

(技術資料)

バッチ式混練機の最新技術

New Internal Mixer Technologies



山田則文*
Norifumi Yamada

In this paper, new technologies for internal mixers are described. Mixing performance depends primarily on rotor configuration. A new internal mixer rotor, the 6WI rotor, was developed in combination with a new mixing technology called VCMT (Various Clearance Mixing Technology). Experimental results showed that the new rotor is: a) effectively reduces the MOONEY viscosity; b) able to better disperse carbon black, c) high productive. The new 6WI rotor has received excellent marks from Kobe Steel customers and, currently, about 100 mixers incorporating this rotor are in commercial use.

まえばき = ゴムは、常温で大きく変形させることが可能であるなど、その特性を活かして、タイヤ・ベルト・ホース・防音防振材など多くの製品に使用されている。最終製品として必要な物理的性質は、ゴム原料だけでは実現が不可能なため、様々な添加材（カーボンブラック・シリカ・オイル・白色充填材など）が複合材料として用いられ、これら添加材と混合・混練をするために混練機が使用される。

バンパリータイプのミキサは、ゴム用の混練機で代表的な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などが重ねられ、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。

ここでは、バッチ式混練機の最新技術について述べ

る。

1. バッチ式混練機の構造¹⁾

バッチ式混練機は以下で構成される(図1参照)。ホッパー部から材料を投入し、ウェイトによりその材料をケーシングに押し込む。次に、材料を噛み込む方向にロータをそれぞれ内々に回転させることにより、ロータとケーシング間で発生するせん断力を材料に加え、混練・混合を行う。混練が終了すると排出ドアが開くことで、混練物を排出する。

2. 混練の目的

ゴム混練の主な目的(機能)は、以下の3項目である。

1) 補強材(カーボンブラック・シリカなど)や機能原

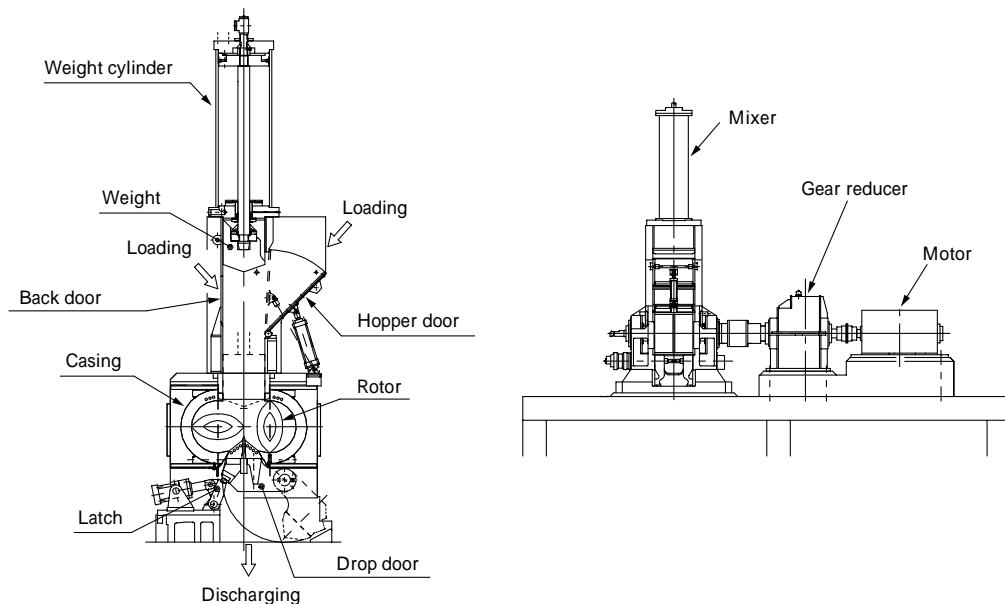


図1 バッチ式混練機の構造
Fig. 1 Structure of internal mixer

*機械エンジニアリングカンパニー 産業機械技術部

料（老化防止材，流動性付与材など）などのゴム中への分散機能

- 2) 成形工程での押出性や製品物性を確保するための粘度調整機能
- 3) 製品として架橋材との架橋反応が必要なため，架橋材や架橋促進材などの分布を均一にするための分配機能

そのほか，複数の異なったゴム原料を使用し，単独のゴム原料では発揮できない特性を引出す場合もある。この場合においても，上記の分散・粘度調整・分配機能により，均一な混練を行うことができる。

3. 混練メカニズム

バッチ式混練機の混練メカニズムは，以下の2つに集約することができる。

- 1) 回転するロータとケーシング壁面との間で生じる速度差により発生するせん断作用によって，ゴム原料及び補強材・機能原料などの添加材の凝集塊が破碎され，活性面の出現とぬれ面積拡大により，添加材がゴム原料中にミクロ的に分散される。

また，高分子材料であるゴム原料の分子鎖がせん断作用により切断され，分子量が減少するとともに分子量分布が狭小化される。

ロータ翼の先端とケーシング壁面の隙間（チップクリアランス，以下TC）は，最大のせん断速度が生じる部分であり，配合材の凝集塊破壊のために必要なせん断応力を得る上で，重要な部分（寸法）である。そのほか，ロータ翼先端部の幅（チップ幅）や翼作用面の形状（プロファイル），翼数なども混練性能において重要である。

- 2) ロータには翼がついており，翼は軸線に対し螺旋状にねじれている。このねじれにより，ゴム原料や添加材は軸方向に押され，流れが生じる。2本のロータ間においても，混練材料は受渡しされ，ケーシング内での材料流れは複雑となる。この流れが活発であれば，ケーシング内のマクロ的な分配が進み，混練材料の均一性が向上するとともに，前項の分散作用も均一に進行させることができる。

ロータの翼長さ，異なる翼の長さ比，翼の軸線に対するねじれ角及び翼数により，ケーシング内の混練材料の流れが変化するため，これらの設定・配置が混練性能において重要である。

バッチ式混練機の内部では，原材料投入後，以下の工程を経る。

ゴム（主にブロック状）の破碎工程 添加材が破碎されたゴムに混入される工程 添加材が分散する工程 混練材料が均質化される工程

このような複雑な工程と添加材のゴムへの混入に伴う相の変化は，時間的に順次進行していく。また，主にせん断作用に伴う発熱により，時間的に混練材料温度や分子量が変化し，混練材料の粘度が変化する。

4. ロータ開発方法

バッチ式混練機で混練される材料は，前述のとおり，混練中に相変化・温度変化・粘度変化を伴うため，現在のところ混練状態を普遍的に表現する方法は確立されていない。また，混練性能とロータ形状を定量的に解析する手法も確立されていない。

この困難性を補完するため，当社では以下の方法を採用している。

4.1 モデル試験機での検討

ロータを構成する形状パラメータ，及び混練条件と混練結果との相関を把握する基礎実験・解析を行う。そのために，2次元モデル試験機・3次元モデル試験機を用いる。2次元モデル試験機でロータの2次元的な断面形状を評価し，最適なせん断作用を得られる形状を求める。3次元モデル試験機でロータの3次元的な翼配置・翼数などを評価し，混練材料の最適な流動性が得られる形状を求める。

これらモデル試験機の外観図・写真，及び2次元モデル試験機の結果の一例を図2に示す。

4.2 ラボ機での検討

モデル試験機の結果に基づき決定した形状のロータを，4リットルや16リットルクラスのラボ機で検証実験を実施し，ロータ形状評価を行うことにより，良好なロータ形状を決定する。

4.3 生産機での検討・検証

モデル試験機・ラボ機の結果をもって，最終的に生産機での検証を行うとともに，モデル試験機・ラボ機との相関把握・検証を行い，生産機においても良好な混練性能が得られることを確認する。

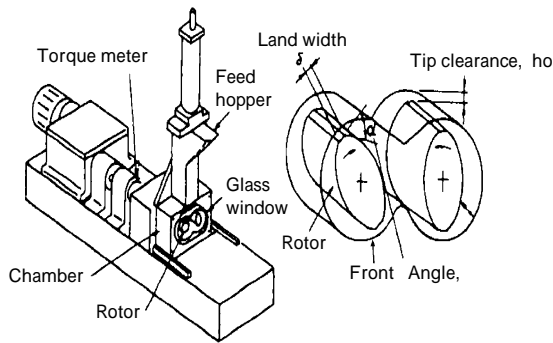
このような方法で開発した最新ロータの混練性能について，以下に述べる。

5. 最新技術（6WI ロータの性能）

混練性能を決定する主な部分はロータの形状である。当社においても，4翼ロータ（4WS ロータ）をメニューとして持っていたが，混練物の均一化性能を向上させる必要がでてきたため，前章の方法に基づいて4WHロータを開発した。4WHロータは，その高い混練性能が評価され，当社の標準ロータとして，国内外のタイヤメーカーはもとより一般工業用品メーカーにおいても，現在非常に多くが稼働している。

一方，昨今の混練材料の変化・高品質要求がさらに増加してきたため，4WHロータよりもさらに混練性能の高いロータの必要性が高くなり，6WIロータを開発した（写真1）。

このロータは，せん断作用を発生させるTCを一定とせず，複数種類のTCをもたせるVCMT（Various Clearance Mixing Technology）という技術が特長であり，4WHロータよりもさらに高品質化・高生産性化を達成している。すでに，タイヤメーカーと樹脂材料メーカーを含む一般工業用品メーカーに評価され，生産機として100台近くが採用されている。

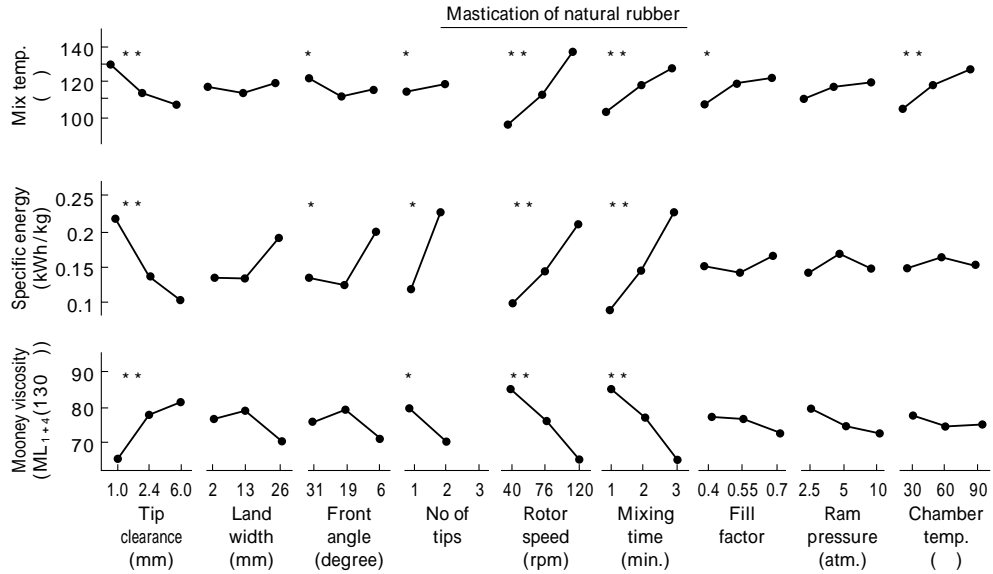


Two-dimensional model mixer : inner diameter of chamber, 101.6mm ; length of rotor, 50mm

a) Two-dimensional model mixer



b) Three-dimensional model mixer



Mastication test of natural rubber (SMR 5L) by two-dimensional model mixer. Factors contributing 6 ~ 10% and more than 10% indicated by *and**, respectively

c) Test result example of two-dimensional model mixer

図2 モデル試験機と試験結果例

Fig. 2 Model testing mixer and one result of two-dimensional model mixer



4WH 6WI

写真1 4WH ロータと6WI ロータ
Photo 1 4WH rotor and 6WI rotor

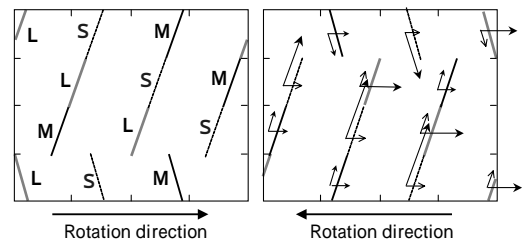


図3 6WI ロータの翼配置と材料流れ

Fig. 3 6WI rotor wing arrangement & material flow

VCMT とは、混練機のロータ先端(チップ)とケーシングとの間の TC を、ロータの軸方向と周方向で変化させる技術である。TC は、ロータの中でも特に混練作用に大きな影響を及ぼす。VCMT 技術を用いることにより、TC 一定のロータに比較して、材料が TC を通過する際に加えられるせん断力に幅を持たせることができるため、多種の混練物に対し多様な要求を満足させることが可能となった。

6WI ロータの翼配置を、図3 に示す。図3 に示すと

り、このロータは長翼3枚と短翼3枚の合計6枚の翼を持つ6翼(6W)ロータであり、それぞれの翼はS(小)・M(中)・L(大)と、3種類の異なるクリアランスを持つ。

Sクリアランスの強い混練作用により高い分散性能が得られ、複雑なTC配置によって、図示のとおり複雑な材料流れ(図3中の矢印の長さは材料流れの多さを示す)となり、均一な分配・混合が行われる。

5.1 ラボ機の6WI混練性能

6WI ロータの性能を示すため、4WS ロータと4WH ロ

ータとの比較実験を、当社 BB-16 ミキサ(16 リッタサイズミキサ)を用いて行った。

また、試験材料には、NR 系カーボンマスタッチ配合、及び EP 系カーボンマスタッチ配合を使用した。その配合を表 1 に示す。

なお、混練性能評価においては、混練物の加工性を示すムーニ粘度を用いており、ムーニ粘度値は低い方が加工性が良好であることを示す。また、カーボン分散は 10 点法を採用しており、S&S 社製 DISPAGRADER 1000 を用いて測定した。

表 1 試験材料配合

Table 1 Compound of trial mixing

NR compound (Tire tread compound)		EP compound (Steam horse compound)	
Material	PHR	Material	PHR
NR (RSS#3, Masticated in advance)	100	JSR EP21 (Oil extended, Oil:75phr)	100
Carbon 1	20	JSR EP98	44
Carbon 2	30	Carbon 3	80
Others	7	Others	6
Total	157	Total	230

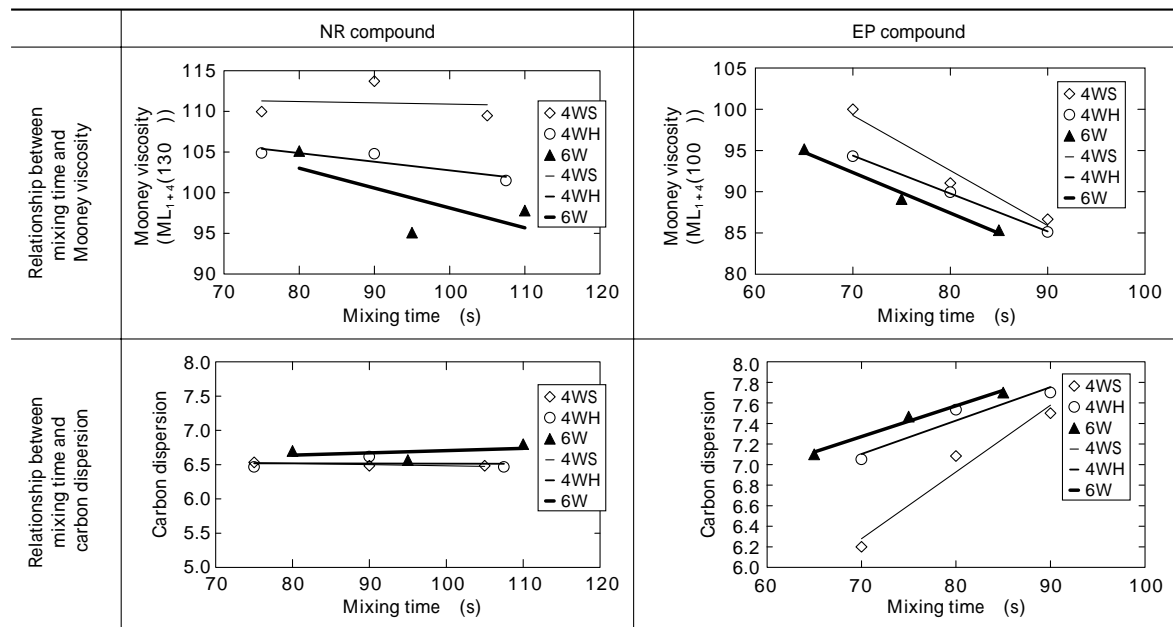


図 4 VCMT 技術を用いた 6WI の混練性能 (BB-16 ミキサの混練結果)

Fig. 4 Mixing performance of 6WI rotor (BB-16mixer)

その混練結果の一例を図 4 に示す。図 4 より、ムーニ粘度・カーボン分散ともに、6WI ロータが従来の 4WS・4WH ロータよりも良好であることがわかる。

以上より、VCMT 混練技術を適用した 6WI ロータは、従来の 4WS・4WH ロータと比較して、ムーニ粘度低下効果が大きく、高いカーボン分散を達成できるロータといえる。また、材料の噛み込み性能も向上していることが確認されている。

これまでの当社におけるラボミキサ(前述の BB-16 ミキサ)での混練結果では、6WI ロータは、従来の 4W ロータと比較して、生産性が 30%程度向上する結果も得られている。

また、タイヤメーカー・一般工業用品メーカー・樹脂メーカーなど、各種ユーザによる混練評価においても、従来の 4WH ロータと比較して良好な結果を得ている。一例としては、最近の新しい材料である熱可塑性エラストマを用いた材料で、充填材の分散性能がこれまでのロータよりも向上するとともに、高い生産性を得ている。また、一般工業用品メーカーにおいても、分散性能が向上した結果を得ている。

5.2 生産機における 6WI 混練性能

6WI 生産機データは、以下の条件で採取されたものである。

- 1) サイズ : BB-270
- 2) 混練段階 : カーボンマスタッチ
- 3) 配合 : トラック・バス用タイヤ(以下, T/B)と乗用車用タイヤ(以下, P/C)の典型的タイヤ配合 3 種類
 P/C トレッド : SBR + カーボン
 T/B トレッド : NR + カーボン
 T/B サイドウォール : NR + SYN. + カーボン
- 4) 排出条件: 温度排出

生産機データは、従来の 4WH の運転実績を基準とし、4WH に対する比率として表 2 及び表 3 に示した。

表 2 及び表 3 より、6WI は 4WH に比較し 13 ~ 24% の生産性向上が実現できていることが確認できる。品質は、ムーニ粘度・カーボン分散とも、4WH よりも良好な結果を得ている。

上記生産機データはカーボン配合であったが、6WI は従来のロータに比較し高分配混合が可能のため、シリカ配合にも採用されている。

むすび = 新しい混練技術の提案として VCMT 混練技術、及びこれを適用した 6WI ロータの混練性能を紹介した。

現在、この技術を用いた生産機がユーザ各社で稼働しており、良好な混練品質を得ているとともに、生産性が

表 2 3 配合のデータ

Table 2 Mixing data of 3 compounds

Compound	Rotor	Productivity		Quality	
		Mixing time	Productivity	Mooney viscosity (ML ₁₊₄ (100))	Carbon dispersion (Measured by " Dispergrader ")
Compound for PC fine tread	4WH	1.0 (control)	1.0 (control)	1.0* (control)	1.0 (control)
	6WI	0.88	1.13	1.0*	1.5
Compound for TB fine tread	4WH	1.0 (control)	1.0 (control)	1.0 (control)	1.0 (control)
	6WI	0.88	1.19	0.95	1.0
Compound for Tb side wall	4WH	1.0 (control)	1.0 (control)	1.0 (control)	1.0 (control)
	6WI	0.85	1.24	1.0	1.0

* Evaluated by Kobe Steel

表 3 6WI/4WH ロータ性能比較 (全配合平均)

Table 3 Mixing data of all compounds

Rotor	Mixing time	Productivity
4WH	1.0 (control)	1.0 (control)
6WI	0.88	1.13
Ratio	12% down	13% up

向上している。

また、熱可塑性エラストマなどあたらしい配合においても、その良好な混練性能が評価され、使用されつつある。

また、当社では、6WI ロータに続き、用途を特化したさらに新しいロータを開発・上市しており、すでに生産機として稼働し、良好な評価を得ている。継続してパッチ式ミキサの開発・改良に取り組んでいる。

参 考 文 献

- 1) 赤坂隆ほか：ゴム工業便覧，第 4 版（1994），p.1077，社団法人日本ゴム協会。