

## ファイバフューズ現象と その回避技術

轟 眞市      光材料センター/NIMS

Slide 1

内容

ファイバフューズ現象とその回避技術

なりたち

光が走るからくりは？

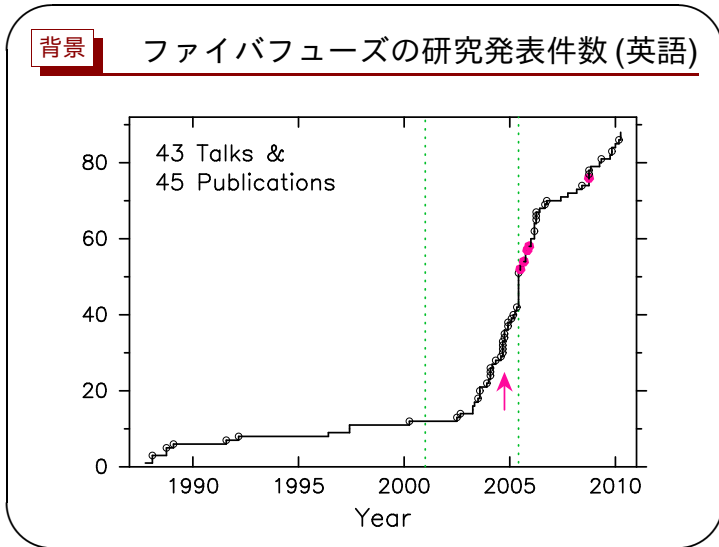
ふるまい

どんな影響を及ぼすのか？

なすすべ

どう回避するのか？

Slide 3



Slide 2

なりたち

光が走るからくりは？

進行方向

なぜ光源に向かって遡るのか？

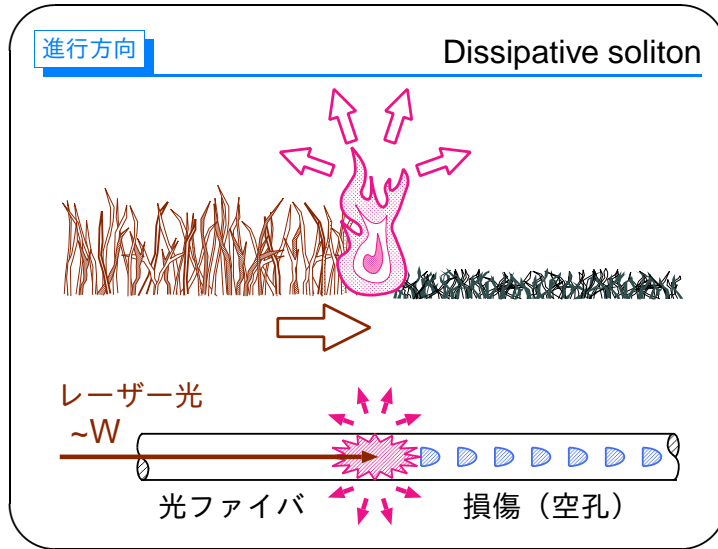
光熱変換

なぜ透明なガラスが光を吸収するのか？

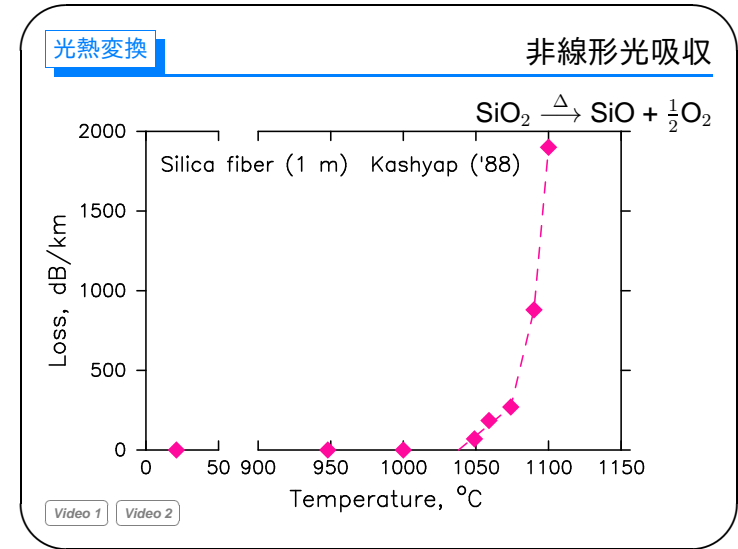
伝搬速度

なぜゆっくり進むのか？

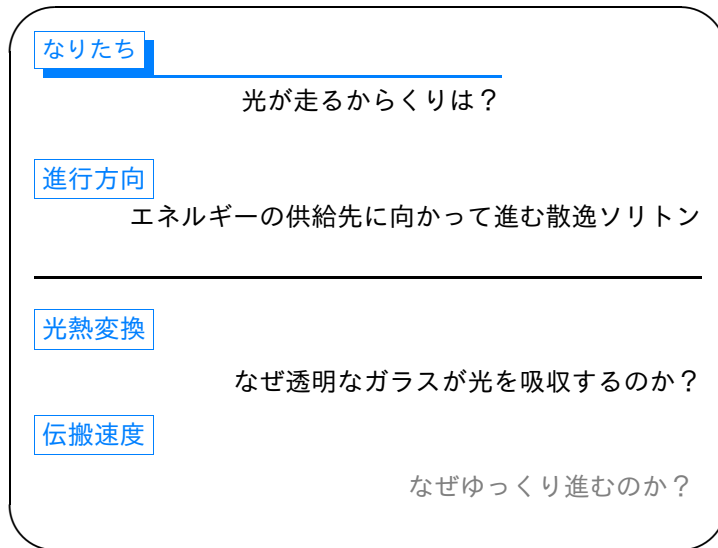
Slide 4



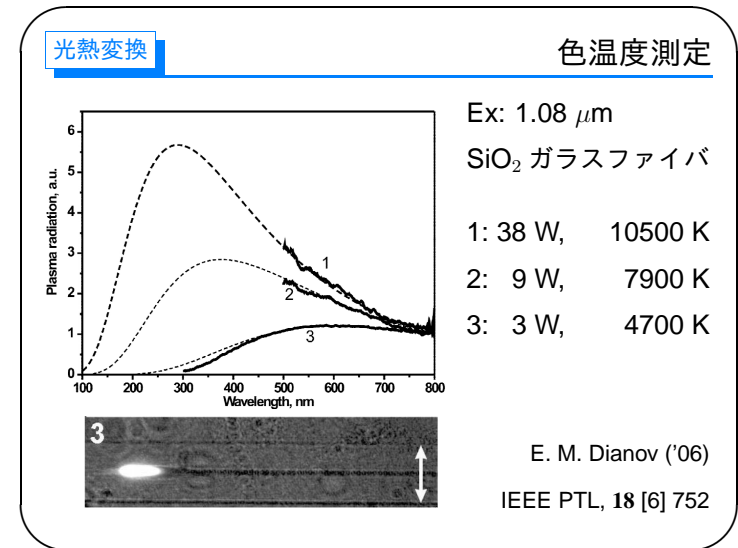
Slide 5



Slide 7



Slide 6



Slide 8

**なりたち**

光が走るからくりは？

**進行方向**  
エネルギーの供給先に向かって進む散逸ソリトン

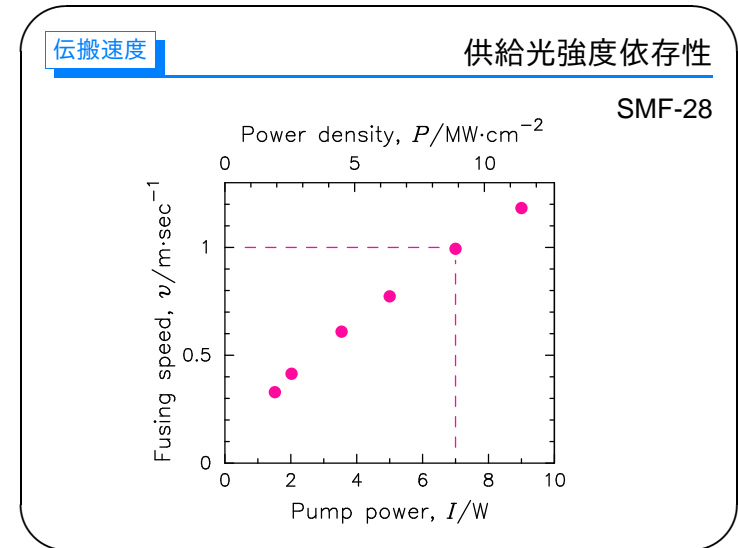
**光熱変換**  
1000 °Cを越えれば、生成した化学種が光を吸収

---

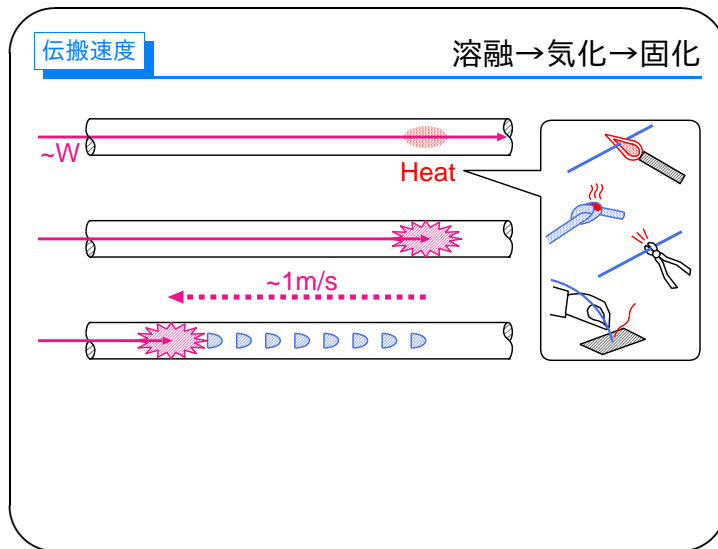
**伝搬速度**

なぜゆっくり進むのか？

Slide 9



Slide 11



Slide 10

**なりたち**

光が走るからくりは？

**進行方向**  
エネルギーの供給先に向かって進む散逸ソリトン

**光熱変換**  
1000 °Cを越えれば、生成した化学種が光を吸収

**伝搬速度**  
コア領域のガラスを溶融・気化・冷却固化して進む

Slide 12

**内容**

ファイバフューズ現象とその回避技術

**なりたち**

野焼きの炎の如く、伝搬光を消費して進む散逸ソリトン

---

**ふるまい**

どんな影響を及ぼすのか？

---

**なすすべ**

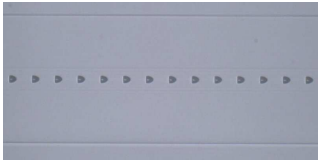
どう回避するのか？

Slide 13

**損傷形状**

**フューズ通過前後の変化**

シリカガラスファイバ:



- 空孔中に O<sub>2</sub> ガス  
 ⇐ 顕微 Raman (Kashyap '88)
- 高密度化  
 ⇐ 屈折率上昇 (Dianov '92)     $\Delta n_{\max} \sim 0.012$

$$\text{SiO}_2 \xrightarrow{\Delta} \text{SiO} + \frac{1}{2}\text{O}_2$$

Slide 15

**ふるまい**

どんな影響を及ぼすのか？

**損傷形状**

プラズマが通った後には何が残されているのか？

**超高速撮影**

その場撮影で何が分かったのか？

**周期性の起源**

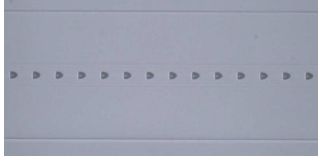
なぜ空孔は弾丸の形になるのか？

Slide 14

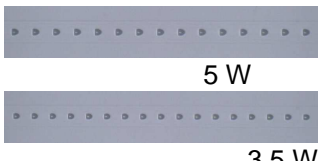
**損傷形状**

**供給光強度依存性**

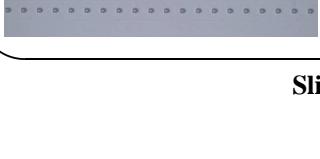
9 W




7 W: 20 μm 間隔



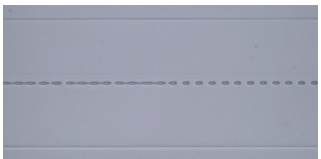
5 W



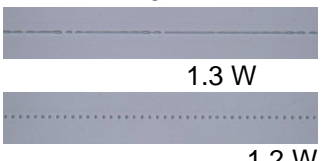
3.5 W



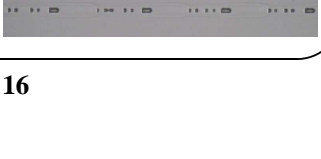
2 W




1.5 W



1.3 W



1.2 W



Slide 16

**ふるまい**  
 どんな影響を及ぼすのか？

**損傷形状**  
 弾丸の形をした周期的空孔列。周期性を失う場合も有

---

**超高速撮影**  
 その場撮影で何が分かったのか？

**周期性の起源**  
 なぜ空孔は弾丸の形になるのか？

Slide 17

**超高速撮影** 尾の存在が周期性の起源

Slide 19

**超高速撮影** 超高速ビデオカメラ

- 4  $\mu$  秒 / コマ
- 露光 1  $\mu$  秒 + ND フィルタ ( $\times 16$ )
- 128 $\times$ 16 pixels
- 検出波長域: 380–790nm 撮影協力: フォトロン (株)



(2004年撮影時)

Slide 18

**超高速撮影** 空孔生成中も等速移動

• 20  $\mu$ s 毎に 1 個生成

Slide 20

**ふるまい**  
 どのような影響を及ぼすのか？

**損傷形状**  
 弾丸の形をした周期的空孔列。周期性を失う場合も有

**超高速撮影**  
 空孔1個を生成する間も等速運動をしている

---

**周期性の起源**  
 なぜ空孔は弾丸の形になるのか？

Slide 21

**周期性の起源** **試料作製**

Fiber Laser 1480nm  
 SMF-28  
 Power  
 Position  
 7W

Slide 23

**周期性の起源** **2枚の顕微鏡像からひらめき**

Slide 22

**周期性の起源** **空孔生成の考古学**

7W  
 (1) (a) (4)  
 (2) (b) (5)  
 (3) (c) (6)  
 Temperature  
 Viscosity  
 Distance from the top  
 Video 3

Slide 24

**ふるまい**

どんな影響を及ぼすのか？

**損傷形状**

弾丸の形をした周期的空孔列。周期性を失う場合も有

**超高速撮影**

空孔1個を生成する間も等速運動をしている

**周期性の起源**

プラズマの不安定性が尻尾の切断と圧縮を繰り返す

Slide 25

**なすすべ**

どう回避するのか？

**延焼阻止**

発生したフューズを止めるには？

**初期消火**

フューズの発生を検知するには？

**事前防止**

過剰光入力を遮断するには？

Slide 27

**内容**

ファイバフューズ現象とその回避技術

**なりたち**

野焼きの炎の如く、伝搬光を消費して進む散逸ソリトン

**ふるまい**

周期的空孔列の発生が光ファイバをゴミと化す

---

**なすすべ**

どう回避するのか？

Slide 26

**延焼阻止** プラズマ伝播の安定性を奪って停止

光源

デバイス

モードフィールド拡大型  
Hand ('89) => 柳 ('03)

脱圧(?)型  
竹永 ('08)

Slide 28

**なすすべ** どう回避するのか？

**延焼阻止** プラズマが維持できない区間を挿入するデバイス

---

**初期消火** フューズの発生を検知するには？

**事前防止** 過剰光入力を遮断するには？

Slide 29

**なすすべ** どう回避するのか？

**延焼阻止** プラズマが維持できない区間を挿入するデバイス

**初期消火** 戻り光に含まれるフューズ特有の周波数成分を検知

---

**事前防止** 過剰光入力を遮断するには？

Slide 31

**初期消火** 戻り光を電気信号化して解析

- 強度上昇
- 空孔列からの反射、 $f_c = \nu/p$
- ドップラーシフト、 $f_D = 2n\nu/\lambda$

Abedin ('09)  
Opt. Let., 34 [20] 3157

Slide 30

**事前防止** 望ましい動作特性と開発された商品

Dynamic Attenuator - Preliminary  
molex KiloLambda

Slide 32

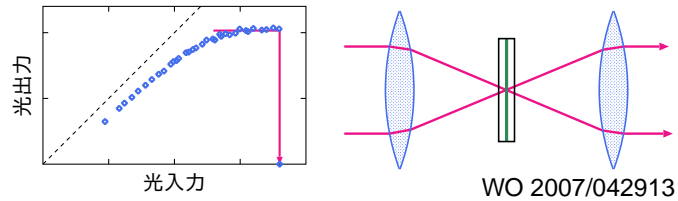


## 事前防止

## 特許明細書記載の原理

- 光吸収性ナノ粒子分散膜

⇒ 熱誘起光散乱



Slide 33

## 結論

## ファイバフューズ現象とその回避技術

## なりたち

野焼きの炎の如く、伝搬光を消費して進む散逸ソリトン

## ふるまい

周期的空孔列の発生が光ファイバをゴミと化す

## なすすべ

対症療法は確立。光ファイバ自体の耐フューズ性、要向上

Slide 35

## なすすべ

どう回避するのか？

## 延焼阻止

プラズマが維持できない区間を挿入するデバイス

## 初期消火

戻り光に含まれるフューズ特有の周波数成分を検知

## 事前防止


熱誘起光散乱を利用した光リミッタが実用化

Slide 34

## 参考情報

## OITDA 規格技術資料

- 光増幅器標準化委員会：“光増幅器—光ファイバフューズに関する一般情報” (2010年3月).  
<http://www.oitda.or.jp/main/st/TP-j.html>

(財) 光産業技術振興協会   
Optoelectronic Industry and Technology  
Development Association

Slide 36