

論文名 : 密閉式混練機におけるゴム混練りに及ぼすロータ形状の影響 に関する研究

生産科学研究科

物質科学専攻

氏名 入江 誠

混練・分散技術は、ゴム加工プロセスにおいて、原料ゴムと様々な目的を持った配合剤、例えば、粉粒状の補強性や非補強性フィラー(充填剤)、加硫剤(架橋剤)、加硫促進剤、液状の軟化剤等をオープンロールや密閉式混練機内のせん断場や伸長場を通過させて機械的に混合分散する技術である。混練り過程での構造発現や化学変化がゴム製品(加硫ゴム)の物性を大きく支配する。密閉式混練機におけるゴム混練り状態は極めて複雑である。ゴム製品の加工現場においてはゴムコンパウンドの発熱、フィラー混合の均一性、アグロメレートの形成などにより、要求混練特性が確保し難い問題が、時として発生する。高度の分散が短時間に達成可能で、かつ高性能のゴム製品を経済的に生産する技術の開拓のためのアプローチとして、①新規材料および配合剤の開拓とそれらの実用化への技術展開、②材料および配合剤の適切な選択と合理的な配合、③混練機の機能解析と高性能混練機の開拓があげられる。材料開拓①②について述べられた研究は多いが③についての研究は少ない。高性能ゴム製品を生産するためには、ゴム混練り工程に用いられる密閉式混練機の「分散・微細性」、「分散・均一性」と「低温混練り性」の向上は欠くことができない。混練機の代表である密閉式混練機には接線式と噛合い式があり、接線式ロータの場合は、主としてロータ翼とチャンバ間で混練りが行なわれ、噛合い式の場合は、ロータ翼とチャンバ間およびロータとロータ間で混練りを行なわれる。

本研究は多量の補強性フィラーを効率よく混合でき、高度の分散が短時間に達成可能で、かつゴムコンパウンドの発熱を抑えることが可能な加圧型ニーダーのロータ形状を開拓することを目的として行った。その結果、接線式の密閉式混練機において、フィラーの分散はロータ翼先端の高せん断場が支配的と考えられていたがロータ軸径を大きくしてロータ軸とチャンバ間の環状部のせん断速度を大きくすることが分散性の向上と冷却性の向上に効果があることを見出したので、その研究成果をまとめた。

第1章では、ゴム加工プロセスにおける混練・分散技術に関する問題点と本研究の目的を述べた。そしてゴム練り技術の基本となるロール練り技術の説明と本研究に用いた密閉式混練機(加圧型ニーダー)の概要および混練技術についての説明を行い、本論文の構成を示した。

第2章では、『ゴム混練りへのロータ羽根の形状の影響』について述べた。カーボン配合 SBR ゴムの混練・分散実験をロータ翼形状が異なる2種類のラボ用混練機(混合容量が1L)で行い、混合度と配合剤の均一性と配合剤の混合分散状態に影響を与えるゴム温度と伝熱について検討した。混合度と配合剤の均一性にはゴムの移動に関係するロータ翼の振り角度が影響することを明らかにした。また、ロータに冷却機構を備えない混合室ではゴム温度の上昇を抑えることが困難であることがわかった。

第3章では、『ロータ形状の改良による低温混練り』について述べた。シール材用カーボン配合ゴムの混練・分散実験をロータ軸部形状が異なる2種類の生産スケール機(混合容量が55L)で、

同一電力（ユニットワーク）混練りを行い、練り時間と練り上り温度について比較検討した。そして配合剤の混合分散状態が影響する加硫ゴムの物性値についても比較検討した。いずれの材料も分散状態が同等以上で、（ロータ軸部直径／ロータ翼先端径）の値の大きい方に混練温度の低下が認められた。このことから、混練機容量が大きい生産スケール機においてもロータ軸部形状を変化させ、練り生地厚みを薄くすることで混練温度の低温化が可能になること明らかにし、今回のテスト材料の粘度範囲においては新型ロータを装備した接線式の密閉式混練機による1段階混練が可能であることを明らかにした。

第4章では、『カーボンブラックの分散に及ぼす混合容量とロータ形状の影響』について述べた。カーボン配合 SBR ゴムの混練・分散実験を混合容量とロータ軸部形状が異なる4種類で行い、比較評価を行なった。混合容量が7Lと10L（少量生産用混練機）、55Lと75L（生産スケール機）装置は、ロータ形状は異なるが、ロータ翼先端のせん断速度、混合室内径、そして混合室長さが同じ装置を使用した。そしてゴムコンパウンドのムーニー粘度の変化と補強性フィラーであるカーボンブラックの分散性をマイクロ分散に相関関係のある体積抵抗率の変化にて測定し、それらの混練特性を同一図上で比較した。ゴム混練りは、ロータ翼先端部のせん断速度が等しくても、混合室内の広領域を占める環状部のせん断速度を大きくすることにより、カーボンブラックの高分散が得られることを明らかにした。また、混練り特性の新たな評価方法としてロータ1回転当りのユニットワークを用いての評価することが有効であることを見出した。

第5章では、『酸化亜鉛の分散に及ぼす混合容量とロータ形状の影響』について述べた。実験装置と材料は4章と同じものを用い、ゴムコンパウンドに無機フィラーのZnOを混合し、その混合度と配合剤の均一性を比較評価した。SBRコンパウンドの場合、ZnO混合度および均一性は混合容量が変化しても差異はない、つまりZnO混合度および均一性は、ロータ翼先端のせん断速度よりもロータの積算回転数（移動回数）に依存することを明らかにした。また、環状部のせん断速度を大きくすることがポリマーの分配混合に効果があることを明らかにした。

第6章では、『ゴム混練機の除熱特性に及ぼすロータ軸径の影響』について述べた。カーボン配合 SBR ゴムの混練・分散実験をロータ軸部形状が異なるが、ロータ翼先端のせん断速度、混合室内径、そして混合室長さが同じ55Lと75L（生産用混練機）装置で除熱能力の比較を行い、配合剤の混合分散状態とゴム物性に影響を与える混練機の除熱特性について検討した。混合室は体積と面積の関係より、混合容量に比例して伝熱面積を増やすことは不可能だが、ロータ軸とチャンバ間の環状部のせん断速度を大きくすることがゴムコンパウンドの挙動に変化を与えて伝熱面に接する割合が増し、除熱効果が向上することを明らかにした。また、伝熱は混合室のロータ、混合槽などの各部において個別に考える必要があり、ロータ軸径を大きくすることがゴムコンパウンドの粘弾性状態の変化に拘らず、ロータ部の安定した高い除熱効果が得られることを明らかにした。

第7章では、本研究の総括を行った。今までの密閉式混練機では、ロータ翼部が混練り効果に支配的と考えられていたが、ロータ軸径を大きくして環状部のせん断速度を大きくすることにより、2次凝集体生成の軽減と除熱効果の拡大が図れ、ゴム混練りにおける分散性の向上が可能であることを明らかにした。