



光ファイバ素線線引き過程の母材熱流動変形に関する数値解析的研究

福谷, 和久

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2007-03-25

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲3963

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1003963>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【 3 5 6 】

氏 名・（本 籍） 福谷 和久 （ 香川県 ）

博士の専攻分野の名称 博士（工学）

学 位 記 番 号 博い第447号

学位授与の 要 件 学位規則第5条第1項該当

学位授与の 日 付 平成19年3月25日

【 学位論文題目 】

光ファイバ素線線引き過程の母材熱流動変形に関する
数値解析的研究

審 査 委 員

主 査 教 授 薄井 洋基
教 授 大村 直人
教 授 富山 明男
助教授 鈴木 洋

(氏名：福谷 和久，NO. 1)

本研究では石英系およびプラスチックの光ファイバ素線の線引き過程における母材の熱流動変形について数値解析的な手法を用いて研究をおこなった。目的は光ファイバ素線線引き過程において、ファイバの品質を維持しながら、生産性の向上に寄与することである。

はじめに研究の導入として光ファイバとそれを用いた通信について概略を説明した。つぎに光ファイバケーブルの製造工程の概要と、そのうちの光ファイバ素線の線引き過程を説明し、本研究の対象である光ファイバ素線の線引きの問題を説明した。問題は、生産性の向上のために大径の母材からの高速の線引きに対応すること、ファイバの品質特性を維持するために線引き条件によらず線引き張力を保つこと、生産されるファイバの外径変動を抑制することであった。

つづいて石英系の光ファイバの線引き過程を対象として、本研究で開発した新たな計算モデルと計算手法を説明した。特徴は、線引き過程の力学的、熱的な釣り合いの特徴を考慮して、連続の式および運動量の式を線引き方向の1次元で、エネルギーの式を2次元軸対称で扱うことにある。従来の研究は、細径の母材、低速の線引きを対象とした母材の変形と母材の温度分布が連成しない解析であったのに対して、本手法により大径、高速の線引きを対象として、これらが連成した解析を可能とするともに、計算時間を削減して実用的な計算時間で線引き過程の設計のために多数の線引き条件について検討することを可能にした。またこの手法を用いた数値解析により、線引き過程の力学的、熱的な特徴を把握して説明した。またエネルギー式の次元、慣性力、表面張力、粘性消散がこの過程に与える影響はそれほど大きくないことを示した。

さらに、この計算手法をもちいて、従来の研究では行なわれていなかった石英系の光ファイバの線引きの条件と線引き張力、ネックダウン形状の間の関係を系統的に明らかにし、これらの関係が線引き過程の諸量分布のどのような変化により生じるかを明らかにした。線引きの条件変数としては、線引き装置の設計のために必要な、母材直径、線引き速度、ヒータ温度および長さを取り上げた。この結果、線引き張力が母材直径に対して1次元数的に増加すること、線引き張力は線引き速度にほぼ比例すること、線引き張力はヒータ温度とヒータ長さとは反比例的な関係にあること、線引き条件の差により生じるネックダウン形状の差はヒータ上端付近で最大となること、などを示した。またこれらの線引き条件と紡糸張力、ネックダウン形状の関係を線引き方向の諸量の分布の変化と関連づけて説明した。

さらに石英系光ファイバ線引きの製造上の問題の一つである炉内のガス流れの変動により生じるファイバの外径変動の問題を対象として、ファイバ線引きの非定常な状態を解析する摂動解法による1次元の数値解析の手法を開発し、これをもちいて線引き過程への外乱としてファイバ表面の熱伝達率の変動を与えた解析を行なった。この結果として、この紡糸過程において、ファイバ表面の熱伝達率の変動により生じるファイバの外径変動は熱伝達率の変動の周波数と変動する範囲により3つのモードに分けられることを明らかにし

(氏名：福谷 和久，NO. 2)

た。これらのモードを分ける際の基準となる値は定常状態での母材の変形を表す線引き方向の速度勾配の値と分布であることをしめた。さらに線引きの条件による母材の変形の状況の変化にともなって、これらの3つのモードとなる位置がどのように変化するかを示し、高速の線引きにのためには速度勾配の大きい領域が線引き方向の下流に拡大し、第3の高周波数のモードが卓越することを示した。このため線引きの高速化にあたっては第3のモードの生じる速度勾配の最大位置付近のガス流れの安定性を高める必要があることを解析結果から示唆した。

また短距離の通信用途に使われるプラスチック光ファイバの線引き過程を対象とした数値解析的な検討も行なった。材料はポリメチルメタクリレート (PMMA) であるとして、先行文献の4条件の実験結果とのネックダウン形状の比較により本計算の妥当性を検証し、現在の5倍の線引き速度に対応する加熱炉の設計のためのパラメータスタディを行なった。パラメータはヒータ長さ、ヒータ温度、等価熱伝達率とした。この結果、この線引き過程では線引き張力が線引き速度に対して指数関数的に増加すること、現在の炉寸法では線引き張力を維持することができないことを示した。さらに、その結果として、高速線引き対応の2つの設計点を明らかにした。1つは現行の5倍の長さの炉を備えることであり、1つは現行の空気雰囲気にかえてヘリウム雰囲気で線引きをすることであった。このうちファイバの外径変動の抑制から望ましいのは後者のヘリウム雰囲気の線引きであると予想した。

以上のように本研究は、石英系およびプラスチックの光ファイバの線引き過程について定常および非定常の新たな計算手法を開発するとともに、これをもちいて数値解析的な研究を行い、光ファイバの線引き過程の発展に対して貢献した。

氏名	福谷 和久		
論文 題目	光ファイバ線引き過程の母材熱流動変形の数値解析的研究		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教 授	薄井 洋基
	副 査	教 授	大村 直人
	副 査	教 授	※富山 明男
	副 査	助 教 授	鈴木 洋
	副 査		
要 旨			
本研究は石英系およびプラスチックの光ファイバ素線の線引き過程における母材の熱流動変形について数値解析の手法を用いて研究をおこなったものである。本研究の目的は光ファイバ素線線引き過程において、ファイバの品質を維持しながら、生産性の向上に寄与することにある。 第一章では、研究の導入として光ファイバとそれを用いた通信について概略を解説し、つぎに光ファイバケーブルの製造工程の概要と、そのうちの光ファイバ素線の線引き過程を説明して、本研究の対象である光ファイバ素線の線引きの問題点を指摘している。問題は、生産性の向上のために大径の母材からの高速の線引きに対応すること、ファイバの品質特性を維持するために線引き条件によらず線引き張力を保つこと、生産されるファイバの外径変動を抑制することであることを示した。 第二章では、石英系の光ファイバの線引き過程を対象として、本研究で開発した新たな計算モデルと計算手法について説明している。その特徴は、線引き過程の力学的、熱的な釣合いの特徴を考慮して、連続の式および運動量の式を線引き方向の1次元で、エネルギーの式を2次元軸対称で扱うことにある。従来の研究では、細径の母材、低速の線引きを対象とした母材の変形と母材の温度分布が連成しない解析であったのに対して、本手法により大径、高速の線引きを対象として、これらが連成した解析を可能とするともに、計算時間を削減して実用的な計算時間で線引き過程の設計のために多数の線引き条件について検討することを可能にした。またこの手法を用いた数値解析により、線引き過程の力学的、熱的な特徴を把握した。またエネルギー式の次元、慣性力、表面張力、粘性消散がこの過程に与える影響はそれほど大きくないことを示した。 第三章では、この計算手法をもちいて、従来の研究では行なわれていなかった石英系の光ファイバの線引きの条件と線引き張力、ネックダウン形状の間の関係を系統的に明らかにし、これらの関係が線引き過程の諸量分布のどのような変化により生じるかを明らかにした。線引きの条件変数としては、線引き装置の設計のために必要な、母材直径、線引き速度、ヒータ温度および長さを取り上げた。この結果、線引き張力が母材直径に対して1次元数的に増加すること、線引き張力は線引き速度にほぼ比例すること、線引き張力はヒータ温度とヒータ長さとは反比例的な関係にあること、線引き条件の差により生じるネックダウン形状の差はヒータ上端付近で最大となること、などを示した。またこれらの線引き条件と紡糸張力、ネックダウン形状の関係は断面平均粘性の分布の変化により特徴づけて説明できることを明らかにした。 第四章では、さらに石英系光ファイバ線引きの製造上の問題の一つである炉内のガス流れの変動により生じるファイバの外径変動の問題を対象として、ファイバ線引きの非定常な状態を解析する摂動解法による1次元の数値解析の手法を開発し、これをもちいて線引き過程への外乱としてファイバ表面の熱伝達率の変動を与えた解析を行なった結果について解説し			

氏名	福谷 和久
た。この結果として、この紡糸過程において、ファイバ表面の熱伝達率の変動により生じるファイバの外径変動は熱伝達率の変動の周波数と変動する範囲により3つのモードに分けられることを明らかにした。これらのモードを分ける際の基準となる値は定常状態での母材の変形を表す線引き方向の速度勾配の値と分布であることをしめた。さらに線引きの条件による母材の変形の状況の変化にともなう、これらの3つのモードとなる位置がどのように変化するかを示し、高速の線引きのためには速度勾配の大きい領域が線引き方向の下流に拡大し、第3の高周波数のモードが卓越することを示した。このため線引きの高速化にあたっては第3のモードの生じる速度勾配の最大位置付近のガス流れの安定性を高める必要があることを解析結果から示唆した。 第五章では、短距離の通信用途に使われるプラスチック光ファイバの線引き過程を対象とした数値解析的な検討を行なった。材料はポリメチルメタクリレート (PMMA) であるとして、既報の4条件の実験結果とのネックダウン形状の比較により本計算の妥当性を検証し、現在の5倍の線引き速度に対応する加熱炉の設計のためのパラメータスタディを行なった。パラメータはヒータ長さ、ヒータ温度、等価熱伝達率とした。この結果、この線引き過程では線引き張力が線引き速度に対して指数関数的に増加すること、現在の炉寸法では線引き張力を維持することができないことを示した。さらに、その結果として、高速線引き対応の2つの設計点を明らかにした。1つは現行の5倍の長さの炉を備えることであり、1つは現行の空気雰囲気にかえてヘリウム雰囲気で線引きをすることであった。このうちファイバの外径変動の抑制から望ましいのは後者のヘリウム雰囲気の線引きであると予想した。 第六章では、本研究の結論と今後の課題について示している。 以上のように本論文は、技術的に重要な石英系およびプラスチックの光ファイバの線引き過程について、定常および非定常の新たな計算手法を提案した有意義な研究であって、これを用いた数値解析による検討結果は、光ファイバの線引き工程の最適設計に対して大いに貢献するものであり、価値ある研究成果の集積であると認められる。よって学位申請者の福谷和久は、博士(工学)の学位を得る資格があると認める。	