

三菱インターナルミキサ GK-E のゴム混練特性

Performance of Rubber Mixing in Mitsubishi Internal Mixer GK-E

技術本部 森 部 高 司^{*1} 清 家 彌 十 郎^{*2}

庄 島 敏 和^{*3}

長崎造船所 村 上 武 男^{*4} 花 田 修 一^{*5}

各種ゴム製品の多様化・高品質化に伴い、ゴム混練工程における高性能ミキサの要求が高まっている。三菱 GK-E ミキサは優れた混練性能及び冷却性能を有する噛合（かみあい）式ロータを採用しており、これらのニーズに対応可能である。本報では GK-E ミキサのロータ構造及び特徴を述べるとともに、各種混練試験によるゴム混練特性の解明、並びに従来型ミキサとの比較により混練性能の大幅向上を見いだした。

Recently, there has been a growing demand for highly efficient mixers for the rubber mixing process in order to apply to various rubber products and to ensure high quality. The Mitsubishi internal mixer GK-E adopts intermeshing rotors which have excellent mixing efficiency and cooling efficiency. This paper introduces the rotor geometry and the characteristics of the GK-E mixer along with various test results. And it found a substantial improvement of mixing efficiency in comparison with the conventional mixer was found.

1. ま え が き

自動車工業の進展に伴うタイヤの高性能化、並びに多種多様な工業用品ゴムの需要増大に伴って、製品ゴムに要求される品質はますます高度なものとなっている。ゴム加工プロセスにおいては、混練工程（原料ゴムと各種充てん剤の混合・分散工程）が最終製品の品質を最も大きく左右する。このような混練工程にはバッチ式ミキサが広く利用されており、その性能向上を図るため、ソフト的にもハード的にも混練技術の向上が望まれている。

バッチ式ミキサはそのロータ構造により、接線式（非噛合（かみあい）式）と噛合式とに大別される。接線式は主に生産性を重視するタイヤ用ゴムに、一方、要求品質の厳しい工業用ゴムでは噛合式が利用されている。当社においてもインターナルミキサとして各種ミキサを製作している。しかしながら、従来ミキサでは混練性能を満足できない状況が生じており、さらなる高性能化が求められている。

このようなニーズにこたえるため三菱 GK-E ミキサが開発された。本報では GK-E ミキサの特徴を紹介するとともに、各種混練試験の結果からゴム混練特性について報告する。

2. 三菱 GK-E ミキサの特徴

2.1 ミキサ構造と機能

ミキサ構造と機能を図1に示す。原料ゴム及びカーボン、オイル等の充てん剤はシュートドア部からチャンバ内に投入され、フローティングウェイトにより加圧しながら二軸ロータにより混練が行われる。混練が終了すると、下方のドロップドアを開放することで混練ゴムが排出され、バッチ処理にて工程が進行する。

一般にミキサは、ロータとチャンバ間における剪断（せん断）作用、ロータ間における剪断及び噛込み作用に加え、ミキサ内の混合・冷却性が重要な機能であり、ロータ形状が混練性能に大きな影響を及ぼす。

2.2 ね ら い

表1にミキサ要求性能と GK-E ミキサのねらいを示す。ゴム混

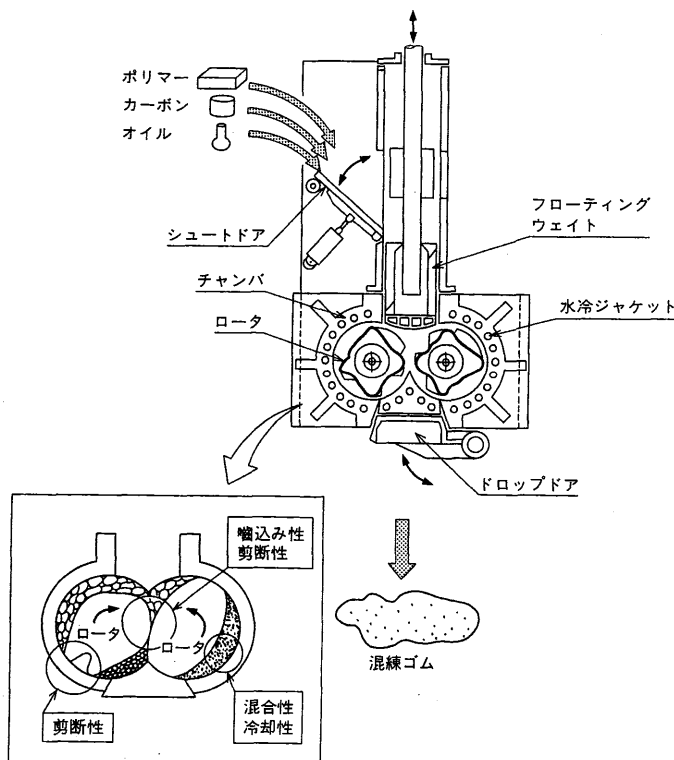


図1 ミキサ構造と機能 ミキサはバッチ処理であり、二軸ロータ構造をしている。
Outline of internal mixer

練においては、高品質化、高生産性、多様化が重要な課題である。特に高品質ゴムの混練では、ゴム中へのカーボン分散性向上が要求されるため、高剪断を付与する必要がある。同時に一定品質確保のためには均一混合性も要求される。一方、高剪断による発熱が大となりスコーチ、劣化などの問題が発生するため、冷却性能が重要となる。さらに、硬質配合や軟質配合に至る多品種ゴムに対応するためには、噛込み性向上も要求される。

以上の観点から、GK-E ミキサはロータ形状と冷却構造の適正

*1 長崎研究所火力プラント研究推進室 *4 一般機械設計部計画開発課主務

*2 長崎研究所嘱託

*5 一般機械設計部計画開発課

*3 長崎研究所第二実験課

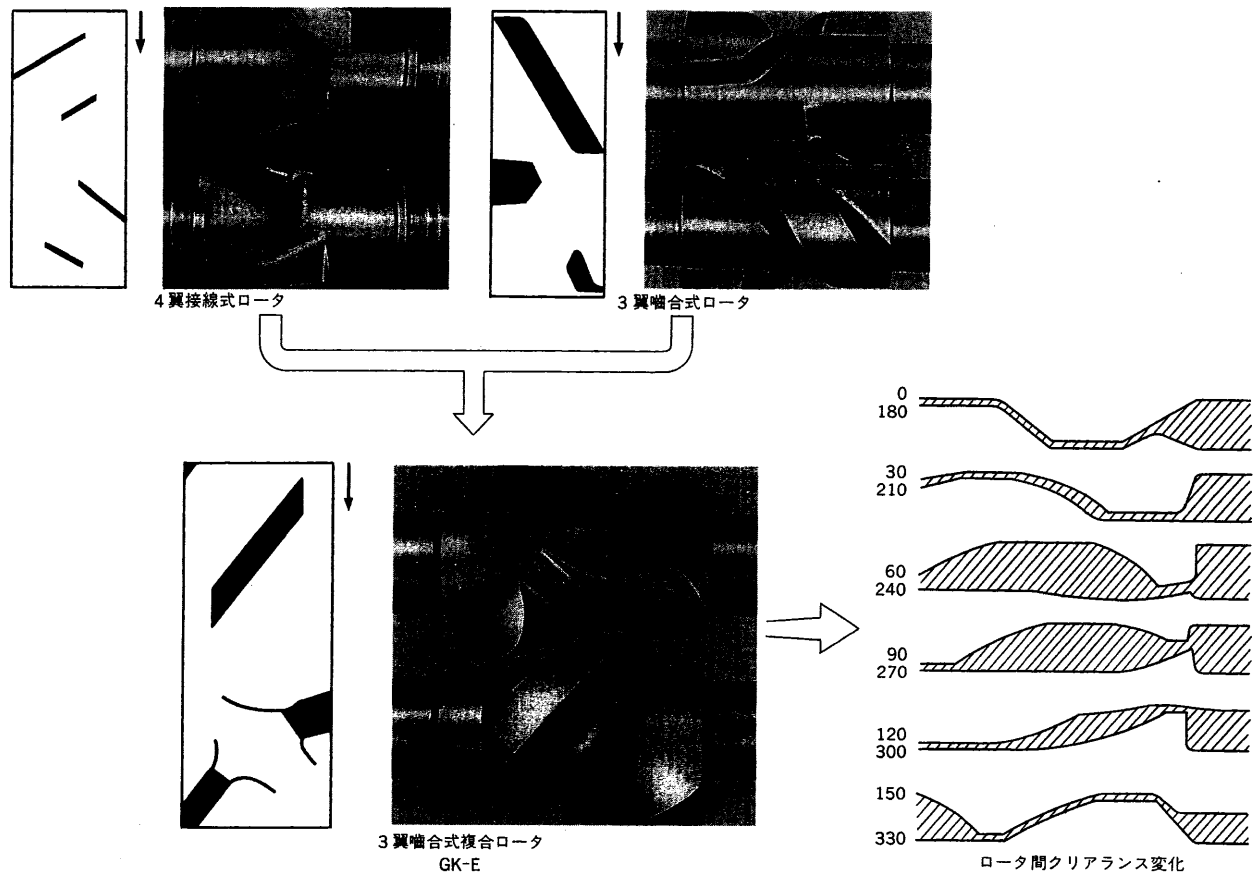


図2 ロータの特徴 接線式ロータと嚙合式ロータの複合ロータである。
Characteristic of GK-E rotor

表1 ミキサ要求性能とねらい

要求性能	ねらい	特徴
高品質化	剪断性向上 (分散性良)	ロータ構造の適正化
高生産性	混合性向上 (均一性良)	冷却構造の適正化
多様化	冷却性向上 (発熱抑制)	
	嚙込み性向上 (多品種対応)	

化に重点を置き開発されたものである。

2.3 ロータ構造

GK-E ミキサは嚙合式のインターナルミキサである。ロータの特徴を図2に示す。本ロータは従来の接線式ロータ（生産性良）と嚙合式ロータ（混練性良）の長所を取り入れた複合ロータであり、以下の特徴を有する。

- (1) ロータは3翼とし、端部の翼はゴム流動を反転させる機能を持たせ、混合性を向上させている。
- (2) ロータ嚙合い部は、適正なクリアランス変動を与え、剪断性と冷却性を上げている。
- (3) ロータ翼幅を広くし、チャンバとのクリアランスを適正化することで、ロータとチャンバ間での混練を可能にし、剪断力を上げている。

2.4 冷却構造

GK-E ミキサの冷却構造を図3に示す。冷却構造には下記の特徴がある。

- (1) ゴムが接触する面すべてを冷却できるシステムを採用しており、冷却面積を大きくしている。
- (2) チャンバ部は冷却効率の高いドリルドサイド方式とし、冷却水をチャンバ内壁に強制的に循環させている。
- (3) ロータ翼先端まで冷却水を通し、スパイラル構造により冷却水の高速循環を可能にしている。

3. ゴム混練特性

3.1 ゴム混練メカニズムと物性

容量5 lのGK-5E ミキサによるゴム混練試験（NBR 配合）、さらに二次元可視化モデルを用いた実ゴム混練状況の観察によって、ミキサ内混練挙動の調査を実施した。試験結果を図4に示す。一般にゴム混練メカニズムは動力チャートと関連付けられるが、本試験結果により、以下のことが確認できた。

ミキサ内では混練初期に、原料ポリマーの嚙込み、剪断による粉碎、可塑化が進行するため動力低下が生じる。ポリマーは粒塊化されるとともに充てん剤の付着、取込みが行われる。充てん剤の付着・混入が終了すると、混合物の一体化が開始されるため動力は再び増加し、動力のピークに達するとともに一体化が終了する。その後、一体化した混合物は流動化するとともに充てん剤の分散が行われる。同時に温度上昇及び可塑化による粘度低下を招くため動力が低下する。

前記のような混練挙動を把握することにより、ミキサの要求機

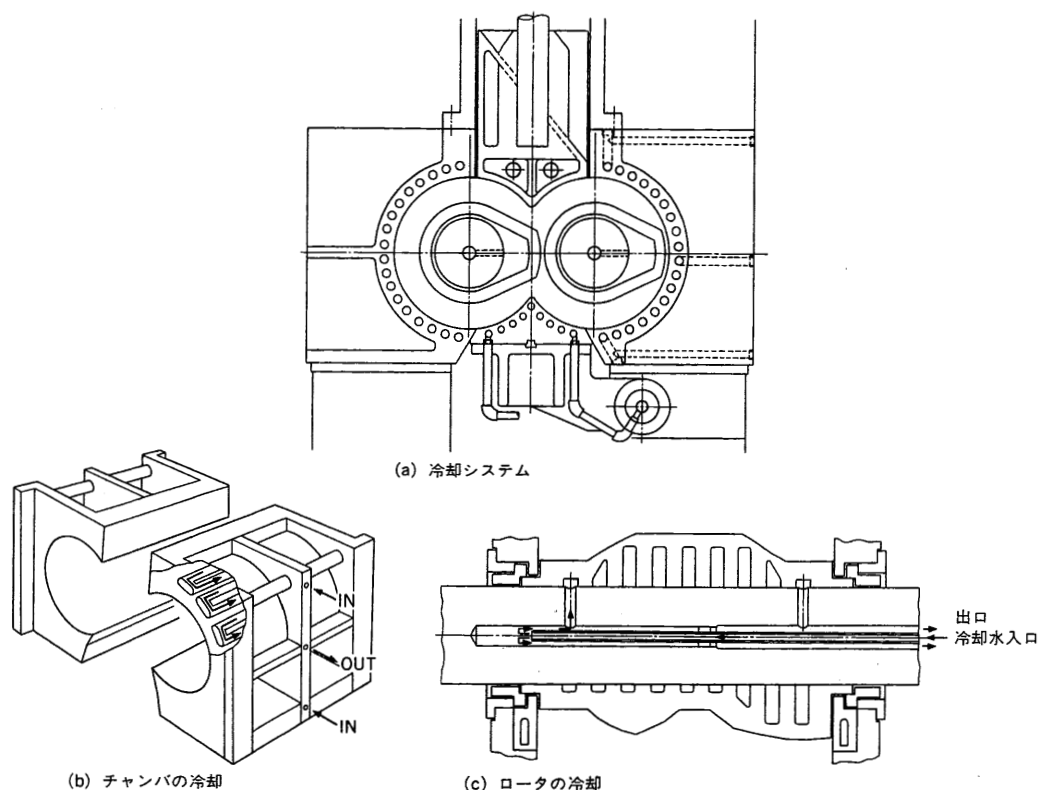


図3 冷却構造 ミキサ伝熱面すべてが冷却できる構造をしている。
Cooling system of GK-E mixer

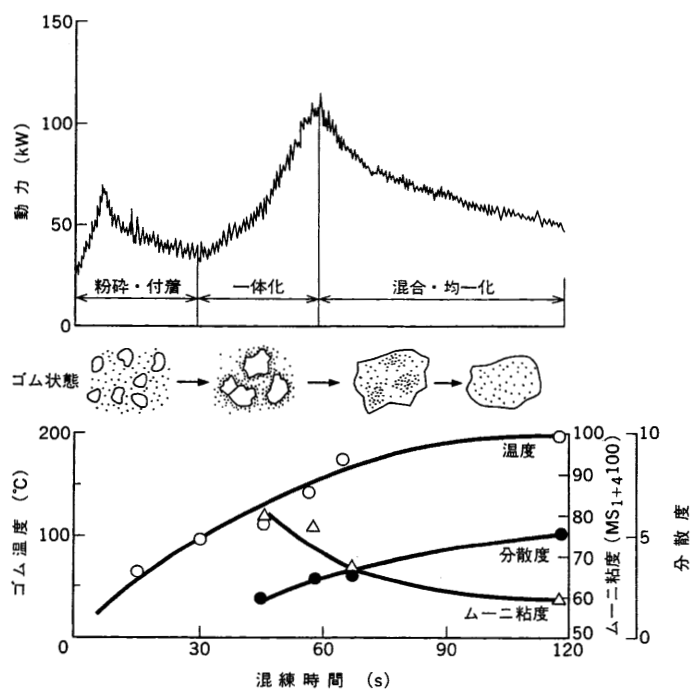


図4 ゴム混練メカニズムと物性 混練過程では動力変動とともに、混練ゴム物性が変化する。
Mixing process with rubber property

能に対する整合性を確認できた。

3.2 ミキサの混練特性

図5にEPDM配合(中硬質系ゴム)による混練エネルギーと混練性能の関係を示す。この結果、投入エネルギー(ユニットワーク値)が大きいほど、混練性能(粘度低下及び分散性向上)は向上する。しかしながら、投入エネルギーを増加させても混練性能の変化が少なくなることが分かり、適正値が存在することが明らか

記号	回転数 (rpm)	FF	ラム圧 (kg/cm ²)
○	50	60	7
△	40	60	7
◇	60	60	7
●	50	70	7
▲	40	70	7
◆	60	70	7
①	50	80	9

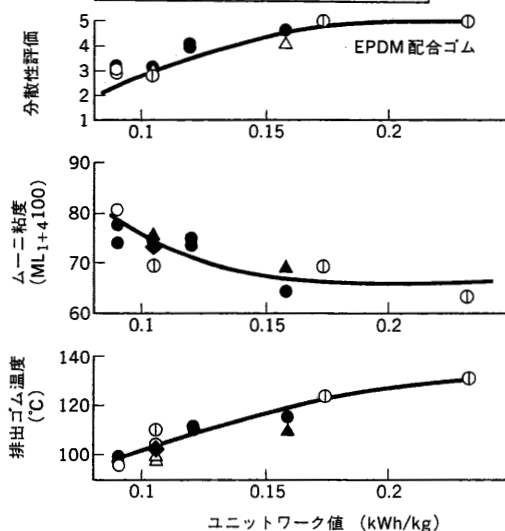


図5 混練エネルギーと混練性能 混練エネルギーの増加により混練性能(分散性向上、粘度低下)の向上が可能である。
Mixing efficiency vs. input energy per material weight

かとなった。各種配合による同様の試験結果から、およそ以下のようなユニットワーク値の適正範囲が把握できた。

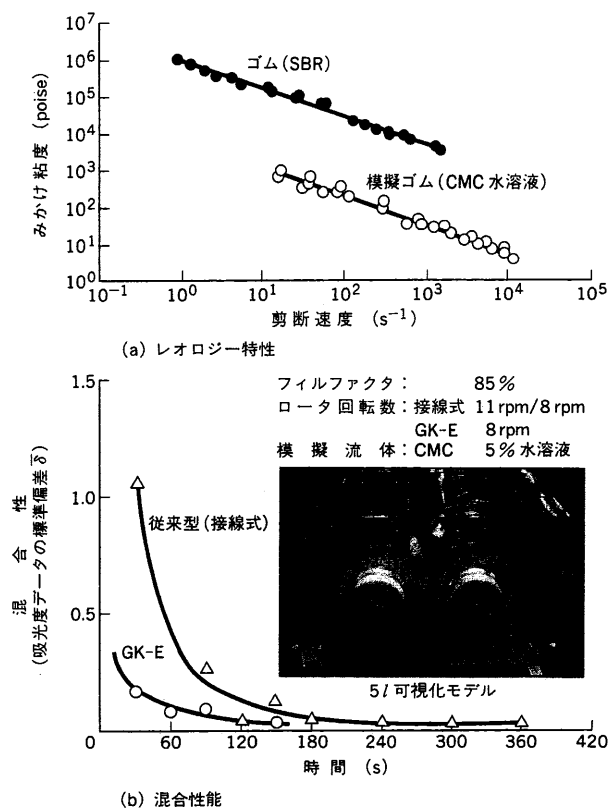


図6 混合性の比較 ゴムと同様の粘度特性を示す模擬流体を用いた混合性比較により、従来ミキサより優れた混合性を示すことが分る。

Comparison of mixing performance with conventional mixer using imitational rubber

- ①軟質配合ゴム: 0.1~0.15 kWh/kg
- ②中硬質配合ゴム: 0.15~0.2 kWh/kg
- ③硬質配合ゴム: 0.2~0.3 kWh/kg

4. 従来型ミキサとの比較

4.1 混合性

ミキサの混合性能を比較するため、三次元モデルによる可視化試験を実施した。強度面での制約上、三次元モデルでは実ゴム混練が不可能であるため、ここではミキサ内流動性に注目し、下記の相似則を適用することで、模擬ゴムを使用した混合性比較試験を実施した。

(1) 幾何学的相似

ミキサ寸法はロータ径を代表寸法として幾何学的相似とする。

(2) 力学的相似

ロータとチャンバ間のチップクリアランス基準のレイノルズ数 Re を実機と一致させる。

$$Re = \frac{\rho \pi D N h}{\mu} \quad (1)$$

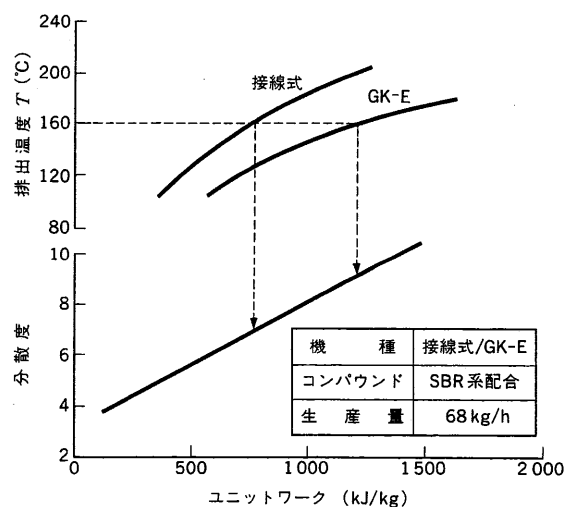


図7 ゴム混練性能比較 従来の接線式ミキサに比較して、冷却性能及び分散性能が向上していることを示す。
Comparison of rubber mixing efficiency with conventional mixer

ここで、

ρ : 流体密度

D : ロータ径

N : 回転数

h : チップクリアランス

μ : 流体のみかけ粘度

なお、模擬ゴムには実ゴムと同様のレオロジー特性を示す CMC (カルボキシメチルセルロース) 水溶液を使用した。図6に供試流体のレオロジー特性及び混合性比較の結果を示す。この結果、GK-E ミキサは、従来型 (接線式) ミキサより混合性が良好であることが分った。

4.2 ゴム混練特性

接線式ミキサと GK-E ミキサのゴム混練性能比較試験を実施した例を図7に示す。GK-E ミキサはその冷却性能が優れていることが分る。さらに、ゴムの上限温度に対して多量のエネルギーを付与することが可能となり、その結果、分散性が向上している。これらの結果から、GK-E ミキサは従来型ミキサに比較して優れた混練性能及び冷却性能を有することが明らかになった。

5. む す び

本報では、当社インターナルミキサ GK-E について、各種混練試験によるゴム混練特性の解明をはかり、本ミキサが各種ゴムの高性能混練に対応できることが明らかとなった。これらの知見はこれからのミキサ開発において非常に有益なものであると考えている。

今後、引続き三菱 GK-E ミキサによる広範囲のゴム混練試験を実施し、さらなるデータの蓄積を図るとともに、多様化するユーザーズに応えるため、ミキサ構造の適正化に対する開発・改善を行っていく所存である。