

(技術資料)

MIXTRON[®]BBミキサの4WNロータ

4WN Rotor for MIXTRON[®] BB Mixer



山田則文*

Norifumi YAMADA

In this paper, a new technology, "4WN rotor" for MIXTRON[®] BB mixer is described. Rotor configuration is of most importance to get good mixing performance. A feature of the newly developed rotor for internal mixer, namely 4WN rotor, is wing arrangement. The mixing performance of this rotor enables: a) avoiding excessive temperature during mixing b) achieving the aggressive rubber flow in the chamber and superior uniformity within batch. This rotor has been positively evaluated by many customers and approximately 50 mixers have been operated with this rotor.

まえがき = 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、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。パンバリータイプの混練機（当社の登録商標は、MIXTRON[®]BB ミキサであり、以下BB ミキサという。なお、「BANBURY (パンバリー)」はFarrel Corporationの登録商標である。）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技術の開発が重ねられ、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、BB ミキサの混練性能をさらに向上させるための最新技術である新しい4WN ロータについて述べる。

1. BB ミキサの概要¹⁾

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ケーシングに押し込む。次に、ロータを材料をかみ込む内方向に回転させることにより、ロータとケーシング間で材料にせん断力を加え、混合、混練を行う。混練が終了すると排出ドアを開き、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、ゴム原料に補強材（カーボンブラック、シリカなど）や、劣化防止材、流動性付与材などの各種原料をゴム中へ分散させる。また、単独のゴムでは発揮できない特性を引出すために、複数の異なったゴム原料を混練する。
- 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。

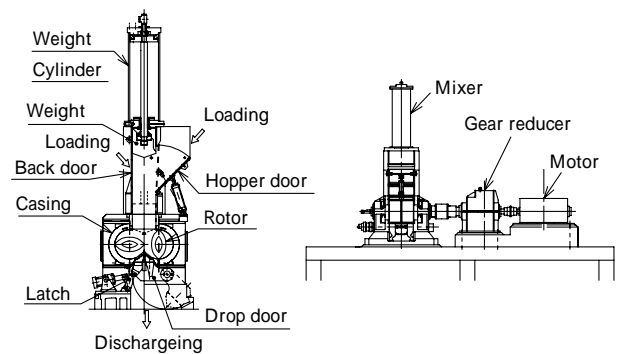


図1 BB ミキサの構造

Fig. 1 Structure of BB mixer

- 3) 混入する材料の分布を均一にする。
 - 4) 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。
- 一般にゴム材料の混練においては、次の3種類の混練工程に大別することができる。

1) 素練混練工程

主としてゴム原料のみを混練し、次の混練工程で混練を行いやすくする。

2) マスタバッチ混練工程

素練されたゴムや比較的柔らかく素練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材や劣化防止材などを混練する。

3) ファイナル混練工程

マスタバッチ混練された材料に架橋材や架橋促進材などを混入し、次の架橋反応に備える最終の混練を行う。

2. 混練機構²⁾

BB ミキサの混練機構は以下の二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

*機械エンジニアリングカンパニー 産業機械事業部 産業機械技術部

度差により発生するせん断作用によって、添加材がゴム原料中に数十～数 μm 以下に分散される。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の分布幅を小さくし、適正粘度に調整される。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）は、最大のせん断速度が生じる部分であり、分散性能に影響する重要な因子である。その他、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影響する重要な因子である。これらチップクリアランス、チップ幅、プロファイルは、後述する2次元モデル試験機の概形図中に記す。

2) ロータは翼を有しており、その翼は軸線に対し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、軸方向の流れが生じる。また、2本のロータ間の材料の移動により、混練材料の均一性が向上し、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、翼の長さ比、翼の軸線に対するねじれ角、翼数などにより、ケーシング内の混練材料の攪拌性能が変わるため、これらも混練性能に影響する重要な因子である。

材料に着目するとその混練は次のように進む。

- 1) ブロック状あるいはシート状のゴム材料が破碎される
- 2) 添加材が破碎されたゴムに混入される
- 3) 添加材が分散される
- 4) 混練材料が均質化される

なお、せん断作用やそれに伴う発熱により、時間的に分子量や混練材料の温度が変化し、混練材料の粘度が変化する。

3. ロータの開発手法、工程

BBミキサで混練される材料は、前述の通り、混練中に温度変化、粘度変化を伴うため、現在のところ混練状態

を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評価、解析する手法も確立されていない。

当社では、ロータ形状の開発に以下の方法を用いている。

3.1 モデル試験機での検討

ロータの断面形状、翼数、翼配置、チップクリアランスなど各種形状因子がゴムの混練に与える影響をつかむため、モデル試験機での検討を実施する。モデル試験機は2種類あり（図2）、最適なせん断作用、分散機能を得ることができるチップクリアランスやランド幅、作用面形状などの断面形状や翼数を検討するための2次元モデル試験機と、最適な攪拌作用、分配機能を得ることができる翼数、翼配置を検討するための3次元モデル試験機である。これらのモデル試験機から得られる結果を分析、検討し、最適なロータ形状を決定する。

2次元モデル試験機で評価する添加剤の分散メカニズムは、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、ゴム原料および補強材、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、ぬれ面積拡大により、添加材の分散が進むものである。

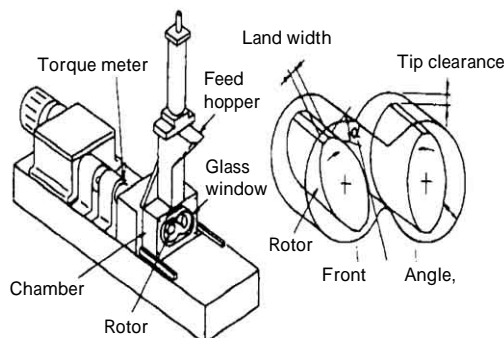
3次元モデル試験で評価する攪拌作用のメカニズムは、ロータの翼のねじれによりケーシング内でゴム原料や添加材が軸方向へ動くこと、および2本のロータ間における混練材料の移動も加わることでケーシング内で材料が攪拌され、混練材料の均一性が向上するものである。

3.2 実験用混練機での確認

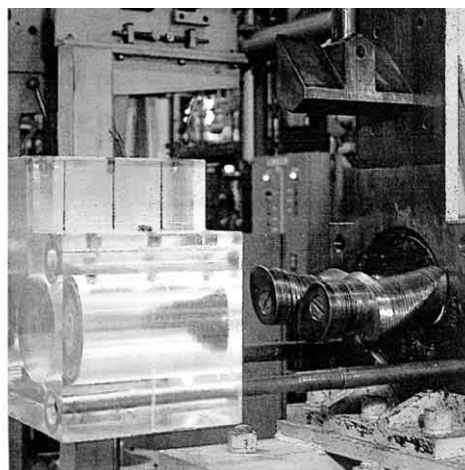
モデル試験機での検討結果を受け、4リットルや16リットルクラスの実験用混練機で実験、検討を実施する。同時にモデル試験機の結果との相関を確認する。

3.3 生産機での検証

モデル試験機や実験用混練機の結果に基づき、最適なロータ形状を選定の上生産機用にロータを製作し、その混練性能を生産機で検証する。同時に、モデル試験機、



a) 2次元モデル試験機
a) Two-dimensional model mixer



b) 3次元モデル試験機
b) Three-dimensional model mixer

図2 モデル試験機
Fig. 2 Model testing mixer

実験用混練機との相関も検証する。

このような方法で開発した最新ロータである 4WN ロータの混練性能について、以下に述べる。

4. 4WN ロータの性能

混練性能を決定する主な要因はロータの形状に関する各種因子である。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、混練材料の均一化性能を向上させる必要が生じたため、前章の方法に基づいて4WH ロータを開発した(図3)。4WH ロータはその混練性能が高く評価され、これまで当社の標準ロータとして国内外のタイヤメカはもとより、一般工業用品メカや樹脂メカでも多く稼働している。その後、混練材料の変化、さらなる高品質化の要求に対応するため、4WH ロータよりも混練性能を高めたVCMT (Various Clearance Mixing Technology) という、S・M・L (S: Small, M: Middle, L: Large) の3種類のチップクリアランスを持つ6WI ロータ(図3)を開発した。これは、当社の標準ロータの一つとしてタイヤメカや一般工業用品メカ、樹脂材料メカに評価され、生産機として100台以上稼働している。

一方、パッチ内の均一性を従来機よりもさらに向上させ、また、混練中の温度上昇速度を小さくさせる必要性が高まり、これに対応するロータとして開発したのが4WN ロータである(図3)。

4WN ロータの翼展開図と材料流れを、図4に示す。4WN ロータは、長翼2枚、短翼2枚からなり、合計4枚の翼を持つ4翼(4W)ロータである。

従来のロータである4WH ロータや6WI ロータの翼展開図と材料流れを図5に示す。従来の4WH ロータや6WI ロータは長翼および短翼がそれぞれ平行に配置されている。また、長翼は同じ端面から配置され、短翼は他方の同じ端面から配置されている。一方、4WN ロータは長翼および短翼がそれぞれ平行ではなく、かつそれぞ



4WHロータ
4WH rotor

6WIロータ
6WI rotor



4WNロータ
4WN rotor

図3 4WH ロータ、6WI ロータと4WN ロータ
Fig. 3 4WH rotor, 6WI rotor and 4WN rotor

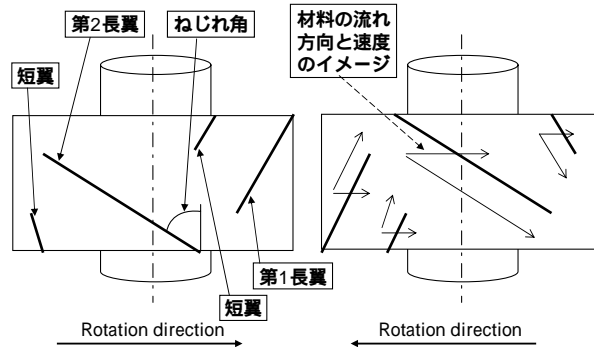
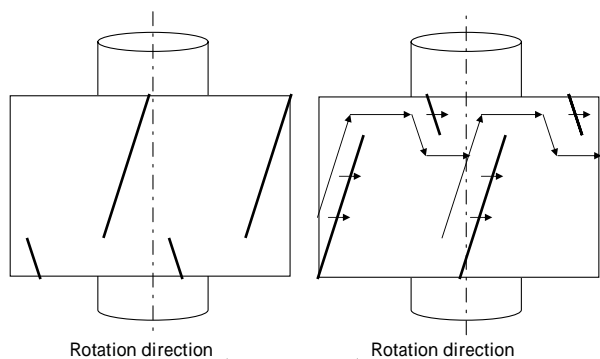
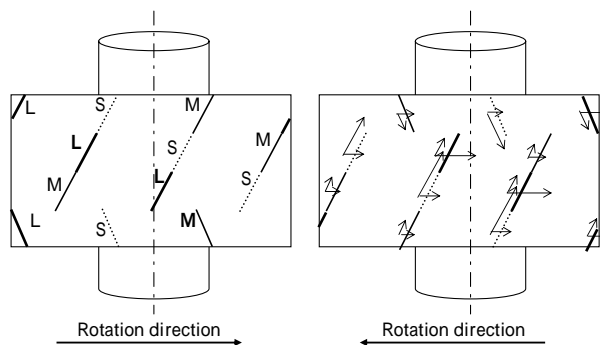


図4 4WN ロータ翼展開図と材料流れ
Fig. 4 4WN ROTOR Wing arrangement & material flow



(a) 4WH rotor
Wing arrangement and material flow



(b) 6WI rotor
Wing arrangement & material flow
S: Small tip clearance
M: Middle tip clearance
L: Large tip clearance

図5 4WH ロータと6WI ロータ翼展開図と材料流れ
Fig. 5 4WH rotor and 6WI rotor Wing arrangement and material flow

れ異なった端面から配置されている。2枚の長翼の内、1枚の長翼(第2長翼)のねじれ角を従来のロータよりも非常に大きくしている(図4)。

このロータの特徴は、上記の翼配置、およびねじれ角にある。そのねじれ角を大きくすれば、パッチ内の均一性向上に寄与するものの、ロータとケーシング間でのせん断作用が確保されず、充填剤の分散機能が低下する可能性がある。

4WN ロータは、パッチ内の均一性を向上させるため、第2長翼のねじれ角を従来のロータに比べて非常に大きくし、もう1枚の長翼(第1長翼)を第2長翼の逆方向に配置することにより混練材料を軸方向に活発に往復運動させ、ロータ間も軸方向全幅にわたり活発に移動させることができる。また、充填材の分散能力を確保するため、第1長翼と2枚の短翼のねじれ角を従来よりも小さ

くしている。

混練材料のかみ込み能力を確保できるよう、各翼の間の空間を大きくした翼配置としている。

4.1 実験用混練機における混練性能

4WN ロータの性能を示すため、従来の4WS ロータ、4WH ロータ、および6WI ロータとの比較実験を当社BB-16 ミキサ(16 リットルサイズ混練機)で行った。試験材料には、NR 系カーボンマスタッチ配合(原材料を天然ゴム(NR)とカーボンを主とした配合)、およびEPDM 系カーボンマスタッチ配合(原材料を合成ゴムの1種であるEPDM ゴムとカーボンを主とした配合)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、材料排出温度と混練物の加工性を示すムーニ粘度のばらつきを用いており、そのばらつきが小さい方が均一な混練を示す。その混練結果の一例を図6に示す³⁾。

図6より、4WN ロータは他のロータと比較して、温度上昇速度が小さく、緩やかに温度上昇させたい配合に適していることがわかる。また、ムーニ粘度のばらつきを評価すると、他のロータよりもばらつきが小さいことが

わかる。また、ムーニ粘度やカーボン分散などは4WH ロータとほぼ同レベルを確保している。

以上より、バッチ内均一性向上と混練中の昇温速度を小さくすることを目指し、翼のねじれ角や翼配置を最適化した4WN ロータは、従来の4WS ロータ、これまでの当社標準ロータである4WH ロータ、さらに現在の当社標準ロータの一つである6WI ロータと比較して、前述の結果を得ておりその目標を達成できている。また、4WH ロータに比べて、材料のかみ込み性能も向上していることがBB-16 ミキサで確認されている。

4.2 生産機における混練性能

4WN ロータの生産機データは、以下の条件で採取したものである。

- 1) 生産機:BB-270 ミキサ(270 リットルサイズ混練機)
- 2) 混練段階:ファイナル混練
- 3) 配合:タイヤ配合、および一部産業品配合
- 4) 排出条件:設定温度で排出

生産機データは従来の4WH ロータの運転実績を基準とし、4WN に対する比率として表2に示す。なお、4WN ロータの混練品質は4WH ロータの混練品質と同等以上のもとでの比較であり、混練時間は実混練時間で計測し、アイドルタイムは含んでいない。

4WN ロータでは、混練材料の昇温速度が小さいため、排出条件を設定温度とした場合、同じ混練条件では混練時間が長くなり、生産性が低下することとなる。したがって、4WN ロータでは4WH ロータよりも速い回転速度とすることで混練時間の短縮化を狙い、その結果、4WH ロータの混練時間よりも15%短縮を達成している。さらに、投入重量を4%向上させることができるため、生産性が19%向上した結果となっている。バッチ内ばら

表1 試験材料配合
Table 1 Compound of trial mixing

NR compound (for tire tread)		EP compound (for steam hose)	
Item	PHR	Item	PHR
NR (masticated)	100	JSR EP21	100
Carbon 1	20	JSR EP98	44
Carbon 2	30	Carbon 3	80
Others	7	Others	6
Total	157	Total	230

PHR : Parts per hundred rubber

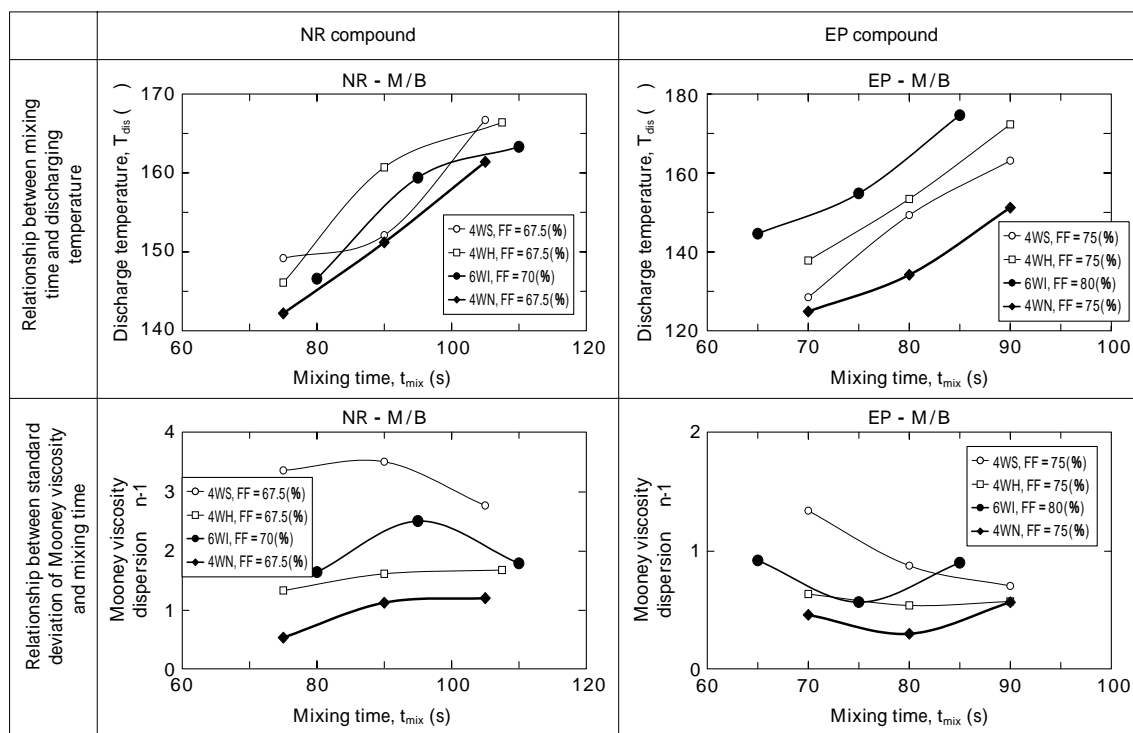


図6 4WN の混練性能 (BB-16 ミキサの混練結果)
Fig. 6 Mixing performance of 4WN rotor (BB-16 mixer)

FF : Filling factor

表 2 4WN/4WH ロータ性能比較 (全配合平均)³⁾

Table 2 The comparison between 4WH and 4WN (Average of all compounds)

Rotor	Mixing time	Loading volume	productivity
4WH	1.0	1.0	1.0
4WN	0.85(0.7 ~ 0.92)	1.04(1.0 ~ 1.1)	1.19
Ratio	15% down	4% up	19% up

つきは 4WH ロータと同等以上を確保できている。

この結果により、生産機においても、4WN ロータは 4WH ロータよりも高いバッチ内均一性を得ることができ、かつ、混練中の昇温を抑えることができるという性能を確認することができた。また、4WN ロータは、混練中の昇温を抑えることが必要な配合や混練工程、あるいはバッチ内の均一性を向上させることが必要な配合や混練工程に適しており、特に、混入する架橋材の分配性や緩やかな温度上昇が好ましいファイナル混練に適しているといえる。

上記データはファイナル混練であるが、現在、シリカを含めたマスタバッチ混練への 4WN ロータの適用も行われている。

むすび=新しい混練技術の提案として、特に翼配置に特徴があり、現在当社の標準ロータの一つである 4WN ロータとその混練性能を紹介した。

現在、この技術を用いた生産機がタイヤメーカー、一般工業用品メーカーなどユーザ各社でファイナル混練をはじめとして一部マスタバッチ混練でも使用されており、50 台以上稼働している。4WH ロータに比べ、良好な混練品質、高い生産性を得られるという評価を得ている。

当社では、紹介した 4WN ロータに代表される混練技術開発とともに、その他の機能向上を含め、ユーザの要求に合致した開発を継続し、BB 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)，1077，社団法人日本ゴム協会。
- 2) 山田則文：R & D 神戸製鋼技報，Vol.54, No.3 (2004) p.59.
- 3) 村上将雄：平成 13 年秋季ゴム技術講習会，平成 13 年秋季ゴム技術講習会テキスト，最新の加工技術 (2001 年)。