

(技術資料)

ゴム混練機BB ミキサの耐腐食・耐摩耗材料開発

濱田 光^{*1}

Development of Corrosion and Abrasion Resistant Materials for the BB Mixer of the Rubber Internal Intensive Mixers

Hikaru HAMADA

要旨

本稿では、BB ミキサの耐腐食・耐摩耗材料について紹介する。混練される材料の変化に伴い、混練室の内面部品（ケーシング、ロータなど）において、従来の摩耗の状況とは異なる、腐食が原因と考えられる表面被覆材料の早期減肉が見られるようになってきた。腐食の問題を解決し、耐摩耗性も両立すべく開発した材料KA#T1, KA#93について、耐腐食性能・耐摩耗性能・クロムめっき密着性能を評価した結果、従来の材料と比較して非常に優れた性能を有することを確認した。開発材料を使用したBB ミキサは、多くのお客様にご使用いただき、高評価を得ている。

Abstract

This paper introduces corrosion and abrasion resistant materials for the BB Mixer. Early thickness reduction of the surface coating material, which is thought to be caused by corrosion and differs from conventional abrasion, has been observed in the internal components of the mixing chamber (Casing, Rotor, etc.), which is attributed to changes in the mixed compounds.

As a result of evaluating the corrosion-proof performance and wear-proof performance of the materials KA#T1 and KA#93, and adhesion performance of chrome plating on KA#T1 and KA#93, which were developed to solve the problem of corrosion while also providing abrasion resistance, it was confirmed that they have significantly superior performance compared to conventional materials.

BB mixer using the developed materials have been adopted and well received by many customers.

検索用キーワード

BB ミキサ, ゴム混練機, 混練室, ケーシング, ロータ, 耐腐食, 耐摩耗, KA#T1, KA#93

まえばき=ゴムは、タイヤ、ホース、ベルト、防振材などの一般工業用として多方面に使用されている。それぞれの用途に必要なゴムの特性を得るため、カーボンブラックやシリカ、オイル、その他充填剤など様々な材料が添加されており、これら材料をゴムに混合、混練するために、混練機が使用されている。バンバリータイプの混練機（MIXTRON™ BB ミキサ（以下、BB ミキサ）：当社商標、BANBURY（バンバリー）：Farrel Corporationの登録商標）は、代表的なゴム用のバッチ式混練機として知られており、長い歴史の中で各種要素開発が行われ、汎用性のある混練機として、ゴム業界を中心に広く利用されている。

最近のサステナビリティへの要求の高まりにより、タイヤによる低燃費化が重要な性能項目として評価されるようになり、それに伴いタイヤの材料が変化してきた。これまで補強剤としてタイヤに使用されてきたカーボンブラックに代わり、シリカの使用量が増加している。シリカは混練時にシランカップリング剤との化学反応により反応生成物（エタノール、塩酸、硫酸など）が発生し、BB ミキサの内部部品（ケーシング、ロータなど）を腐食させる原因となる。本稿では、シリカ混練に対応する

ために開発したBB ミキサの内部部品に使用する耐腐食性と耐摩耗性に優れた表面材料について紹介する。

1. BB ミキサの概要^{1), 2)}

BB ミキサの構成を図1に示す。ホッパ部から材料を投入し、ウェイトによりその材料を混練室に押し込む。つぎに、ロータとケーシングの間およびロータとロータの間で材料にせん断力を加え、混合、混練を行う。混練が終了するとドロップドアを開き、混練物を排出する。

ゴム混練の主な目的を以下に示す。

- 1) 用途に必要なゴムの特性を得るため、ゴム原料に補強剤（カーボンブラック、シリカなど）や、老化防止剤、流動性付与剤などの各種助剤を分散させる。
また、単独のゴムでは発揮できない特性を得るために、複数の異なったゴム原料を混練し、材料の分布を均一にする。
- 2) 混練機の下流工程での押出性や加工性、製品物性を確保するための粘度を調整する。
- 3) 製品として、下流工程で架橋剤と混練材料との架橋反応が必要なため、架橋剤や架橋促進剤の分布

^{*1} 機械事業部門 技術本部 産業機械技術部

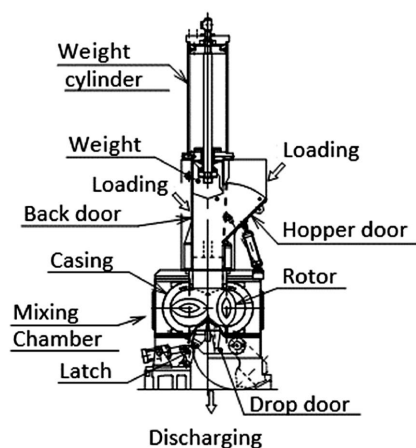


図 1 BB ミキサの構造
Fig.1 Structure of BB mixer

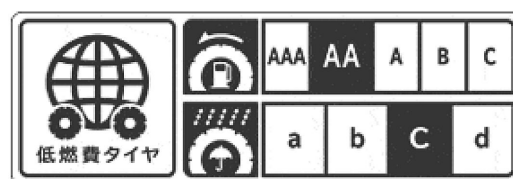
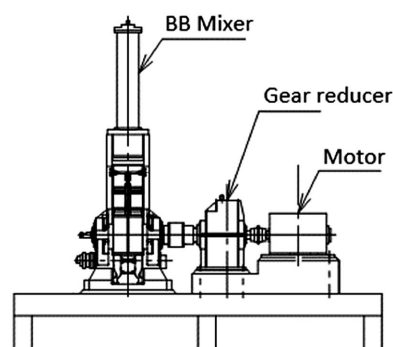


図 2 タイヤラベリング制度⁴⁾
Fig.2 Tire labelling system

を均一にする。

一般にゴム材料の混練においては、つぎの3種類の混練工程に大別することができる。

1) 素練り混練工程

主としてゴム原料のみを混練し、つぎの混練工程で混練を行いやすくするために、ゴムの粘度を調整する。

2) マスターバッチ混練工程

素練りされたゴムや比較的やわらかく素練りが必要のないゴムとカーボンブラックやシリカなどの補強剤や老化防止剤などを混練する。

3) ファイナル混練工程

マスターバッチ混練された材料に架橋剤や促進剤を混合し、つぎの架橋反応に備える最終の混練を行う。

2. タイヤ用配合の変化

BB ミキサの最大の用途はタイヤ用ゴムの混練である。タイヤメーカーには環境対応要求の高まりにより、タイヤに関わるCO₂排出量の削減が求められている。タイヤのライフサイクルにおけるCO₂排出量のうち、自動車走行時のCO₂排出が全体の80~95%³⁾を占めており、走行時の「タイヤ転がり抵抗」を下げることでCO₂排出量を削減しようとしている。制動性能に関連する「ウェットグリップ性能」とも合わせて、2010年より、業界自主基準として策定したグレーディングシステム（等級制度）に基づき、「転がり抵抗性能」と「ウェットグリップ性能」の等級分けを行いラベル表示するタイヤラベリング制度がスタートした。（転がり抵抗A以上で、かつウェットグリップ性能がd以上で低燃費タイヤと定義）⁴⁾（図2）

上記のようなタイヤに求められる性能の変化に伴い、タイヤに使用される原材料の構成が変化してきている。従来はタイヤ補強剤としてカーボンブラックが使用されてきたが、転がり抵抗性能、ウェットグリップ性能の両立のために、シリカが使用されるようになってきた。シリカは単体でゴムと結合せず、シランカップリング剤を介して化学反応でゴムと結合する。シリカの反応には

140~150℃程度で温度制御して混練させる必要があるが、混練時の反応により反応生成物が発生する。タイヤ材料の各素材を投入するマスターバッチ混練工程で、より顕著に反応生成物が発生し、反応生成物には混練室を腐食させる塩酸、硫酸などが含まれる。

3. BB ミキサ混練室内面の状況

タイヤにシリカが使用され始める以前から、BB ミキサの混練室内面部品の表面（ケーシング、ロータなど）には、耐摩耗性の向上を目的に表面被覆材料を使用しており、ゴム混練により発生するゴムや充填剤と部品表面との摩擦による摩耗の防止・軽減が図られている。ケーシングには従来、耐摩耗目的でリンカーンH560⁵⁾が使用されている。また、従来配合での耐腐食目的でKA#96（KA:KOBELCO ALLOY）、KA#104が使用されている。いっぽう、ロータにはステライト#6⁶⁾が使用されている。リンカーンH560を除き、通常、BB ミキサの混練材料接触面には、耐摩耗性のさらなる向上のため、図3のように、表面被覆材料の表面に硬質クロムめっきを施工する。しかしながら、上述のとおり、タイヤ用配合の変化により、混練時にシリカ、カップリング剤による反応生成物が発生し、BB ミキサの混練室内部が腐食環境になり、混練室内面部品に施工している表面被覆材料を腐食させ、早期に減肉が進む状況が様々なタイヤ用途のゴム混練機で見られるようになってきた。混練室内の腐食状況を調査した結果、塩化物イオンおよび硫化物イオンを含む残留物が確認された。

上記より、シリカ配合に対応する表面被覆材料には、従来からの必要性能である耐摩耗性に加え、耐腐食性の両立が必要になった。

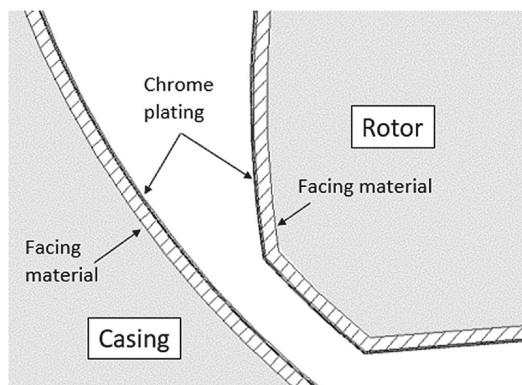


図3 混練室内部品の表面材料構成
Fig.3 Surface material structure

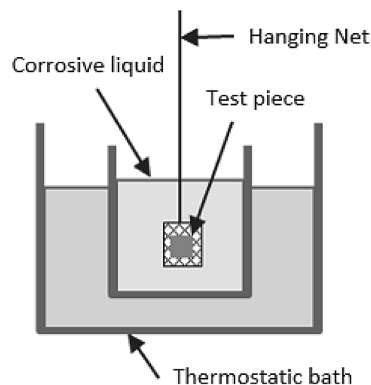


図4 浸漬試験実施状況
Fig.4 Condition of corrosion test

4. 耐腐食性表面被覆材料の開発と評価

早期に減肉が進む表面被覆材料の課題に対し、シリカ配合により発生する反応生成物への耐腐食性のある新表面被覆材料として、ケーシング用はKA#T1、ロータ用はKA#93を開発した。従来材料のリンカーンH560、ステライト#6、KA#96、KA#104とそれぞれの開発材料について、腐食試験、摩耗試験、硬質クロムめっき密着性試験を実施し、各種材料の比較評価を実施した。

4.1 腐食試験

耐腐食性の評価として、塩酸・硫酸混合液による浸漬試験を実施した。図4に浸漬試験の実施状況を示す。試験セルはガラス製フラスコおよび冷却管で構成し、試験片同士が接触しないよう試料ホルダにテフロン製網を用いた。混練機の使用サイクルを考慮して、それぞれ24時間、240時間での減肉速度（mm/年：それぞれの試験時間における重量減量から計算した単位面積当たりの腐食深さを一年間での腐食深さに換算）、および試験片の外観と断面観察により評価した。

図5に各材料での24時間の減肉速度、図6に24時間および240時間経過後の外観を示す。浸漬24時間で重量減がほとんどないものは、ステライト#6、KA#93、KA#T1であった。これらは試験前後での外観の変化も認められなかった。リンカーンH560、KA#96、KA#104は重量が減少し外観も変化した。ステライト#6、KA#93、KA#T1については240時間まで試験を継続したところ、それぞれの減肉速度はいずれも0.000～0.004 mm/年であり、開発したKA#T1、KA#93はステライト#6と同等の良好な耐腐食性を有することを確認できた。

つぎに、KA#96、KA#104、KA#T1の表面被覆材料に硬質クロムめっきを施工し、同様に240時間の浸漬試験を行い、試験後の試験片断面を走査型電子顕微鏡（SEM）で観察した結果を図7に示す。硬質クロムめっきの微細なクラックを通じて表面被覆材料に腐食液が浸透し、KA#96、KA#104は硬質クロムめっきとの境界部で腐食が発生していることが判る。境界部で腐食が発生することにより、硬質クロムめっきがはく離しやすくなる。いっぽうで、KA#T1では境界部にも腐食は見られず、優れた耐腐食性能を確認できた。

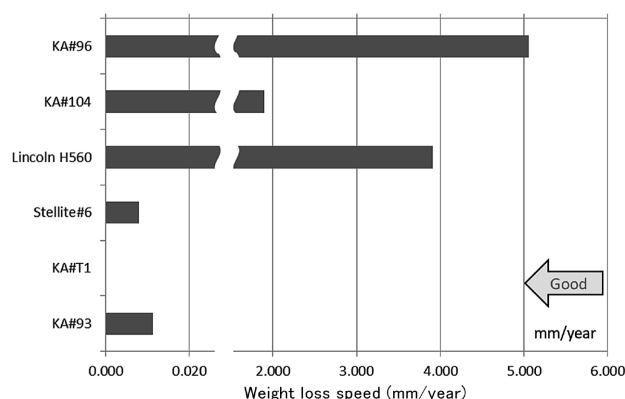


図5 浸漬試験での減肉速度（24時間）
Fig.5 Weight loss speed on corrosion test (24 hour)

	Start	24 hours	240 hours
KA#96			N/A
KA#104			N/A
Lincoln H560			N/A
Stellite#6			
KA#T1			
KA#93			

図6 腐食試験外観写真
Fig.6 Photos of corrosion test

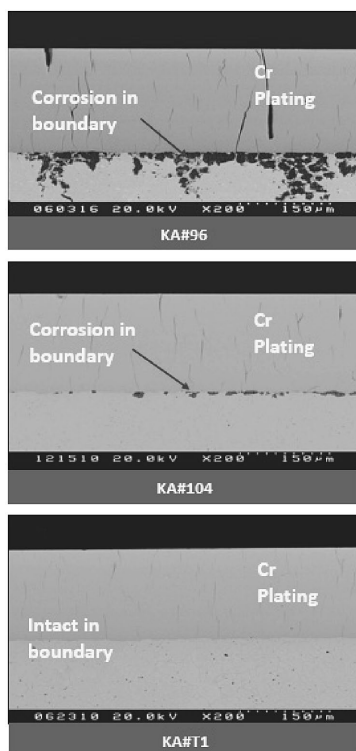


図7 クロムめっきとの境界部SEM写真(240時間浸漬)
Fig.7 SEM of boundary area with plating (240 hour)

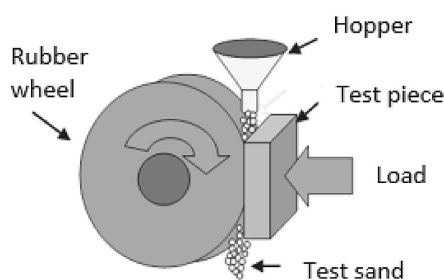


図8 土砂摩耗試験構成 (ASTM G65準拠)
Fig.8 Structure of wear test (ASTM G65)

4.2 摩耗試験

腐食試験を実施した表面被覆材料において、土砂摩耗試験を行い、それぞれの摩耗減肉量を比較評価した。土砂摩耗試験はASTM G65に準拠し、図8の構成で実施した。

結果を図9に示す。耐摩耗性に優れる順は、リンカーンH560 > KA#T1 > KA#104 > KA#93 > KA#96 > ステライト#6となった。KA#T1は、リンカーンH560には劣るものの、その他の表面被覆材料と比較して優れた耐摩耗性を示した。また、KA#93は従来のロータ用表面被覆材料として使用されているステライト#6より、耐摩耗性に優れることが確認できた。

4.3 硬質クロムめっき密着性試験

リンカーンH560を除いた各表面被覆材料への硬質クロムめっき密着性確認試験を実施した。図10に、硬質クロムめっきと各表面被覆材料との密着性の比較結果を示す。KA#T1、KA#93ともにステライト#6以上、また、KA#104、KA#96と比較しても十分な密着性能が得られていることを確認した。

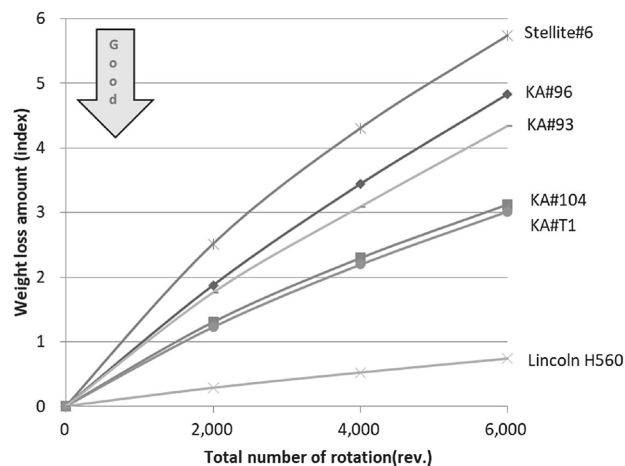


図9 土砂摩耗試験結果
Fig.9 Result of wear test

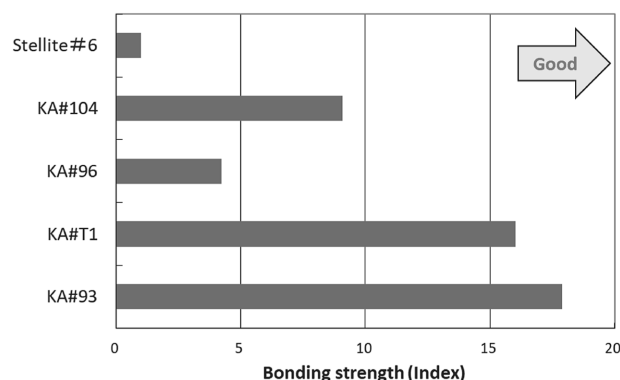


図10 硬質クロムめっき密着性試験結果
Fig.10 Result of bonding strength test

むすび＝新しい耐腐食性表面被覆材料として、KA#T1、KA#93を開発し、各種評価試験によって、それぞれの有効性を証明した。KA#T1は2013年頃、KA#93は2020年頃から販売を開始した。本技術により、従来の表面被覆材料に比べて、ケーシングやロータの腐食、摩耗による減肉速度が抑えられ、より長い期間、高品質の混練を行うことができるとお客様より評価をいただいております。シリカ配合や従来のカーボン配合を混練する多くのお客様に使用されている。今後もサステナビリティ要求に伴う混練配合の変化に対応した技術を開発し続けていく。

参考文献

- 1) 山田則文. R&D神戸製鋼技報. 2008, Vol.58, No.2, p.57-61.
- 2) 赤坂 隆ほか. ゴム工業便覧. 第4版, 一般社団法人日本ゴム協会, 1994, p.1077.
- 3) タイヤのLCCO₂ 算定ガイドライン. Ver.3.0.1, 一般社団法人日本自動車タイヤ協会, 2021, p.47.
- 4) 低燃費タイヤ等のラベリング制度, 一般社団法人日本自動車タイヤ協会
https://www.jatma.or.jp/environment_recycle/aboutlabelingsystem.html. (参照2025-2-7).
- 5) Lincolnweld H-560, Lincoln Electric.
https://www.lincolnelectric.com/en/products/lincolnweldh560_saw. (参照2025-2-7).
- 6) Stellite 6 Alloy, Kennametal Inc. <https://www.stellite.com/us/en/alloys/stellite/stellite-6-alloy.html>. (参照2025-2-7).