者を斡旋している場合が多い。

4. 用済タイヤのリサイクル状況

用済タイヤのリサイクルは、大別して原形利用、加工利用、熱利用の三つの方法がある。

図5に示すとおり、原形利用は用済タイヤの34%を占め、主として更生タイヤ台用となっている。再生タイヤとは摩耗したトレッドゴムを貼り替えて再びタイヤとして利用するもので、わが国では大型車用を中心に年間170万本生産されている。また、更生タイヤ台用として用済タイヤの20%が輸出されており、主な仕向地は香港、北米となっている。

加工利用は13%を占め、主に再生ゴムとしてタイヤや工業用品等に配合されている。

(単位：t)

表1 自動車タイヤ用主要原材料の消費動向¹⁾

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
タイヤコード										
スチール	73,729	85,695	101,690	108,381	111,992	125,573	149,079	170,826	179,744	183,684
ナイロン	69,583	78,680	72,687	69,839	57,777	60,910	61,424	58,498	56,314	52,135
ポリエステル	19,171	23,135	26,698	29,156	33,308	32,184	34,456	36,860	37,095	37,988
レーヨン	1,716	1,322	1,545	1,530	1,195	1,040	1,100	988	1,148	1,082
その他	866	1,050	945	879	990	1,155	1,116	1,028	951	984
計	165,065	189,882	203,565	209,785	205,262	220,862	247,175	268,200	275,252	275,873
ゴム										
天然ゴム	321,470	381,039	397,020	415,442	424,248	461,244	506,904	526,620	540,966	553,827
合成ゴム	388,686	422,448	452,112	454,269	412,323	419,193	470,832	500,574	486,659	468,072
カーボンブラック	370,582	419,308	448,127	457,128	437,742	463,546	509,045	537,663	540,170	532,404

資料/JATMA

注) JATMA 会員

図2 ラジアルタイヤとバイアスタイヤ⁴⁾ 図3 チューブレスタイヤとチューブ付タイヤ⁴⁾

熱利用は 39% を占め、主としてセメント焼成用として使用されている。セメント焼成用としての用済タイヤは燃料用だけでなく、焼却残渣は原料となるので、タイヤ業界としてはセメント焼成用の需要拡大を図るため、セメント業界とも相談の上、セメントキルンへのタイヤ供給装置のリース制度や用済タイヤの安定供給体制の確立に努力している。表5にタイヤリサイクル状況の推移を示す。

用済タイヤの主なリサイクル方法について、以下に若干述べてみたい。

(1) 更生タイヤ

用済タイヤの摩耗したトレッド部（踏面部）を貼り替えて再びタイヤとして使用するもので、生産量は 1983 年の 257 万本をピークに激減、1991 年は表6に示すとおり 173 万本となっている。更生タイヤはタイヤのラジアル化が進み、更生技術が高度化したこと、タイヤ寿命が長くなり相対的に価格が低下したこと等から需要は減退している。このようなことから、更生タイヤの主流はトラック・バス用のタイヤで、乗用車用タイヤはほとんど生産されていない。

更生タイヤの製造方法は、用済タイヤの中でも特に損傷のないものを厳選し、タイヤのトレッド部をバフした

上に、未加硫のゴムシート（キャメルバック）を貼りつけて型加硫するリモールド方式と、あらかじめ加硫してあるベルト状のトレッドゴムを貼りつけるプレキュア方式の2とおりがある。リモールド方式は金型を使って加硫するのでコストが高くなるが、高速耐久性が良いほか、外観が新品タイヤに近いという特徴がある。プレキュア方式は設備が安くつくこと、耐摩耗性が良いと言われている。わが国においてはリモールド方式が圧倒的に多く、プレキュア方式は 10% 程度の普及率である。

(2) 再生ゴム⁵⁾

再生ゴムは原料によりチューブ再生ゴム、タイヤ再生ゴム、雑再生ゴムに大別される。中でも用済タイヤを原料とするタイヤ再生ゴムが生産量の大部分を占めている。

再生ゴムは歴史的にも古くから使用されており、わが国では大正時代の初期に加硫ゴムくずから再生ゴムが造られたという記述がある。

再生ゴムの特徴としては次のようなものが掲げられる。

（長所） 動力消費の軽減、未加硫時の膨脹・収縮が少、可塑性の安定化、プレス加硫のゴム流れ良、スコーチ少、加硫戻り少等

（短所） 引張り強さ劣、弾性劣、引裂抵抗劣、圧縮永久ひずみ大、屈曲き裂大、配合剤分散劣

再生ゴムの製造方法は種々あるが、わが国では油法（オイルパン法）のみが行われている。油法再生ゴムの製造工程は次のとおりである。

〔再生ゴム製造工程〕（再生ゴム工業会資料）

- ① 原料：屑ゴム—主として使用済の自動車タイヤ（ビードを除去し裁断したもの）—を業者より購入する
- ② 粗碎：溝歯を持つクラッキングロールの間に原料を通過させて荒砕きを行う
- ③ 選別篩：篩通しを行い、均一の原料塊にす

表 2 品種別ラジアルタイヤ生産比率の推移¹⁾ (単位: タイヤ本数/千本, ラジアル比率/%)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
トラック及びバス用										
総本数	8,248	9,580	10,173	9,762	8,465	9,543	10,847	11,303	11,448	10,900
うちラジアル	3,797	4,305	5,287	5,325	5,078	5,684	6,930	7,687	8,079	7,961
ラジアル比率	46.0	44.9	52.0	54.5	60.0	59.6	63.9	68.0	70.6	73.0
小形トラック										
総本数	34,024	36,788	38,114	38,499	35,544	35,976	39,030	38,701	38,208	38,097
うちラジアル	4,099	5,126	7,138	8,829	10,966	13,138	16,500	19,822	21,502	22,981
ラジアル比率	12.0	13.9	18.7	22.9	30.9	36.5	42.3	51.2	56.3	60.3
乗用車用										
総本数	64,371	73,026	78,976	83,887	88,067	90,371	97,351	101,800	100,423	101,700
うちラジアル	49,840	57,572	62,290	68,630	74,961	78,480	86,651	91,495	91,087	93,017
ラジアル比率	77.4	78.8	78.9	81.8	85.1	86.8	89.0	89.9	90.7	91.5
3品種ラジアル生産比率	54.2	56.1	58.7	62.6	68.9	71.6	74.8	78.4	80.4	82.3

資料/JATMA

注) JATMA 会員分

表 3 自動車タイヤ・チューブ生産、販売量の推移^① (単位：タイヤ本数/千本、ゴム量/t)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
生 産										
タイヤ本数	127,617	138,424	145,902	153,495	150,908	151,479	163,064	166,697	164,113	164,667
ゴム量	722,364	814,405	864,001	879,055	837,068	880,935	975,701	1,023,772	1,031,035	1,019,613
販 売										
新車用										
タイヤ本数	64,094	62,555	64,294	69,941	65,882	62,950	63,422	62,377	63,960	62,544
ゴム量	252,825	250,474	266,293	283,364	263,396	255,765	264,128	266,304	275,575	270,359
補修用										
タイヤ本数	43,826	45,657	48,262	50,679	51,595	53,641	59,423	60,613	61,295	64,476
ゴム量	234,720	246,487	264,918	280,251	279,441	301,905	338,890	354,941	370,194	391,283
輸出用										
タイヤ本数	20,112	28,902	31,136	31,220	30,896	33,672	39,830	41,416	39,184	38,668
ゴム量	243,924	314,438	325,755	315,341	291,150	324,294	373,104	398,307	389,255	361,751
計										
タイヤ本数	128,032	137,114	143,692	151,840	148,373	150,263	162,675	164,406	164,439	165,688
ゴム量	731,469	811,399	856,966	878,956	833,987	881,964	976,122	1,019,552	1,035,024	1,023,393
輸 入										
タイヤ本数	3,555	3,887	3,823	4,288	6,311	8,202	11,653	14,056	13,764	14,323
ゴム量	14,661	15,544	15,291	16,690	25,484	33,395	48,237	58,273	58,726	59,541
更 生										
タイヤ本数	2,302	2,570	2,155	2,107	2,007	2,034	1,956	1,882	1,802	1,732
ゴム量	13,459	14,902	15,367	15,013	13,357	13,203	13,595	13,166	12,566	11,971

注) ①タイヤ本数は自動車タイヤ、運搬車用タイヤの合計 ②ゴム量はタイヤ、チューブ、フラップ・リムバンドの合計 資料/通産省, JATMA

表 4 用済タイヤのルート別発生量の推移¹⁾ (単位: タイヤ本数/百万本, 重量/千 t, %)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
タイヤ取替時に発生する数量										
本数	43	44	45	50	51	53	58	59	60	64
重量	412(75.7)	430(75.7)	440(76.0)	480(77.4)	485(77.8)	525(78.5)	584(79.8)	586(77.2)	612(75.7)	655(76.9)
自動車の廃車時に発生する数量										
本数	20	21	22	22	22	23	24	25	29	30
重量	132(24.3)	138(24.3)	139(24.0)	140(22.6)	138(22.2)	144(21.5)	148(20.2)	173(22.8)	196(24.3)	197(23.1)
合 計										
本数	63	65	67	72	73	76	82	84	89	94
重量	544(100.0)	568(100.0)	579(100.0)	620(100.0)	623(100.0)	669(100.0)	732(100.0)	759(100.0)	808(100.0)	852(100.0)

資料/JATMA

注) 運搬車用タイヤを除く

表 5 タイヤリサイクル状況の推移¹⁾ (単位: 重量/千 t, %)

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %	重量 %
原型又は加工利用分										
輸出用(更生タイヤ台用等)	38(7.0)	85(15.0)	96(17.0)	85(14.0)	91(15.0)	110(17.0)	118(16.0)	138(18.0)	160(20.0)	173(20.0)
再生ゴム用(含ゴム粉)	158(29.0)	165(29.0)	176(30.0)	186(30.0)	158(25.0)	150(22.0)	135(18.0)	124(16.0)	125(15.0)	115(13.0)
更生タイヤ台用	71(13.0)	76(13.0)	80(14.0)	80(13.0)	80(13.0)	78(12.0)	81(11.0)	79(11.0)	81(10.0)	85(10.0)
その他	27(5.0)	15(3.0)	15(2.0)	22(3.0)	23(4.0)	23(3.0)	38(6.0)	40(5.0)	42(5.0)	32(4.0)
小計④	294(54.0)	341(60.0)	367(63.0)	373(60.0)	352(57.0)	361(54.0)	372(51.0)	381(50.0)	408(50.0)	405(47.0)
熱利用分										
セメント焼成用	65(12.0)	50(9.0)	40(7.0)	48(8.0)	56(9.0)	80(13.0)	84(11.0)	96(13.0)	111(14.0)	151(18.0)
中・小型ボイラー用	82(15.0)	90(16.0)	76(13.0)	75(12.0)	70(11.0)	75(11.0)	93(13.0)	111(14.0)	119(15.0)	109(13.0)
金属製練・製紙用	87(16.0)	81(14.0)	89(16.0)	90(15.0)	88(14.0)	76(11.0)	80(10.0)	67(9.0)	67(8.0)	67(8.0)
小計⑤	234(43.0)	221(39.0)	205(36.0)	213(35.0)	214(34.0)	231(35.0)	257(34.0)	274(36.0)	297(37.0)	327(39.0)
計 ④+⑤	528(97.0)	562(99.0)	572(99.0)	586(95.0)	566(91.0)	592(89.0)	629(85.0)	655(86.0)	705(87.0)	732(86.0)
ストック及び用途不明分	16(3.0)	6(1.0)	6(1.0)	33(5.0)	57(9.0)	77(11.0)	103(15.0)	104(14.0)	103(13.0)	120(14.0)
合計(総発生量)	544(100.0)	568(100.0)	578(100.0)	619(100.0)	623(100.0)	669(100.0)	732(100.0)	759(100.0)	808(100.0)	852(100.0)

資料/JATMA

注) 運搬車用タイヤを除く

図4 用済タイヤ回収ルート³⁾ 図5 タイヤリサイクル状況¹⁾

る。一大きな塊はクラッキングロールに戻す

- ④ 細 砕：グラインディングロールにより、③の原料塊を粉末ゴム化する
- ⑤ 篩機および繊維・スチール除去：④の粉末ゴムを篩通し、0.5mmの粉末ゴムにする。大粒のものはグラインディングロールに戻す。風力・静電気・磁力等を用い、粉末ゴムのうち繊維・スチールを分離除去する
- ⑥⑦ 秤量・攪拌：精製された粉末ゴムを秤量し、これに再生油剤等薬品を投入し、攪拌機で混合する
- ⑧ 脱 硫：油剤・薬品を混合した粉末を容器に入れ、蒸気缶にて3～6時間加圧・加熱して解重合を行う
- ⑨ 荒 練 り：加圧・加熱され、カステラ状になっ

たゴムをミキシングロールで荒練りする

- ⑩ 異物除去：荒練りされたゴムをストレーナーで網通して、金属片などの異物を除去する
- ⑪ 摺りつぶし：リファイニングロールでゴムを更に摺りつぶし、分子の均一化を図る
- ⑫ 分 出 し：シーティングロールで⑪のゴムを0.2～0.25mmの薄い紙状に分出し、巻取機に巻取る
- ⑬ 秤量・仕上：巻取られたゴムを約30mmの厚さで巻取機から切り取り、板状とし、これを二つ折りして25kgに秤量する。ポリエチレン包装し、製品として収納する

最近原料となる用済タイヤがスチールラジアル化し

表 6 平成 3 年 (1991 年) 更生タイヤ生産本数 (試算 1992.4.6)

	平 成 2 年 (1990 年)								平 成 3 年 (1991 年)								(単位：千本・t)
	練 生 地				更生タイヤ生産本数				練 生 地				更生タイヤ生産本数				
	生産	国内 出荷	輸出 出荷	トラックス 用	小形トラックス 用	乗用車用	建設車用	計	生産	国内 出荷	輸出 出荷	トラックス 用	小形トラックス 用	乗用車用	建設車用	計	
1 月	844	820	—	79	35	3	1	118	826	803	—	80	86	2	1	119	
2	944	954	—	92	41	3	1	137	886	914	—	86	39	2	1	128	
3	1,029	1,024	—	99	44	3	1	147	1,040	1,019	—	101	46	3	2	152	
4	1,059	1,027	—	99	44	3	1	147	1,011	1,018	—	98	44	3	1	146	
5	976	982	—	94	42	3	1	140	1,006	1,014	—	97	44	2	1	144	
6	1,089	1,091	—	105	47	4	2	158	1,030	981	—	100	45	3	1	149	
1 ～ 6 月	5,941	5,898	—	568	253	19	7	847	5,799	5,749	—	562	254	15	7	838	
7	1,075	1,077	—	104	46	4	1	155	1,065	1,090	—	103	47	3	2	155	
8	1,033	1,036	—	100	45	3	1	149	896	939	—	87	39	2	1	129	
9	1,094	1,065	—	102	46	4	1	153	971	1,002	—	94	43	2	1	140	
10	1,261	1,278	—	123	55	4	2	184	1,154	1,173	—	112	51	3	2	168	
11	1,187	1,180	—	114	51	4	2	171	1,135	1,119	—	110	50	3	2	165	
12	975	997	—	96	43	3	1	143	951	975	—	92	42	2	1	137	
7 ～ 12 月	6,625	6,633	—	639	286	22	8	955	6,172	6,298	—	598	272	15	9	894	
年 間	12,566	12,531	—	1,207	539	41	15	1,802	11,971	12,047	—	1,160	526	30	16	1,732	

①月次と年間合計は四捨五入の関係で必ずしも一致しない、②練生地は通産省動態統計、③本数換算は日本自動車タイヤ協会市場調査係数より。

たことから、製造工程中に鉄片除去の強化改善に新たな設備投資を余儀なくされ、製造コストに少なからざる影響を及ぼしている。

再生ゴムは加硫ゴム分子を熱と再生油とロール操作の3因子で解重合することであるが、再生油はゴム分子間の結合を緩め、ロール操作によるゴム分子の解重合を容易にする。加硫ゴムが解重合するときの化学反応は、

表7 再生ゴムの推定ゴム分(炭化水素分)

種 類	ゴム炭化水素分 (%)
チューブ再生ゴム	55
タイヤ再生ゴム	
1 級	50
2 級	45
雑再生ゴム	
1 級	40
2 級	30

JIS K6313 より。

Lindmayer によると次のとおりである。

$(C_5H_8)_3S(C_5H_8)_3$ はクロロホルムに不溶であり、もとの加硫ゴムの 51.65% にあたり、 $2(C_5H_8)_3$ はクロロホルム抽出物でもとの加硫ゴムに対し 48.35% にあたる。クロロホルム抽出物が多いほどゴム分子が解重合され、よく再生されたゴムと言える。

ゴムは加硫によってゴム分子間に生じる硫黄の架橋が可塑性から弾性に変化させているので、架橋している硫黄を除去できれば、加硫前の可塑性のゴムにもどるはずである。しかし、完全な脱硫は完成されていないので、結合硫黄は脱却されず、物理的、化学的处理による加硫ゴム分子の解重合が再生ゴムの基本工程となっている。

再生ゴムの推定ゴム分は、JIS K6313 によると表7のとおりとなっている。

再生ゴムを自動車タイヤに使用する割合は、表8に示すとおり 1984 年の 29 千 t をピークに年々減少の傾向にある。これは自動車タイヤに求められる利用者側からの要求事項(安全性、快適性、経済性)のほか環境保

表8 再生ゴム製品別消費内訳(通商産業省原材料統計)

() 前年比 %, [] 構成比 %, (・=数値調整)

(単位: t)

年次	総 計	タイヤ・チューブ用	ベルト・ホース工業用品用	履物用	引布・その他用	12月末在庫
1980	48,185[100.0] (101.0)	23,852[49.5] (110.9)	18,716[38.8] (88.4)	2,266[4.7] (105.5)	3,351[7.0] (116.7)	1,174
1981	46,280[100.0] (96.0)	23,697[51.2] (99.4)	17,648[38.1] (94.3)	1,916[4.1] (84.6)	3,019[6.5] (90.1)	1,062
1982	46,819[100.0] (101.2)	22,546[48.2] (95.1)	19,943[42.6] (113.0)	1,667[3.6] (87.0)	2,662[5.7] (88.2)	753
1983	51,660[100.0] (110.3)	26,230[50.8] (116.3)	21,083[40.8] (105.7)	1,457[2.8] (87.4)	2,890[5.6] (108.6)	866
1984	57,936[100.0] (112.1)	29,038[50.1] (110.7)	24,049[41.5] (114.1)	1,430[2.5] (98.1)	3,419[5.9] (118.3)	1,107
1985	57,811[100.0] (99.8)	28,796[49.8] (99.2)	23,894[44.3] (99.4)	1,431[2.5] (100.1)	3,690[6.4] (113.6)	778
1986	50,974[100.0] (88.2)	23,317[45.7] (81.0)	22,403[43.9] (93.8)	1,455[2.9] (102.0)	3,799[7.4] (103.0)	719
1987	48,525[100.0] (95.2)	22,859[47.1] (98.0)	21,283[43.1] (95.0)	1,556[3.2] (106.9)	2,877[5.8] (74.4)	672
1988	46,639[100.0] (96.1)	22,822[49.0] (99.8)	19,845[42.6] (93.2)	3,952[8.4] (90.2)		267
1989	45,495[100.0] (100.1)	22,275[48.9] (97.6)	20,238[44.3] (101.9)	3,082[6.8] (77.9)		638
1990	42,028[100.0] (92.2)	19,936[47.4] (89.5)	19,612[46.7] (96.9)	2,480[5.9] (80.5)		700
1991	38,575[100.0] (91.8)	17,030[44.1] (85.4)	19,187[49.7] (97.8)	2,358[6.2] (95.1)		715

全の側からの要求事項（地球温暖化、騒音等公害問題）を満たすため、軽くて丈夫なタイヤを製造するには好ましい材料とは言い難い。

(3) セメントの原・燃料

タイヤのもつ高カロリーと焼却残渣を全て利用できるセメントへの用済タイヤ供給については、用済タイヤ処理の理想的形態として、タイヤ業界として最も力を注いでいるリサイクル手段である。

タイヤの発熱量は約 8,000 kcal/kg で、重油の発熱量の 85% に相当することから、省資源、コストダウンを図るための研究がなされ、エネルギー換算で主燃料の石炭の 10% は代替可能と言われるようになった。図 6 に示すとおりセメント 1 t を生産するのに要する石炭は約 100 kg、その 10% を用済タイヤに置換できるものとして推計すると、セメントの生産量が約 8,000 万 t であるから、用済タイヤを 80 万 t 処理できる可能性を持っている。しかし、用済タイヤの安定供給ルートの確保、セメントキルンへの投入設備への投資、償却等がネックになっていた。(株)日本自動車タイヤ協会では、セメント業界が積極的に用済タイヤを使用できるように、キルンへの自動投入設備のリース制度を設け、リース料をタイヤ協会が負担する方式でセメント会社と交渉し、具体化し

てきた。

セメントの製造工程は図 7 に示すとおり、石灰石、粘土、珪石、鉄原料を配合した後、NSP（ニューサスペンションプレヒータ）で予熱し、ロータリーキルンで約 1,500°C の温度でクリンカーをつくり、これに数 % の石膏を加えて微粉碎し、セメントができて上がる。用済タイヤは仮焼炉附近から投入される。タイヤは投入直後 300～350°C でガス化し、急激に燃焼、450°C で燃焼完了、カーボンは 600～650°C で灰化、スチール分は 1,200°C から溶融する。キルン内の温度は図 9 に示すとおり、ガス温度で最低 800°C から最高 1,800°C に達する。したがって、投入されたタイヤは短時間で燃焼、一部は燃料となり、他は原料となる。また、タイヤはゴム、カーボン、スチール、硫黄等によって構成されているが、硫黄は酸化カルシウムと反応して石膏となる。

キルン内は高温焼成のため NO_x の発生が大きいが、タイヤを投入することにより NO_x の低減効果が期待できる。

図 6 普通ポルトランドセメントを 1 t つくるのに必要な原料・燃料・電力 (1989 年度)²⁾

図 7 セメント製造工程⁵⁾

セメント製造工程中, NSP, キルンを通過する焼成工

程中における化学変化を参考までに図 10 に示す。

省エネ法の改正も噂され, セメント業界としても, 用済タイヤの利用に大きな関心を寄せている。

図 8 ロータリーキルン内温度分布⁵⁾

図 9 セメント工業製造プロセスにおけるタイヤの位置づけ⁵⁾

図 10 焼成工程における化学変化²⁾

5. コージェネレーション

タイヤの工場における用済タイヤの自家処理の方法としては単純なものは焼却炉で焼却するだけのものから、ボイラーの燃料として蒸気の生産、さらには生産された蒸気を利用した発電があり、タイヤ工場としては用済タイヤを燃料としたボイラーから、高圧蒸気で発電し、低圧蒸気は工場用として利用するシステムが普及してくるとみられる。

1981 年の第 2 次オイルショック以降、石炭ボイラーに切替えたタイヤ工場では、比較的容易に用済タイヤを石炭とともに燃焼させることが可能である。某タイヤ工場では用済タイヤを切断し、1,500℃ の高温で石炭と混合燃焼させ、450℃ の高圧蒸気で発電機を回し、電力を得るとともに、低圧蒸気は工場用として使用している。現在、燃焼割合は用済タイヤ 1 に対し石炭は 6 の割合であるが、将来的には 1:1 の割合まで可能となるとのことである。現在、この工場では 1 日の用済タイヤ処理能

表 9 諸外国の用済タイヤ処理状況

国名	年間発生量	処 理 状 況	備 考
ド イ ツ	55 万 t	熱利用	37.8%
		更生タイヤ	15.6%
		再生ゴム	4.3%
		原形利用	0.4%
		その他 (埋立, 野積み)	41.9%
			100%
イギリス	29.2 万 t	埋 立	52.5%
		燃 料	20.0%
		再生ゴム	1.0%
		その他	26.5%
			100%
フランス	40 万 t	埋立が多い	<i>European Rubber Journal</i> Apr. 1990
アメリカ	260 万 t (2 億 4 千万本) ストック 20 億 本以上あり	埋立, 野積み	71~85%
		燃 料	8~11%
		再生ゴム	2~5%
		道路舗装	0.5%
		魚礁, 防壁	0.1~2%
		輸 出	2~4%
		更生タイヤとして	
		TB	3,800 万本
韓 国	10 万 t (670 万本)	再生タイヤ	12%
		再生ゴム	6%
		集積, 投棄	80%
		その他	2%
			100%
台 湾	6 万 t	ほとんど集積, 若干再生ゴム	視察団より聴取 June 1991

力は 20 t であり、工場の消費電力の 60% をカバーしている。

今後、このようなケースは増加していくと思うが、焼却等最終処理を行うには“廃棄物処理業者”の免許が必要であること、用済タイヤを近郷から安定供給できるように集荷が可能であること等、事前調査が重要となる。

6. 諸外国の用済タイヤ処理状況

諸外国の用済タイヤ処理状況をみると、野積み、埋立が圧倒的に多い。欧州では最近になって熱利用の研究が盛んになり、発電用として利用され始めている。英国政府は英国エネルギー & リサイクル有限会社がウオールバーハンプトンに建設する熱エネルギーステーションに 200 万ポンド (約 5 億円) の助成をすることになった。このプラントは 9 万 t の用済タイヤを焼却し、年間 25 MW の電力と蒸気を生産するもので、フランス、ドイツ、オランダ、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド等が興味を示している。アメリカは年間 2 億 4 千万本の用済タイヤが発生するほか、20 億本以上のストックを抱えており、さすが拡大な土地柄を思わせる。韓国、台湾は用済タイヤのリサイクルが緒についたばかりで、台湾では集積しただけで、処理の糸口がついていない。

7. おわりに

用済タイヤは年間 5% のペースで増加している。この増加分が現在の処理方法で吸収されるうちはよいが、将来的には何らかの新しい処理技術の開発が必要となろう。

本編では紹介しなかったが、道路舗装材、軌道用バラストマット、ラバーストック、建材等幅広い応用の可能性を持っているものもある。

用済タイヤのリサイクル率は 87% と諸外国に比べ高い率となっている。リサイクルを成功させるには、単に技術的に優れた方法であっても、経済性に合わないものは長続きしない。今後の処理技術研究には経済性を含めた研究が重要となろう。

参考文献

- 1) (社)日本自動車タイヤ協会：日本のタイヤ産業 (1992)。
- 2) (社)セメント協会：セメントの常識 (1991.7)。
- 3) 西村邦夫：用済タイヤのリサイクル，住友ゴム(株)環境部講演資料 (1991.7.19)。
- 4) (社)日本自動車タイヤ協会：タイヤの知識 (1989.10)。
- 5) (社)日本自動車タイヤ協会：用済タイヤの知識 (昭 63.4)。
- 6) (社)日本ゴム協会：ゴム工業便覧 (昭 48.11)。