

平成 26 年 6 月 14 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22560335

研究課題名(和文)ファイバヒューズ現象を用いた新規光加工基盤技術および安全基準の確立に向けた研究

研究課題名(英文) Study on optical fiber fuse for applying new processing technology and for clarifying safety

研究代表者

山田 誠 (YAMADA, Makoto)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10508401

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：近年、WDM光ファイバ伝送システムの多チャンネル化、分布ラマン増幅技術の導入等により光ファイバ内の光強度が著しく増加し、ファイバヒューズの発生とそれに伴う光ファイバ損傷が強く懸念されている。本研究では以下の2項目に関して検討した。

高強度化が進む光ファイバ通信分野の従事者に対して、FF発生時の光散乱特性を測定して、作業中或いはシステム運用中の安全性を確保することを目的に、従来見落とされていた安全性の側面から同現象を検討した。従来、回避・抑圧することを強く望まれていたFFを用いた新規デバイスの作成法及び新規デバイスの実現の可能性を探索した。

研究成果の概要(英文)：Recently the optical power in optical fiber is being increased to achieve an efficient transmission network by increasing the optical signal channel number by using a high power optical fiber amplifier and Raman amplification. This has led to increased concern about the damage caused by the fiber fuse (FF) phenomenon, which can occur in single mode optical fiber delivering a high optical power of over a few watts. In this research, I study the following two items. 1) To reveal the safety about the scattered light by FF, for the person who work in the fiber-optic-communications field. 2) To find out the application of the fiber which has the damage by FF.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：光ファイバヒューズ

1. 研究開始当初の背景

光ファイバ通信分野では、光出力が数 W を有する高出力光ファイバ増幅器を用いた多分岐映像分配システムや、伝送ファイバに伝送信号と共に高強度の励起光を入射して信号光を増幅（ラマン増幅）する基幹伝送システムの導入が開始され、光ファイバヒューズ（FF）による光ファイバ・コアの破壊が懸念されるため、同現象の回避や抑圧が課題であった。これまで、同現象の発生メカニズムが解明され始めると共に、高出力光ファイバ増幅器では構成部品を高強度光対応品に変更する、ラマン増幅を用いた伝送システムでは伝送用光ファイバへの入射光強度を 500mW 以下に制限する等で FF の回避・抑圧を行っている。また、このような技術的背景により、国際標準機関である ITU-T あるいは国内規格の JIS において、同現象の抑圧に関する標準文書が整備されはじめていた。しかしながら、これまで同現象の発生時に外部に放出される散乱光に関しての正確な測定等による安全性に関する研究と、同現象を積極的に応用しようという研究は無かった。

2. 研究の目的

本研究の主な目的は以下の 2 項目である。
 ①従来見落とされていた安全性の側面から同現象を捉える。高強度化が進む光ファイバ通信分野の従事者に対して、FF 発生時の光散乱特性を測定して、作業中或いはシステム運用中の安全性を確保することは重要である。
 ②従来、回避・抑圧することを強く望まれていた FF を制御して積極的に利用することに挑戦するものである。これまで、FF は光ファイバに入射する光強度を調整することで、周期的な空孔形成が行えることが報告されていた。この周期性を利用することで、安価で且つ容易にガラス/空気(空孔)という高い屈折率差を有するグレーティング構造の作製が可能となる。このことから、FF を用いた新規デバイスの作成法及び新規デバイスの実現の可能性を探索する。

3. 研究の方法

①安全性に関する検討
 安全性を考慮する事項として、FF が形成された光ファイバからの散乱、FF 形成中の散乱と FF の的確な検出と確実な停止である。以下に具体的な研究方法を記述する。
 (1)FF が形成された光ファイバからの散乱に関する安全性
 FF が形成された光ファイバに高強度光を入射し、その散乱特性を観測する。また、光安全の観点より同散乱の安全性に関して評価する。
 (2)FF 形成中の散乱に関する安全性
 FF 形成中の高強度光の散乱特性を評価し安全上の考察を行う。
 (3)FF の検出及び停止装置の開発

FF 現象を詳細に検討し、同検討結果より、確実に FF の発生を検出し、的確に停止できる新規の FF 検知・停止装置を提案、実証する。

②新規加工技術及びデバイスに関する研究
 新規加工の指針を得るために、FF が発生した光ファイバに形成される周期的な空孔周期のコントロールを実現する。また本検討等を踏まえて新規応用デバイスの検討を行う。

4. 研究成果

①安全性に関する検討
 (1)FF が形成された光ファイバからの散乱に関する安全性
 一部に FF によって形成された空孔が存在する光ファイバに再度、高強度光が入射すると、空孔の先端で大きく散乱され、その散乱角度は～160 度（光が入射するファイバ軸を零度とした場合）であることが分かった(図 1 参照)。

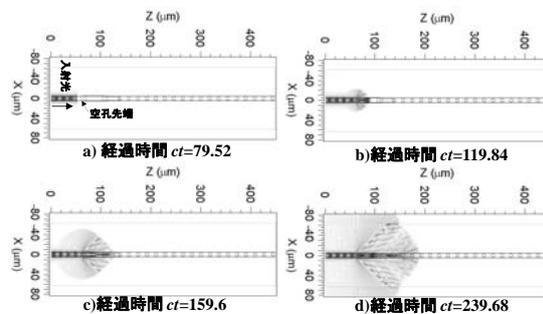


図 1 一部に FF によって形成された空孔が存在する光ファイバの光散乱のシミュレーション結果

また、光ファイバに入射する光強度と散乱される最大散乱光量の関係性を評価し、光ファイバの被覆が散乱光を通しやすい素材である UV コート(透明)の光ファイバにおいても最大の散乱光量は、光ファイバに入射される入射光量が数 W 程度であればレーザー製品安全基準に基づき散乱光の放出限界レベル(AEL)上、クラス 1M として取り扱うことが可能であることが判明した(図 2)。

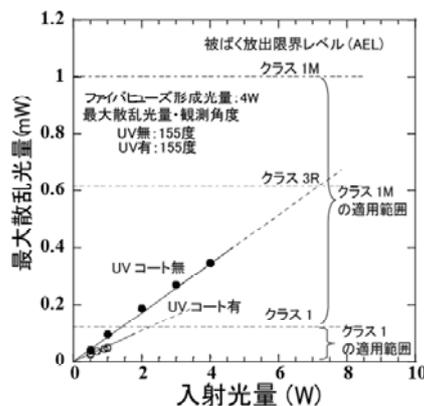


図 2 最大散乱光量と入射光量の関係

さらに、散乱される光による光ファイバの温度上昇に関して調査した。光ファイバは被

覆で保護されている。一般に使われる素材は UV 樹脂、ナイロンや難燃性が求められる応用では PVC、FRPE が用いられる。図 3 にサーモカメラで観測した一例を示す。被覆材は FRPE で光ファイバへの入射光量は 3W である。空孔先端の光散乱によりファイバ温度が 250 度以上になっていることが分かる。

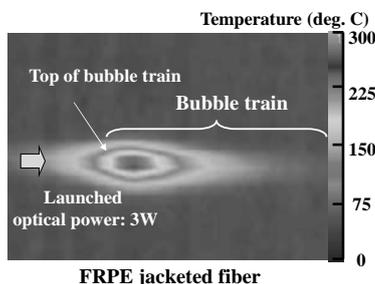


図 3 散乱光による光ファイバの加熱例(被覆: FRPE)

評価した全ての被覆材で加熱 100 度以上の高温に加熱され火傷等の危険性を有することが判明した。さらに入射する光強度が増加すると最終的には光ファイバ被覆が燃焼し火災の危険があることを明らかにした(図 4 参照)。

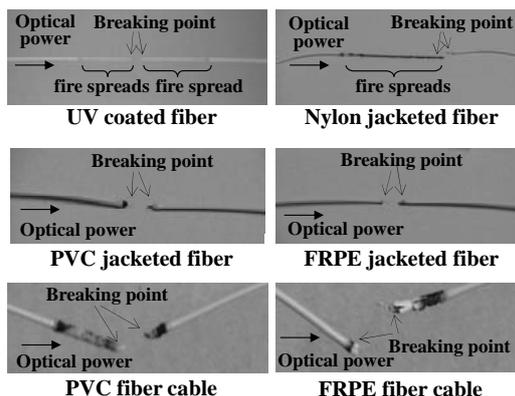


図 4 散乱光による光ファイバ被覆の燃焼及び破断

(2)FF 形成中の散乱に関する安全性

FF 発生中に、空孔形成中の空孔形成部から散乱される FF 形成光の放射パターン特性を測定した。図 5 に散乱パターンを示す。

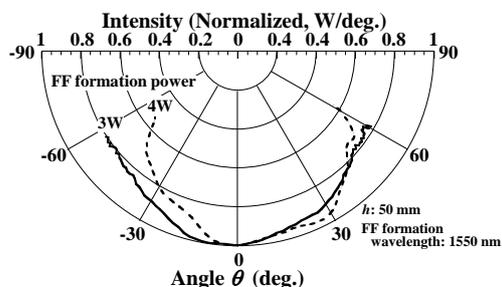


図 5 FF 形成光の放射パターン特性

図に示すように散乱光は指向性が低い特性を有することが判明し、レーザー安全に関する検討では分散光源と見なせることが分かった。また、レーザー製品安全基準で規定される

各クラスの被ばく放出限界レベル(AEL)に関して検討を行い、FF 形成光量が数 W 程度であれば、クラス 1 の管理レベルであることが分かった。

(3)FF の検出及び停止装置の開発

FF 発生時にレーザー光源に向かって進む特有の発光(可視光)を生ずる。同発光をモニタすることで、確実に FF の発生を検出し、的確に停止できる新規の FF 検出・停止装置を提案、設計、作製をして、その動作を確認した。以下に提案した検出・停止装置の構成と動作確認結果を記載する。

[装置概要]: 図 1 に本装置の構成を示す。本装置は、光ファイバの側面に FF 発生時に高強度光源に向かって進む特有の発光(可視光)をモニタする Si 系 PD を配置する。FF の停止は、Si 系 PD の出力をラッチング機能付き判別回路に入力し、その判別結果により、FF を引き起こしている高強度光源のインターロックを制御することで確実に停止する構成である(図 6 参照)。

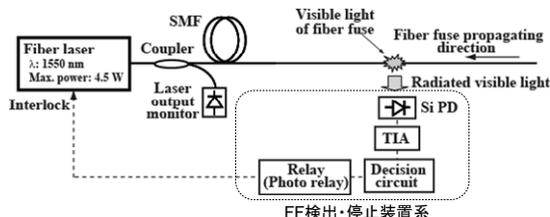


図 6 新規提案の FF 検出及び停止装置

[動作確認結果]: 本装置を用いて光 FF を検出後、16.36 msec 後にレーザー光源出力を確実に停止できることが確認できた。光ファイバヒューズの伝搬速度は $\sim 0.5\text{m/sec}$ であり、本検討では検出してから 8.18mm で FF を確実に停止できることも合わせて確認できた。なお、停止速度は、インターロック制御で使ったリレーの応答速度に起因しており、高速応答性を有するリレー回路を利用することで一層の高速化が可能であることも合わせて判明した。

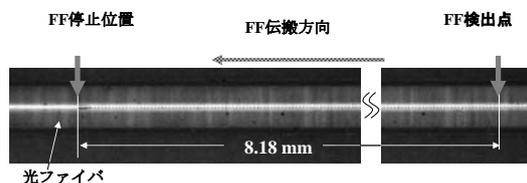


図 6 FF 検出及び停止例(FF 形成光量 4W)

②新規加工技術及びデバイスに関する研究

光ファイバに入射する光強度を調整することで、FF によって形成される空孔の周期が変化できることを確認した。本研究では当初この周期構造を適用することで検討を開始したが、前記の FF が形成された光ファイバからの散乱特性が、光ファイバを用いた光信号を空間に配信する光信号分配器になるのではないかと観点から、本検討を研究期間中に進めた。図 6 に評価系、図 7 に評価結果

を示す。

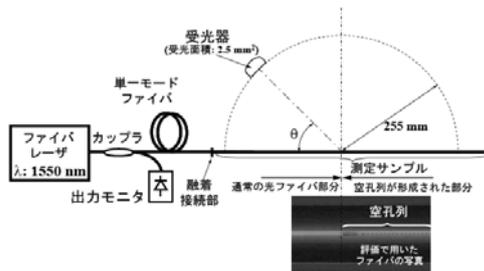


図 6 FF 形成部からの散乱特性評価系

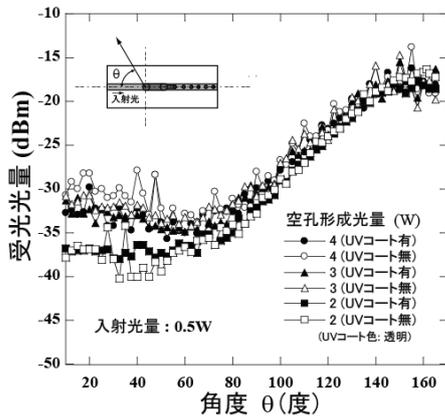


図 7 FF 形成部からの散乱特性

図 7 に示すように、FF が形成された光ファイバからは指向性の低い散乱光が光ファイバから空間に放出されることから、光信号の配信用デバイスと使える可能性が判明した。また、この放射特性は FF 形成光量に依存しないということも明らかになった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

①M. Yamada, A. Tomoe and H. Takara
“Light scattering characteristics of a hole formed by a fiber fuse”, 査読有,
Electron. Lett., Vol. 48, No. 9,
pp. 519-520, 2012

DOI: 10.1049/el.2012.0409

②M. Yamada, A. Tomoe, T. Kinoshita,
O. Koyama, K. Katsuyama and T. Shibuya,
“Heating and burning of optical fibers and
cables by light scattered from bubble train
formed by optical fiber fuse”,
査読有, IEICE Trans. Commun., Vol. E95-B,
No.8, pp. 2638-2641, 2012

DOI:10.1587/transcom.E95.B.2638

③山田誠, 木下貴博, 巴亮清, 渋谷隆, “光ファイバヒューズによって形成された空孔からの光散乱特性”, 査読有, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J95-B, No.11, 2012

[学会発表] (計 9 件)

①M. Yamada, O. Koyama, Y. Katsuyama,
and T. Shibuya, “Heating and burning of

optical fiber by light scattered from bubble train formed by optical fiber fuse”, 査読有, OFC(Optical Fiber Communication Conference)'11, paper JThA1, Los Angeles, California, USA

②山田誠, 小山長規, 勝山豊, 渋谷隆,
“ファイバヒューズによって形成された空孔からの光散乱によるファイバの加熱及び燃焼”, 査読無, 2011 年電子情報通信学会総合大会講演論文 CD, B-13-5

③巴亮清, 小山長規, 山田誠, 勝山豊
“ファイバヒューズによって形成された空孔からの光散乱特性”, 査読無,
平成 23 年電気関係学会関西支部連合大会講演論文 CD, 30P1-9, 2011

④木下貴博, 小山長規, 山田誠, 勝山豊
“FDTD 法を用いたファイバヒューズによって形成された空孔からの光散乱特性解析”, 査読無, 電子情報通信学会関西支部 第 17 回学生会研究発表講演会, 講演論文集, B5-2, 2012

⑤木下貴博, 巴亮清, 山田誠, 佐藤典彦,
“光ファイバヒューズ検知および停止法”, 査読無, 平成 24 年電気関係学会関西支部連合大会, 講演論文集, 8amD-22, 2012

⑥木下貴博, 太田和哉, 佐藤典彦,
小山長規, 山田誠, “光ファイバヒューズ・可視光発光特性及び検知・停止装置”, 査読無, 平成 25 年電気関係学会関西支部連合大会 講演論文集, P-7, 2013

⑦木村祐輝, 木下貴博, 佐藤典彦,
小山長規, 山田誠, “光ファイバヒューズ形成時の光散乱特性”, 査読無, 電子情報通信学会関西支部学生会第 19 回学生会研究発表講演会 講演論文集, B3-2, 2014

⑧T. Kinoshita, N. Sato and M. Yamada,
“Detection and Termination System for Optical Fiber Fuse”, 査読有,
OECC(OptoElectronics and Communications Conference)'13, paper WS4-6, Kyoto, Japan, 2013

⑨M. Yamada, T. Kinoshita, Y. Kimura
O. Koyama and N. Sato, “ Scattering Characteristic of Light Generating an Optical Fiber Fuse”, 査読有,
OECC(OptoElectronics and Communications Conference)'14, paper TU3D, Melbourne, Australia, 2014

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: ファイバヒューズ伝搬阻止方法

発明者: 山田誠

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2010-281559 号

出願年月日: 2010 年 12 月 17 日

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等

<http://www.eis.osakafu-u.ac.jp/~ph/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 誠 (YAMADA Makoto)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：10508401