

LCAに基づく低燃費タイヤ用合成ゴムのGHG排出量削減効果の考察

2020年3月5日

JSR株式会社 CSR部

1. はじめに

地球温暖化防止対策として自動車の温室効果ガス（GHG：Green House Gas）排出量削減、すなわち低燃費化の要求はますます高まっている。タイヤ用ゴムとして材料設計する上で、低燃費化はタイヤの転がり抵抗を低減することが有効で、転がり抵抗を低減するためにタイヤトレッドのゴム組成物のヒステリシスロス（ $\tan \delta$ ）を低減すること、すなわち、損失係数（ $\tan \delta$ ）を低く抑えることが効果的であることが知られている（文献1）。

JSRでは上記要求に応えるため、ゴム組成物の損失係数をより低減するよう設計された溶液重合変性SBR（以下、変性SSBR）を低燃費タイヤ用合成ゴムとして開発、製造、販売を行っている。

一方、材料メーカーは対面する顧客の要求をクリアし製品を納めることに留まるだけでなく、社会に対するGHG排出量削減の貢献度合いを定量的に把握することも企業の責務として重要である。特にバリューチェーンを構成する企業間で協力してさらなるGHG排出量削減に努めることが求められている中で、各工程での貢献度を定量的に把握することは有用である。ライフサイクル全体で排出されるGHG排出量をCO₂に換算して算定するLCA（ライフ・サイクル・アセスメント）は、排出量を「見える化」し環境負荷を定量的に算定、分析、評価する手法である。既に一般社団法人日本自動車タイヤ協会のタイヤのLCCO₂算定ガイドラインver. 2.0（文献2、以下、算定ガイドライン）など試算結果が公表されている。これらを参考に各バリューチェーン工程でのGHG排出削減効果を算出、考察した。さらに、当社の供給材料が貢献する社会への影響度（インパクト）に関する考察も試みた。

2. 目的

JSRはタイヤの転がり抵抗を低減し、自動車のGHG排出量を低減する材料を設計してきたが、今般はGHG排出量低減に対しての打ち手としての材料設計の有効性を定量的に検証すること、変性SSBRとしての貢献度を定量的に把握することを目的とする。

- (1) バリューチェーンの各プロセスでのGHG排出削減効果
- (2) 変性SSBRによるGHG排出削減効果

3. LCAの評価

（評価方法）

- 基本的に算定ガイドラインを参照することで考察する。この算定ガイドラインで使用されている数字は代表値ではあるが、JSRが継続的に製品提供している実績から、JSR製品を使用したケースでもこれらの数字から大きく逸脱しないものとする。
- また、評価対象のタイヤ区分は簡略化のため算定ガイドラインにあるパッセンジャー・カー（乗用車）用タイヤ（PCR）とする。

(1) バリューチェーンの各プロセスでのCO₂削減効果

(試算)

- 各工程でのGHG 排出量は算定ガイドライン図4に示してある。タイヤ1 本当たりのライフサイクルGHG 排出量を以下のTable 1 の①に転記したが、各工程でのタイヤ1 本当たりの削減効果を低燃費タイヤ相当量から汎用タイヤ相当量を差し引くことで以下②のように計算できる。

Table 1 : 各工程のタイヤ1 本当たりの GHG 排出量および GHG 排出削減量

	汎用タイヤ	低燃費タイヤ	単位	参照
①タイヤ1本当たりのGHG 排出量				
原材料調達工程	25	23.9	Kg co2/本	文献1 図4
生産工程	7.8	7		
流通工程	1.6	1.5		
使用工程	263.4	210.8		
廃棄・リサイクル工程	2.9	0.7		
合計	300.7	243.9		
②タイヤ1本当たりのGHG 排出削減量				
原材料調達工程		▲ 1.1	Kg co2/本	①の GHG 排出量差
生産工程		▲ 0.8		
流通工程		▲ 0.1		
使用工程		▲ 52.6		
廃棄・リサイクル工程		▲ 2.2		
合計		▲ 56.8		

Table2 : 合成ゴム調達工程の GHG 排出量

	低燃費タイヤ	単位	参照
③合成ゴム生産工程のGHG 排出係数	4.8	Kg co2/本	文献1 表5
④合成ゴム輸送工程のGHG 排出係数	0.19	Kg co2/本	文献1 表8
⑤合成ゴム調達工程のGHG 排出量	5.0	Kg co2/本	③+④

(考察1)

- ①より各工程でのGHG 排出量は圧倒的に使用工程での排出量が多い。さらに②より低燃費タイヤへの代替によるGHG 排出量削減効果は使用工程での削減効果が顕著である。したがって、使用工程でのGHG 排出量の低減に着目してJSR が製品開発設計を行ってきたことは、最も効率的な削減効果をもたらしていると言える。
- 材料供給メーカーとして着目するのは①の原材料調達工程のGHG 排出量との対比である。すべての原材料に関するGHG 排出量であるが、本用途の目的である使用工程のGHG 排出削減量▲52.6Kg co2/本は全原材料のGHG排出量23.9Kg co2/本を2 倍以上相殺できるほどの効果を示す。さらにTable 2 で試算した合成ゴムの調達工程のGHG 排出量5kg co2/本と対比するならば、約10倍と非常に大きな削減効果に貢献していることがわかる。なお、合成ゴムにはJSR が開発した変性SSBR のほかにも様々な合成ゴムが含まれるため、正確な比較はできない。

- ・ たとえば、2018 年時点での世界のタイヤ販売量（乗用車／軽トラックの新車用と履き替え用）が15.8 億本（文献3）で、すべて低燃費タイヤが使用されると仮定すると、使用工程でのGHG 排出削減量は▲52.6Kg co2／本×15.8 億本 = ▲8,300 万ton co2と莫大なGHG 排出削減の効果を期待することができる。

（2）変性SSBRによるCO2削減効果

（算出方法）

- ・ 低燃費タイヤ用変性SSBR について、従来の未変性SSBR との比較でCO₂ のLCA 試算を行い、その差をGHG 排出削減効果とする。
- ・ 「タイヤの使用工程」のGHG 排出削減量については、未変性SSBR 使用配合とその一部を低燃費タイヤ用変性SSBR に置き換えた配合をタイヤトレッドコンパウンドに用い、それぞれのタイヤの転がり抵抗を測定し、その結果から計算した自動車燃費の差から求めた。なお、タイヤ中のタイヤトレッドコンパウンドの重量比率は文献4、図2より引用した。
- ・ 自動車燃費はタイヤの転がり抵抗に相関するものとし、算定ガイドラインP16 表19 と同様に汎用タイヤの転がり抵抗指数100に対する低燃費タイヤの転がり抵抗指数（比率）を算出し、これと相関するとして試算した。
- ・ その他のタイヤに関するデータは算定ガイドラインを参照した。

（算出前提）

- ① タイヤ1本あたりの重量を8.2kgKg とする（算定ガイドラインPCR 低燃費タイヤの数字を使用）。
- ② 自動車一台あたりタイヤは4本とする。
- ③ タイヤトレッドの重量をタイヤ重量の33%とする（文献4）。
- ④ JSR で試作したタイヤトレッドコンパウンドの組成とこれを使用したタイヤの転がり抵抗の実測値をTable 3 に示す。
- ⑤ 算定ガイドライン（表19）よりタイヤの燃費寄与率の値は0.125 とする。
- ⑥ JSR の低燃費タイヤ用変性SSBR の生産量を20万ton／Yとする。
- ⑦ 算定ガイドラインよりタイヤ走行寿命3万Km、汎用タイヤでの自動車燃費0.1L / Km とする。
- ⑧ 算定ガイドライン（表20）より揮発油のGHG 排出係数を2.81 KgCO₂/L とする。

Table. 3 : タイヤトレッドコンパウンド組成と転がり抵抗

	配合 1	配合 2
未変性SSBR	85	35
変性SSBR		50
BR	15	15
シカ	80	80
カーボンブラック	6.4	6.4
シランカップリング剤	6.4	6.4
オイル	33	33
酸化亜鉛	3	3
ステアリン酸	2	2
老化防止剤	1	1
加工助剤	3	
加硫促進剤A	1.5	1.5
加硫促進剤B	1.8	1.8
硫黄	1.5	1.5
計	239.6	236.6
転がり抵抗(RR)	8.1	7.7

(試算)

- 配合 1 使用タイヤを4 本取り付けた自動車に対して、配合 2 使用タイヤ4 本取り付けた自動車の省燃費効果のうちタイヤの寄与分は算定ガイドライン (p16、②項)、Table 3、⑤により以下となる。

(配合 1 使用タイヤの転がり抵抗 - 配合 2 使用タイヤの転がり抵抗)

／ 配合 1 使用タイヤの転がり抵抗×タイヤの燃費寄与効率

$$= (8.1 - 7.7) / 8.1 \times 0.125$$

$$= 0.0062 \dots\dots\textcircled{5}$$

- 配合 1 使用タイヤを4 本取り付けた自動車に対して、配合 2 使用タイヤを4 本取り付けた自動車がタイヤ走行寿命中に節約できる燃費量は⑦と⑤より以下の通り。配合 1 使用タイヤを取り付けた自動車の燃費は算定ガイドラインの汎用タイヤの数字を用いた。

$$30,000\text{km} \times 0.1\text{L}/\text{km} \times 0.0062 = 18.5\text{L} \dots\dots\textcircled{6}$$

- 上記計算結果⑥と⑧のGHS 排出係数より、配合 1 使用タイヤを4 本取り付けた自動車に対して、配合 2 使用タイヤを取り付けた自動車がタイヤ走行寿命中に削減できるCO₂ の削減量をタイヤ1 本当たりに試算すると以下の通り。

$$18.5\text{L} \times 2.81\text{KgCO}_2/\text{L} / 4 \text{ 本} = 13.0\text{Kg CO}_2/\text{本} \dots\dots\textcircled{7}$$

- ・タイヤトレッドコンパウンド中の変性SSBRの比率はTable 3より、

$$50 / 236.6 = 0.211 \dots\dots\textcircled{5}$$

- ・タイヤ1本に含まれる変性SSBRの重量比率は③と⑤より、

$$0.2111 \times 0.33 = 0.070 \dots\dots\textcircled{7}$$

- ・したがって、タイヤ1本に含まれる変性SSBRの重量は①と⑦より、

$$8.2\text{Kg}/\text{本} \times 0.070 = 0.57\text{Kg}/\text{本} \dots\dots\textcircled{7}$$

- ・JSRの低燃費タイヤ用変性SSBRの年間供給量を使用して製造できるタイヤ本数は、⑥と⑦より以下の通り。

$$20 \text{ 万 ton}/\text{Y} / 0.57\text{Kg}/\text{本} = 35,000 \text{ 万本}/\text{Y} \dots\dots\textcircled{9}$$

- ・⑦と⑨より未変性SSBRを変性SSBRに置き換えた低燃費タイヤによる年間CO₂排出削減効果は以下の通り。

$$13.0\text{KgCO}_2/\text{本} \times 35,000 \text{ 万本}/\text{Y} \\ = 460 \text{ 万 ton CO}_2 \dots\dots\textcircled{10}$$

(考察 2)

- ・未変性SSBRの一部(50部)を変性SSBRに変更した低燃費タイヤのGHG排出削減効果はタイヤ1本当たり▲13.0KgCO₂/本とTable 1 - ②のタイヤの使用工程▲52.6KgCO₂/本と比較しても、タイヤの中での重量比率がわずか7% (⑦より)のSSBRが1/4程度の貢献をしていることが明確になった。さらに、前述の合成ゴムの調達工程のGHG排出量5KgCO₂/本 (=ネガティブインパクト)と対比しても約2.6倍と、非常に大きな削減効果 (=ポジティブインパクト)として貢献していることがわかる。
- ・また、未変性SSBR⇒変性SSBRへの変更によるJSRのSSBR生産量相当で貢献する年間CO₂排出削減効果は460万ton CO₂と算出された。これは、JSRグループ全体のGHG排出量(文献5)と比べても大きな削減効果と考えられる。
- ・自社データに基づいた試算であり、妥当性を検証したものでもないため、あくまでも参考値として捉えるべきであるが、社会への貢献としてポジティブインパクトを与えるアイテムであることは間違いない。今後の研究において、妥当な変量因子に基づいた実験を重ねることにより、さらに精度を上げていきたい。

4. おわりに

SSBR を提供するJSR として、材料のGHG 排出量（ネガティブインパクト）に対して、改良された製品の使用時のGHG 排出量削減効果（ポジティブインパクト）がかなり大きいことが予想されたことで、素材メーカーとして社会（環境）へのプラスの貢献がなされていることを確認できたことは大きな成果である。なお、文中でも記したが、ここで算出される合成ゴムのGHG 排出量に対しての効果は、合成ゴム単独の効果ではなく合成ゴムを含めたすべての材料の複合化した効果であることは注意すべきで、バリューチェーン全体で実行された場合での成果であることを記しておきたい。特に、GHG 排出削減効果が最も大きい使用工程は最終エンドユーザーである消費者が使用することで生まれる効果であり、その意味で消費者までの協力も重要な要素である。

GHG 排出量を削減する手段として化石燃料由来原料を植物由来原料に置換することは効果がある。たとえば、タイヤに使用する合成ゴムを天然ゴムなどの植物由来原料にすべて置換できれば、原料ゴム製造工程とタイヤ破棄工程のCO₂ 排出量をほぼ0 にできる。しかしながら、先に計算されたように、変性SSBR をトレッド配合に用い、タイヤ使用工程の削減効果を改善したほうが LCA 全体で見ると効果が高いと考えられる。

溶液重合SBR はその製造技術の特徴（リビングアニオン重合）により、その組成や分子構造をコントロールすることが容易であり、ポリマー設計の自由度が高い。タイヤの転がり抵抗を減少させるポリマー設計に加えて、今後多様化するタイヤ性能の発現に対しても対応していくことが可能である。上記で論じてきたように、CO₂ 排出量がほかの過程に比べて圧倒的に多いタイヤの使用過程で、サプライヤー全体で協力しながらの製品設計を JSR は今後も継続していく。

- 1) Hiroshi Mouri and Keizo Akutagawa (Tire Material Development, Bridgestone Corporation, Tokyo, Japan), “Reducing Energy Loss to Improve Tire Rolling Resistance”, Presented at the 151 st Meeting of the Rubber Division, American Chemical Society, Anaheim, California.
- 2) タイヤの LCCO₂ 算定ガイドライン Ver. 2.0, 2012 年 4 月, 一般社団法人 日本自動車タイヤ協会
- 3) Michelin 2018 Registration Document p37-p38
- 4) タイヤにおける最近の技術動向, 土井昭政、日本ゴム協会誌, 71(1998) 9 号 p588-594
- 5) JSR CSR レポート 2019 ESG データ集