

# 論文内容の要旨

論文題目: シガレット用巻紙計測システムの構築と巻紙物性に関する研究

氏 名: 花田淳成

## 1. 序 論

拡大する喫煙者のニーズに対応するシガレット開発などにおいて重要なことは、巻紙の基本的機能(刻みの保持、シガレット外観、燃焼性と煙成分の制御、香喫味など)を確保することであり、巻紙に関する知見の集積が急がれている。そこで、巻紙のネットワーク構造に着目した巻紙物性、および熱による巻紙の物性・紙層構造変化の把握について従来法と異なる革新的なアプローチにより研究を行った。

巻紙の力学物性に関する研究では引張り応力下における紙の歪挙動と紙の不均一性の関係に着目し、歪分布測定法として「レーザーホログラフィー干渉法」を提案し、紙の変形挙動と歪分布を検討した。また、熱分解過程における巻紙の変化についての総括的な研究を目的として、「シガレット用巻紙計測システム」構築し、巻紙の熱的な物性などの変化を検討した。

## 2. 本論 I レーザーホログラフィー干渉法による紙の物性解析

### § 1 紙の歪分布挙動測定システムの構築

紙の二次元的な不均一性により引張り応力下の紙の弱い部分に応力集中が生じる現象を、紙の歪分布という観点から解析した例は無い。一方、非接触かつ直接的に材料表面の変位分布を測定する方法として、レーザーホログラフィーの干渉縞による測定が挙げられるが、紙の計測に応用した研究は殆どない。そこで「レーザーホログラフィー歪分布測定システム」を構築し、変形挙動の異なる材料および地合が異なる紙の変形挙動を検討した。

## ○まとめ

1. 「レーザーホログラフィー歪分布測定システム」を構築し、従来法では不可能な引張り変形における紙の微視的歪分布の可視化が可能となった。
2. 弾性変形するゴム板と塑性変形するポリエステルフィルムでは引張り変形において出現するモアレ縞のパターンが異なる。
3. 紙の不均一性の違いは引張り変形における紙の変形挙動に影響を与える。

## § 2 引張り過程における紙の歪分布挙動の可視化

紙の引張り過程において変形初期では弾性的な変形が生じ、変形量を増すに従い塑性的な変形が生じる現象を「レーザーホログラフィー歪分布測定システム」を用いて解析した。また、変形挙動に対する繊維配向の影響とモアレ縞画像からの歪の数値化を検討した。

## ○まとめ

1. 繊維配向に起因する紙物性値の異方性がモアレ縞のパターンの違いとなって現れる。
2. 引張り過程における紙の歪分布の変化より、引張り過程初期では弾性的変形が、変形が進むと塑性的変形が変形挙動を支配し破断に至る。
3. モアレ縞画像データを演算処理することで、歪の定量が可能となった。

## 3. 本論Ⅱ 熱分解過程におけるシガレット用巻紙の研究

### § 3 シガレット用巻紙計測システムの構築

巻紙の評価は常温の物性値に基づくが、燃焼時のシガレットを想定すると巻紙の物性および紙層構造は熱により変化すると考えられる。そこで、熱による巻紙の物性変化の把握を目的とした「シガレット用巻紙計測システム」を構築し、巻紙物性の変化を検討した。

## ○まとめ

1. 燃焼時のシガレットを想定した巻紙の熱的变化を計測する「シガレット用巻紙計測システム」を構築した。
2. 熱分解過程における巻紙物性変化を測定し、次の結果を得た。
  - ① 巻紙の重量減少、収縮、厚さ、みかけ密度、および通気度はTGと同様の傾向で変化する。
  - ② 光学物性、色差、および通気特性はTGの変化温度より低温側で変化し、通気特性は叩解により異なる挙動を示す。
  - ③ 動的ヤング率は150～250℃の範囲で若干増加し、300℃を超える範囲で著しく減少する。

### § 4 熱分解過程におけるシガレット用巻紙の紙層構造

熱による紙層構造の変化の把握を目的とし、加熱処理巻紙の紙層構造、および細孔比表面積を測定し、熱分解過程における巻紙の物性変化との関係を検討した。

## ○まとめ

1. 全細孔容積は巻紙の加熱温度の上昇に伴い増加する。
2. ミクロポア容積と比表面積は巻紙の加熱温度の上昇に伴い常温～300℃の範囲で緩やかに上昇し、300～320℃の範囲で若干減少し、320℃を超える範囲で著しく増加する。

3. 水銀圧入退出比は巻紙の加熱温度の上昇に伴い叩解の進行していない巻紙では270～350℃の範囲で低下し、350～400℃の範囲で若干上昇し、叩解の著しく進行した巻紙では常温～150℃の範囲で上昇し、270～350℃の範囲で低下する。密度は巻紙の加熱温度の上昇に伴い常温～200℃の範囲で上昇し、200℃以上の温度領域で密度は低下する。
4. 平均細孔径は巻紙の加熱温度の上昇に伴い増大する。細孔分布は巻紙の加熱温度の上昇に伴い空隙量は増加し、320℃を超える範囲で15～20 μmの細孔が著しく発達する。

## §5 シガレット用巻紙の加熱による収縮と表面変化

熱分解に伴う巻紙物性や紙層構造の変化は熱による巻紙の収縮挙動として現れることが予測される。そこで、「シガレット用巻紙計測システム」に熱機械特性(TMA)を導入し、熱重量測定(TG)、示差熱分析(DTA)の熱分析測定結果を併せて検討した。また、加熱による巻紙の変形は表面性状の変化として現れることが予測されるので、加熱処理を行った巻紙表面を観察し、物性変化因子との関連づけを試みた。さらに、製品シガレット用巻紙には有機酸塩が塗布されているので、有機酸塩の影響についても検討を行った。

### ○まとめ

1. 巻紙は常温～100℃の範囲で加熱温度の上昇に伴い収縮し、200℃～300℃の範囲で伸長し、300℃以上の温度で急激に収縮する。
2. 巻紙の有機酸塩塗布量の増加に伴い、300℃付近のTMAの収縮開始温度は低下し、収縮の変化が緩やかになる。また、320℃における収縮率は有機酸塩塗布量4.2%までは増加し、8.3%では低下する。
3. 巻紙の加熱に伴い320℃でフィブリルの変質と繊維間空隙の増加が開始し、さらに高い温度で、繊維の幅方向の収縮と繊維間の空隙の増加と繊維表面やフィブリルの著しい分解が生じる。

## 4. 総括

本論Ⅰでは「レーザーホログラフィー歪分布測定システム」による紙の変形に関する新たな研究法を提案し、地合や繊維配向性などの繊維ネットワーク構造の違いが引張り応力下における紙の変形挙動に影響を与えること、紙が引張り応力を受けて破断に至る過程の変形挙動が異なることを明らかにした。また、本論Ⅱでは熱分解過程における巻紙物性を検討し、紙層内部の空隙が加熱に伴う巻紙の収縮挙動に影響を与え、物性や紙層構造も連動して変化すること、巻紙の加熱によりフィブリルの変質と繊維間の空隙が増加し単繊維の幅方向が収縮することを明らかにした。

以上、本研究の検討を遂行した結果、巻紙の繊維ネットワーク構造が引張り応力下における紙の変形挙動、および加熱に伴う巻紙の収縮等の物性や紙層構造の変化に関与することが明らかになり、巻紙の繊維ネットワーク構造をコントロールすることで基本的機能とバランスを損なわない巻紙の機能向上が可能であることが示唆された。また、たばこに対する多様な考え方や嗜好がある中で、本研究の科学的な検討や知見は21世紀の新たなたばこ文化の創造に繋がる一つの柱となりうる確信が得られた。