ゴム工業の現況と展望

秋 葉 光 雄*

Current State and Prospects of Rubber Industry

Mitsuo AKIBA (Akiba research 2999-3 Ozone, Tsukuba-city, Ibaragi-ken 300-3253 JAPAN)

This paper describes the present situation, the technical trend, also the contribution to the rubber technology in our country, and the prospects in rubber industry.

Key Words : Rubber Elasticity, Rubber Industry, Thermoplastic Elastomer, Metallocene Catalyst, Rubber Technology

1. ゴム工業の現状と技術動向

21世紀は、ナノコンポジットなどの複合化と地球環境の世紀であるといわれている。20世紀後半から環境負荷の除去,あるいは今後の環境負荷軽減が課題となっており,地球環境問題への取組みが,活発化している。

ゴム・エラストマーは「ゴム架橋体」と「熱可塑性エラストマー(TPE)」に分類され,両者は「ゴム弾性」を示すための条件である「ネットワーク構造」の形成要因が,化学結合であるか物理的相互作用であるかによって区別される。

一方,ゴム工業には2つの特徴がある。1つはゴム・エラストマーという,他の材料にはない大きな弾性を有する物質を取扱う工業であり,他の1つは,ゴム・エラストマー製品は①成形加工時の加硫(架橋)という化学反応があり,②複合材であること,③用途が多岐にわたっているため製造技術が他の産業より複雑であることである。また,わが国の経済は回復状況にきているが,ゴム工業は低開発国への空洞化が目立ち,厳しい状況にある。

1987年山崎はゴム工業の今後の発展として次のような予測をしている¹⁾。その1つは土木建築用材料,免震ゴム,海洋土木や原子炉施設などへのゴムの応用である。免震ゴムは著しく発展しているが,まだ,その他は多くのニーズが残されている。その2はスポーツ用品であるが,予測通り技術の極限をもとめ,高価な専門品や特注化が進んでいる。その3は複合材,フィラーであるが,予測通りカーボンブラックに取って変わろうと,クレーなどのナノコンポジットが盛んに研究されている。その4はコンピューターによる分子および材料設計であるが,予測通り,特に合成

分野ではコンピューターによる計算が盛んに研究されている。

ゴム・エラストマーの消費量は世界で架橋ゴムが1700万トン, TPEが170万トンであり,わが国で架橋ゴムが140万トン, TPEが14万トンと推定されている。世界の各種ゴム・エラストマーの消費量を表1に示す。その消費割合を図1に示すが,75%がNR, SBR, BR, EPDMの汎用ゴムである。最近EPDMが汎用ゴムの範ちゅうに入

表1 Consumption of Rubber-Elastomer (world wide)

(unit: kt)

Rubber-Elastomer	years			
	1999	2000	2001	2005
SBR	3239	3193	3213	3705
BR	1970	1985	2024	2248
EPR	851	866	872	1042
CR	290	290	290	308
NBR	325	322	326	371
IR	162	155	154	176
Synthesis Rubber others	977	971	975	1080
SR CIS total	400	415	435	550
Synthesis Rubber total	8213	8196	8288	9479
Natural Rubber	6758	7155	7220	8051
Rubber total	14971	15351	15508	17530
Synthesis Rubber ratio	54.9 %	53.4 %	53.4 %	54.1 %
TPE	1345	1374	1431	1725

*アキバリサーチ(〒300-3253 つくば市大曾根2999-3)所長。1980年,筑波大学大学院博士課程修了。同年,勸化学品検査協会入社。1983年,米国ペンシルバニア大学博士研究員。1999年,アキバリサーチ設立(工学博士,理学博士)。2003年,東京工業大学特別研究員,現在に至る。専門分野は,ゴム材料化学。ゴム協会研究部会幹事

図1 Total Rubber-Elastomer Consumption (worldwide)

ってきている。

ゴム・エラストマーの合成面で最も注目されるのはメタロセン触媒によるエラストックPPおよびPEの上市やゴム・エラストマーの合成である。また、100 %シスのNRの合成、シリカ配合用の末端変性SBRの合成、低温用H-NBR及び、フッ素ゴムの合成、超軟質スチレン系TPE(硬度0)などは特筆される。さらに、天然ゴムラテックスのグラフトなどによる改質(相溶化剤)も盛んに研究されている。最近、超高分子のロタキサン型、カテナン型のゲルの開発にも興味をそそられる。

ゴム・エラストマー製品の80 %を占めるタイヤは順調に成長しており、主にNR, SBR, BRが使用されていたが、最近PUタイヤが開発されている²⁾。米国Amerityre社は、最近まで不可能と考えられていたタイヤ技術として、PUエラストマー製の乗用車タイヤ(Arcus)を開発し、2003年には空気なしで数百マイル走行したと報告している。それに加え、グリーントイヤの開発、従来のタイヤの発泡トレッド、シリカ配合トレッド、ナノ構造制御などが開発され、まさにタイヤ工業は百花繚乱の時代となっている。現在、シリカ配合タイヤが主流であるが、今後は軽量性、生分解性、ローリング性などからクレー、デンプン、ゼオライトが期待されている。また、自動車用燃料、メタノール、ジメチルエーテル(DME)用のゴム製品の開発も盛んに研究されている。

一方、タイヤ、ベルト、防振ゴム製品は別として、ホース、パッキン、スポンジ、履物製品などは架橋ゴムから約10 %TPE化が進んでおり、特にリサイクル性、軽量化、ソフトタッチ性から、自動車・医療分野にTPE化が進んでいる。スポ

ンジ製品は熱分解型発泡剤から水、超臨界CO₂などの物理発泡剤へと環境問題から変化している。

また、免震ゴムの発達にも目を見張るものがある。

最近、特に注目されている技術は1980年Coranによって開発発展されてきた動的架橋TPE(TPV)、スーパーTPVの開発であり、2011年頃まで10 %成長率で発展すると推定されている。また、分子を認識するTPE、遺伝子工学で合成されるTPE、フッ素系TPVなども報告されている。

ゴム・エラストマー系ナノコンポジットも世界的に研究され、固体ゴム、ラテックス、液状ゴム、TPE、さらにTPVなどのナノコンポジットについても報告が見られる。配合剤もナノコンポジットの進展から超微粒子化へと進んでいる。

環境問題であるリサイクルに関しては、最近、架橋ゴムの微生物脱硫、超臨界CO₂脱硫と多くの研究が報告され実用化に迫っている。また、マテリアルリサイクルが出来るTPE及び、生分解性ゴム・エラストマーなど多数の研究が発表されている。

このようにゴム工業では新しい技術が開発され、現在、明るい兆しが見え始めてきている。しかしながら、中国、台湾、韓国、タイなどの追い上げが厳しく、わが国は苦しい状況下にもある。

2. わが国ゴム技術の貢献

最近、佐藤らは図2に示すように架橋EPDM廃材を2軸反応押出機を用いて脱硫後、PPと動的架橋することによって連続的にTPVを製造する技術を開発している³⁾。さらに、動的脱硫時に層状粘度鉱物のスラリーを注入すれば再生ゴムのナノコンポジットも可能である。このようにリサイクル性に優れたTPVは廃材のリサイクルにも応用され、環境問題の解決にも役立ち、この技術は高分子学会賞を受賞した。

一方、ゴム工業における貢献はゴム技術進歩賞、優秀論文賞、ゴム技術有功賞、科学技術奨励金受領者など、数多く存在するが、表2、3にオーエンスレーガー賞および日本ゴム協会賞受賞者を挙げた。

図2 TPE Product Technology by continuous Process

表2 オーエンスレーガー賞受賞者一覧

回	受賞年	受賞者	研究業績
第1回	1958	田中 胖	透明ゴムの研究
第2回	1960	神原 周	加硫ゴムの構造に関する研究
第3回	1962	古川 淳二	新しいゴム用薬剤及び充填剤に関する研究
第4回	1964	大北 忠男	チウラム加硫ゴムと多硫化物合成ゴムの研究
第5回	1966	箕浦 有二	ゴムのグラフト重合とブレンドに関する研究
第6回	1968	山下 晋三	ゴムの劣化防止と加硫に関する基礎的研究
第7回	1970	大北 熊一	カーボンブラックの遊離ラジカルとグラフト重合
第8回	1972	釧 実夫	ゴムの加硫と酸化及びゴムに対する放射線効果
第9回	1974	藤本 邦彦	加硫ゴムの不均質構造と物性に関する研究
第10回	1976	二宮 和彦	高分子レオロジーのゴム加工性技術研究への応用
第11回	1978	村上 謙吉	ゴム状高分子のケモレオロジーに関する研究
第12回	1980	中村 儀郎	トリアジンジチオール化合物のゴム用薬剤としての応用に関する研究
第13回	1982	田中 武秀	ポリウレタン系合成ゴムに関する研究
第14回	1984	岡本 弘	ゴムの化学改質とエラストマーの特性
第15回	1986	小倉 協三	イソプレン単位の生化学的重合に関する研究
第16回	1988	田中 康之	ゴム状ポリマーの構造化学的研究
第17回	1990	山崎 升	ゴム及び関連化合物の合成とその応用
第18回	1992	森 邦夫	固体の表面・界面制御とゴム工業への応用に関する研究
第19回	1994	糺谷 信三	高性能および高機能エラストマー開発の基礎的研究
第20回	1996	奥本 忠興	高分子のキャラクタリゼーションと高性能・高機能エラストマーの開発に関する研究
第21回	1998	西 敏夫	エラストマーの分子運動性と高次構造に関する研究
第22回	2000	井上 隆	多相系エラストマーの構造と物性に関する研究
第23回	2002	古川 睦久	ポリウレタンの構造と物性に関する研究
第24回	2004	内山 吉隆	ゴムの摩擦・摩耗に関する基礎的研究
第25回	2006	圓藤 紀代司	ジェンの精密重合及びゴム状ポリカテナンの合成

表3 日本ゴム協会賞受賞者

回	受賞年	受賞者	研究課題
第1回	1989	大島 昇・榊原 満彦・堤 文雄・藤巻 達雄 濱田 達郎	スズカップリング溶液重合スチレンブタジエンゴムの開発
第2回	1990	山岸 弘一・富樫 実・古屋 信一・塚原 一実 深堀 美英・関 瓦・田崎 貞則・芳沢 利和 鈴木 重信	新しいタイヤ断面形状理論の開発とその応用 長期耐久性高機能免震ゴムの開発
第3回	1991	川口 保美・岩田 敏朗・毛利 浩・岩船 盛郎	スタッドレスタイヤ用トレッドゴム(発泡ゴム)の開発
第4回	1992	田中 康之	天然ゴムの構造解析
第5回	1993	赤坂 隆	タイヤの構造理論に関する研究
第6回	1994	吉岡 明・戸谷 義弘・久保 洋一郎・橋本 欣郎 小松 啓祐・尾山 元文	水素化ニトリルゴムの工業化と用途開発
第7回	1995	田島 義夫・杉山 裕一	天然ゴム漿液の有効利用
第8回	1996	藤原 良則・迫 康浩・田口 善男・岡崎 貴彦 武居 正史	OA用エラストマー精密パーツの開発
第9回	1997	(該当者なし)	
第10回	1998	中出 伸一・林 正治・久我 昭仁・柴田 和彦 田中 康之	蛋白質アレルギーを引き起こさない脱蛋白天然ゴムの製造技術の確立と製品開発
第11回	1999	竹村 泰彦・寺本 俊夫・神品 順二・今井 高照 竹内 幹雄	新規な樹脂改質用水添ポリマーの開発
第12回	2000	中島 幸雄	最適化手法を用いた新しいタイヤ設計法の確立
第13回	2001	(該当者なし)	
第14回	2002	(該当者なし)	
第15回	2003	川崎 雅昭・仲濱 秀斉・東條 哲夫・三島 孝	EPDM/樹脂アロイの開発
第16回	2004	(該当者なし)	
第17回	2005	北川 裕一・斉藤 章・山田 春夫・松田 孝昭 服部 靖郎	シリカ配合用溶液重合SBRの開発
第18回	2006	(該当者なし)	

このように、わが国ゴム技術の貢献は多数あるが、その他表面に出てない優れた技術および特許もあり、それらに敬意をささげる。いずれにせよ、わが国のゴム技術は世界

の最先端にあり、このゴム技術を子孫に残していきたいものである。

3. ゴム工業の将来展望

ゴム工業は人類の生活の中に密着し、豊かに快適な生活に役立っており、ゴム工業の未来はバラ色である。特に最近TPEおよびTPVには追い風が吹いている。

一方、1970年の人口増加・経済成長をこのまま続けていくと、21世紀の終わりには図3に示すように、人口の半減・経済成長の停止を余儀なくされるであろうことが示唆されている⁴⁾。したがって、これら原料の消滅・不足から推定すると天然物すなわち天然ゴム誘導体の再成長が予測できる。しかしながら、将来石油原料の消滅は考えづらく、合成ゴム及びTPEと天然ゴム類の共生が、将来のゴム工業の姿であろう。

また、Hirakawaは将来のエラストマーを表4のように示している⁵⁾。その結果、高いパフォーマンスと高機能化が要求されるようになると推測している。さらに、ゴム工業は欧米と同じレベルでのリサイクルを含めた環境問題への対応も余儀なくされよう。そして環境問題も教育を含めた哲学的な考えが必要となろう。また、グローバル化が進むゴム工業には人材の育成がより重要なテーマになるであろう。

上述のようにゴム工業の将来には明るい光が見られるが、それを一層強化するためには図4に示すように、ゴムの配合技術とプラスチックの加工技術の相乗効果に期待されることが多い。

一方、高齢化社会の進行とともにゴム工業の活躍する分野のさらなる広がりが期待される。ゴム・エラストマーはその柔軟性から、高齢者を生活上の危険から守るために重

要な材料であり続けるであろう。また、人間の様々な活動を支援するロボットがさらに身近になることが予想されるが、硬く冷たい機械と人間の間を取りもつためにゴム・エラストマーの性質が大いに活用されるであろう。接点となるゴム・エラストマーには人間が触れ合って心地よく感じられるように柔軟性、形状、温度などが状況によって制御されることも求められるであろう。さらに、ロボットの動きを制御するためのセンサーとしての役割も必要かもしれない。

最後に社会的ニーズの変遷、新素材の開発、新しい副資材の誕生、新しい加工法の開発などが絡み合っ、今後ともゴム工業の技術は厚みを増して多様化・高度化していくものと期待される。

References

- 1) Furukawa, J.; Gomu Gizyutsu Forum Eds.: "Tenkanki no Koubunshi Kougyou", Posuty Corp., Tokyo, p. 46 (1987)
- 2) Steink, R.: *Gummi Fasern Kunstst.*, **59**(3), 168 (2006)
- 3) Sato, N.: *Kobunshi*, **53**, 808 (2004)
- 4) Hanashima, M.: *Chemical engineering*, **43**(9), 44 (1998)
- 5) Hirakawa, H.: Proc. IRC '99 Seoul, p. 36 (1999)

日本語表記参考文献

- 1) 古川淳二監修, ゴム技術フォーラム編集: 転換期の高分子工業, ポスティコーポレーション, 東京, p.46 (1987)
- 2) 佐藤紀夫: 高分子, **53**, 808 (2004)
- 3) 花嶋正孝: ケミカルエンジニアリング, **43**(9), 44 (1998)

表4 Transition of Rubber Processing and its Future Image Obtain High Performance and High Functional Rubber Products

図3 Standard Calculation of World Model

図4 Future of Rubber Industry