

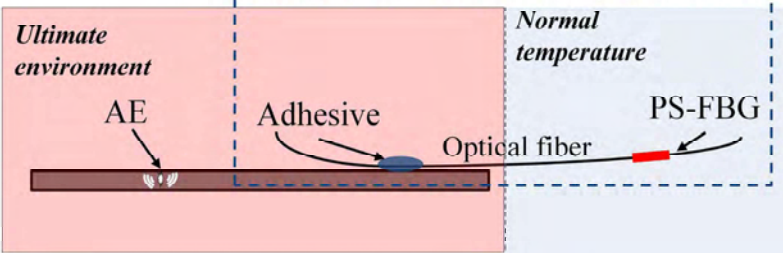
# 極限環境下における構造材のAE計測のための 光ファイバセンサ設置法

## 研究の背景

航空機用エンジン等の高性能化を図るため、高耐熱性・高靱性・軽量性を持つセラミックス基複合材料(CMC)を構造材料として用いることが期待されている。しかし、CMCの超高温環境への実応用を進めるには、その破壊挙動を把握する必要がある。そこで、**高温実環境**においてCMCの**損傷進展挙動**を実験的に評価する手段として、非破壊検査法の1種である**アコースティックエミッション(AE)法**が注目されている。

## 遠隔AE計測法

Adhesive method for remote AE measurement (ADRM)



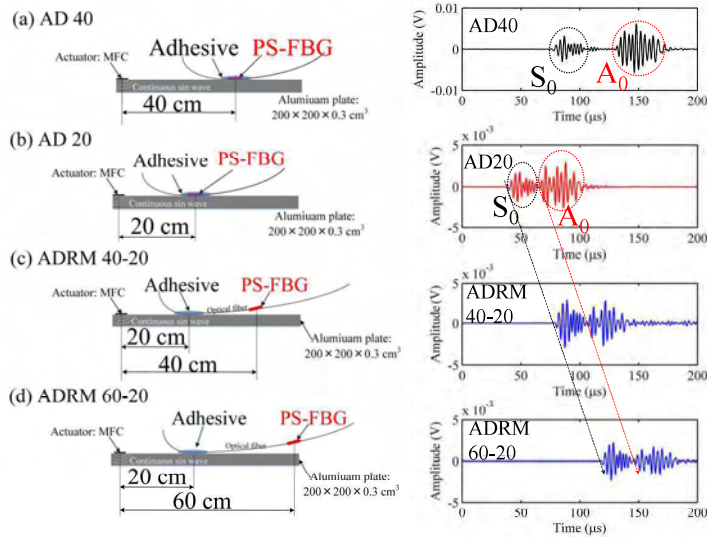
本研究室では、高感度・広帯域応答の**光ファイバ位相シフトFBG (PS-FBG)**で超音波を計測することに成功している。

光ファイバは石英ガラス製で耐熱性に優れており、高温環境でのAE計測に適用可能である。

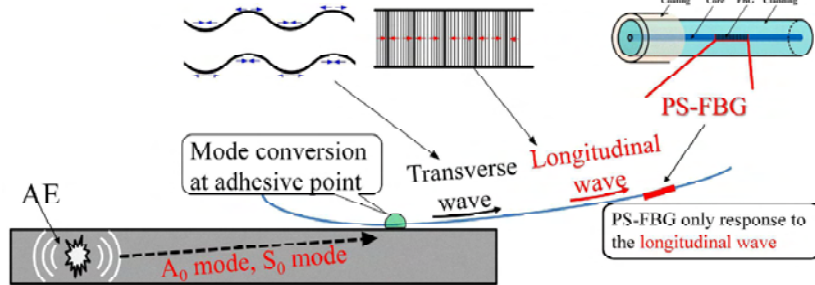
そこで本研究では、光ファイバの一点を高温下に設置し、その光ファイバに沿ってAE波を伝播させ、常温環境に配置したPS-FBGで受信するという**遠隔AE計測法**を提案する。

## 遠隔AE計測法におけるAE波伝搬挙動

実験結果:

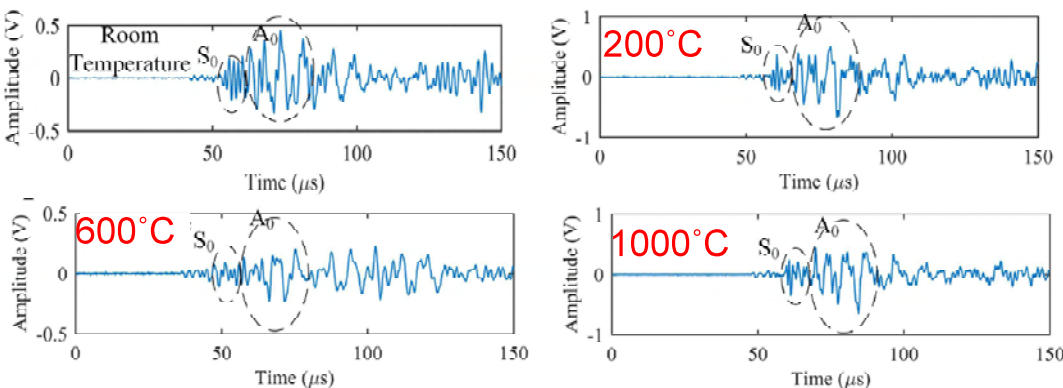


数値解析に基づく検証:



アルミ板を伝わってきた $S_0$ モードと $A_0$ モードは、接着点で光ファイバに伝わる際に、糸状の光ファイバを伝わる純粋な縦波と横波に変換されて伝播する。さらに、**PS-FBGセンサ**で受信しているモードは**純粋な縦波のみ**である。そのため、接着点での $S_0$ モードと $A_0$ モードを含むAE波は、**その波形を保ったまま**同じ速度の縦波としてPS-FBGセンサまで届くので、遠隔でも正確にAE波形を計測できる。

## 高温環境下でのAE計測



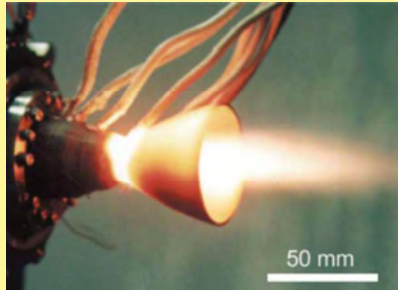
PSFBGセンサを用いる遠隔AE計測法によって、**1000°Cの高温環境下でも安定したAE計測が実現できた**

# 光ファイバセンシング技術を用いた高温環境でのレーザ超音波計測法

## 研究背景

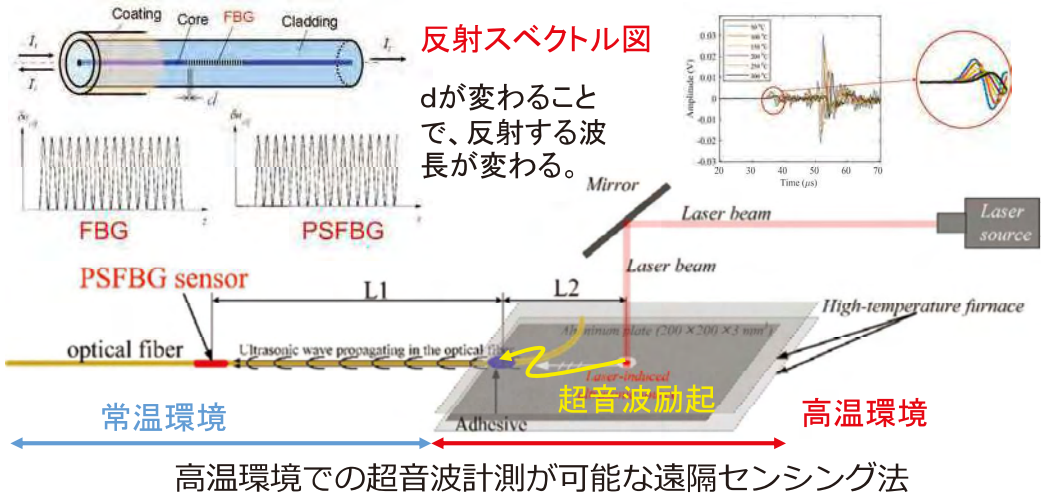
航空機のエンジン部、ロケットのノズル、火力発電のガスタービン等への適用が進む軽量耐熱複合材料構造を対象として、その健全性を高温環境下で簡便に診断するための、光ファイバ超音波センサとレーザ超音波を用いた非破壊検査技術に関する研究を進めています。

## 軽量耐熱複合材料構造



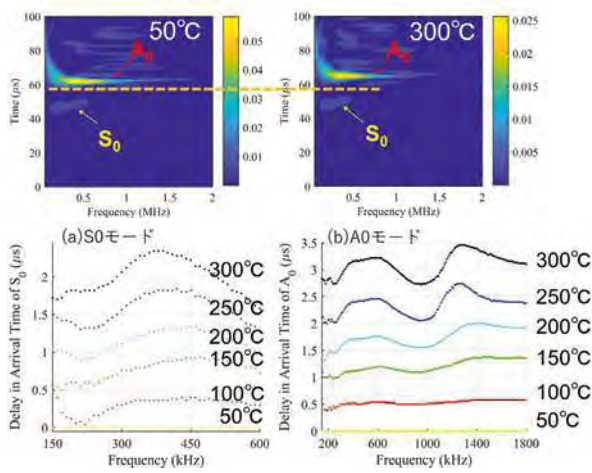
CFRP製補強パネル供試体

## 光ファイバ超音波センサによる高温遠隔計測



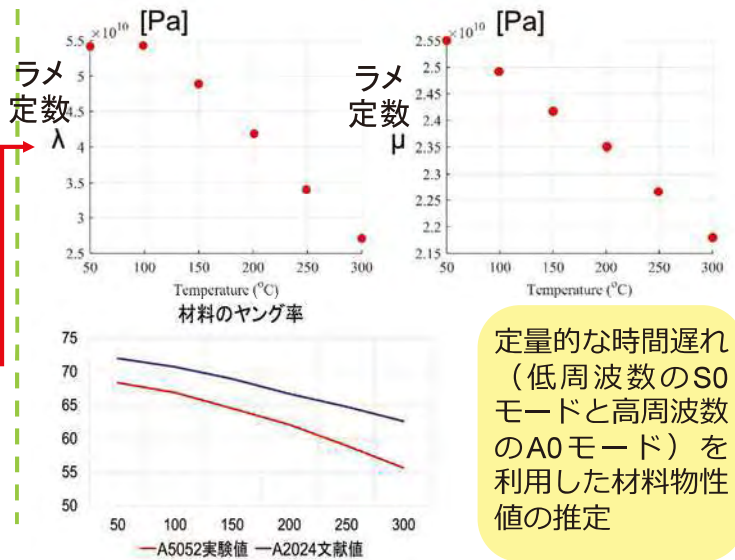
高温環境での超音波計測が可能な遠隔センシング法

## 観測データのウェーブレット変換



相互相関関数により、波の到着時間差計算

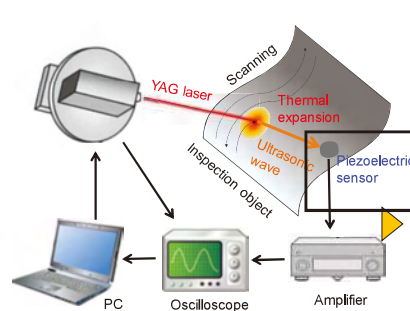
温度上昇に伴い、遅延が確認された



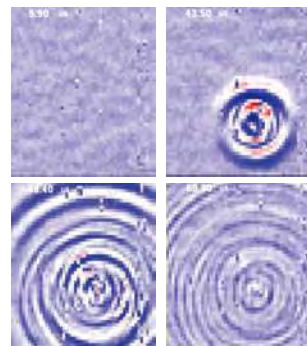
定量的な時間遅れ（低周波数のS0モードと高周波数のA0モード）を利用した材料物性値の推定

温度上昇によりヤング率が減少する傾向が見られた

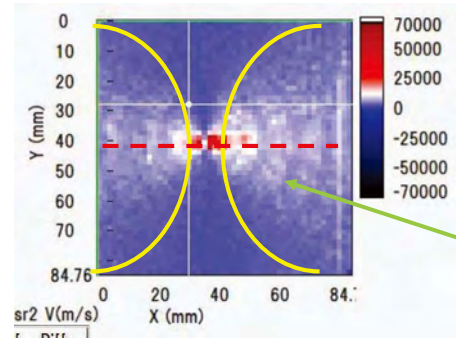
## レーザ超音波による複合材の非破壊検査



光ファイバセンサに置き換えることで1000°Cまでの計測も可能となる。



超音波伝播挙動の可視化



250°Cでの可視化を確認

レーザ超音波可視化検査装置 (LUVI-CP, つくばテクノロジー (株))

## 将来の課題

・1000°Cまでの高温実験

・材料物性値の推定の高精度化



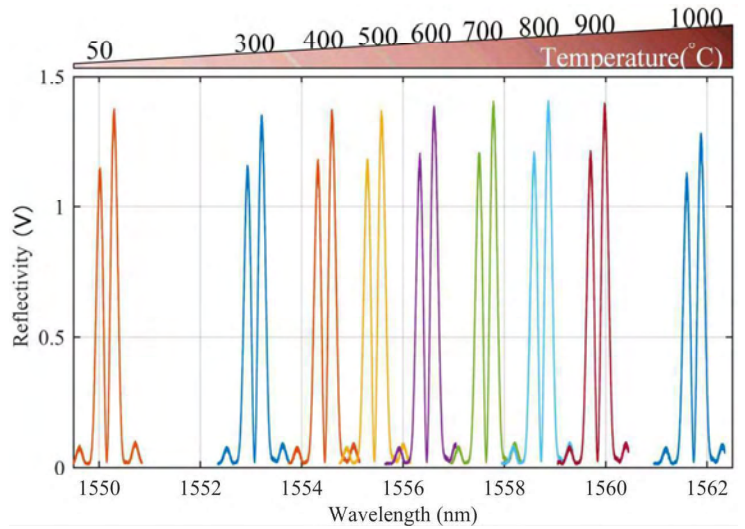
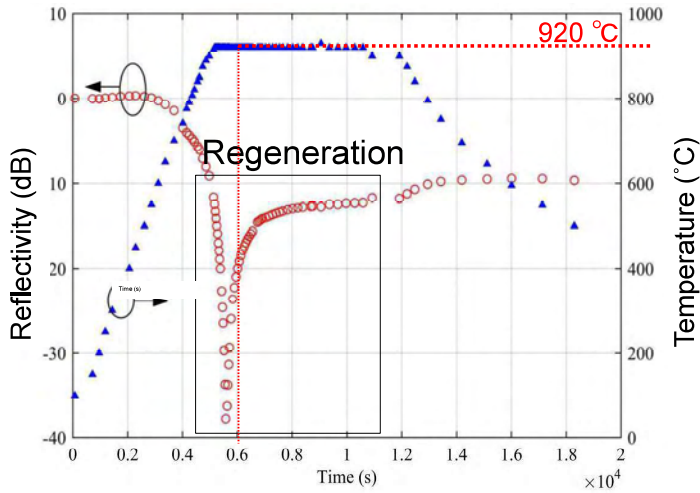
# 光ファイバ再生FBGセンサを用いた 1000°Cの高温環境下での超音波計測法

## 研究目的

FBGは、熱エネルギーによって消失してしまうため、FBGセンサを高温環境に設置することができない。しかし近年、900 °C以上の高温でアニーリングを行うことで、一度消失したFBGを再生できることが報告されている。このアニーリングによって得られたFBGは再生FBG (Regenerated FBG: RFBG)と呼ばれる。RFBGは、1000 °C までの耐熱性を有することが分かっている。

そこで、本研究では、高温環境での超音波計測にRFBGセンサを適用することを試みる。

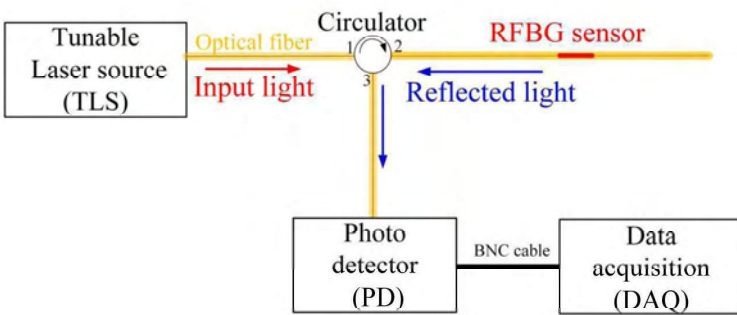
## RFBGの形成と耐熱性



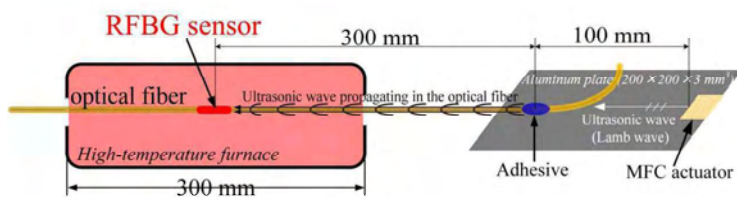
PSFBGに対してアニーリングを行うことで、1000°Cまでの耐熱性に優れる再生FBG (Regenerated FBG: RFBG)を形成することに成功した。

## 高温用RFBG超音波センサを用いた超音波計測

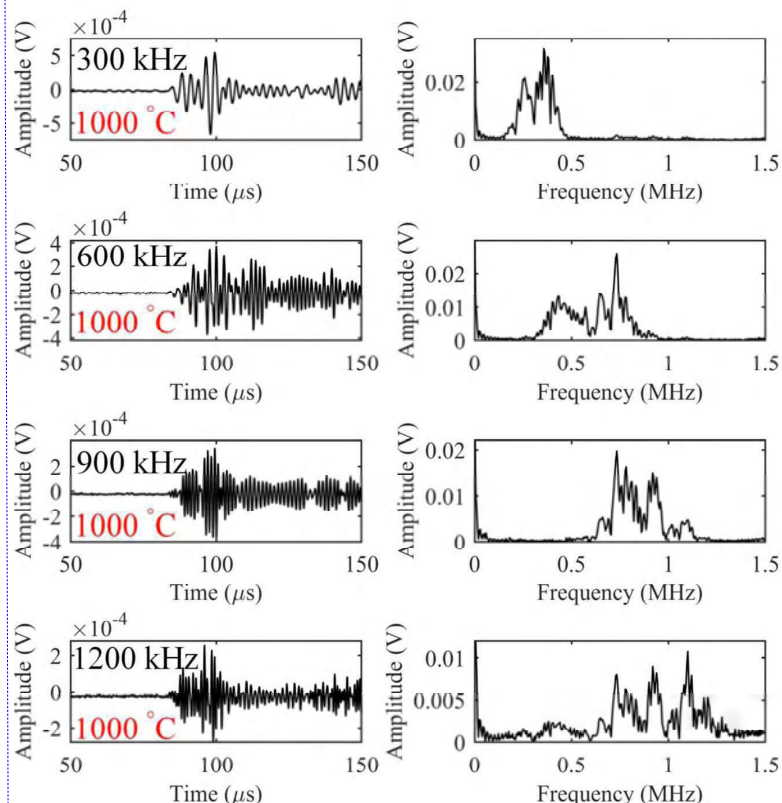
### RFBG超音波センシングシステムの構築



### 高温超音波計測実験のセットアップ



### 1000°Cの温度環境における計測結果



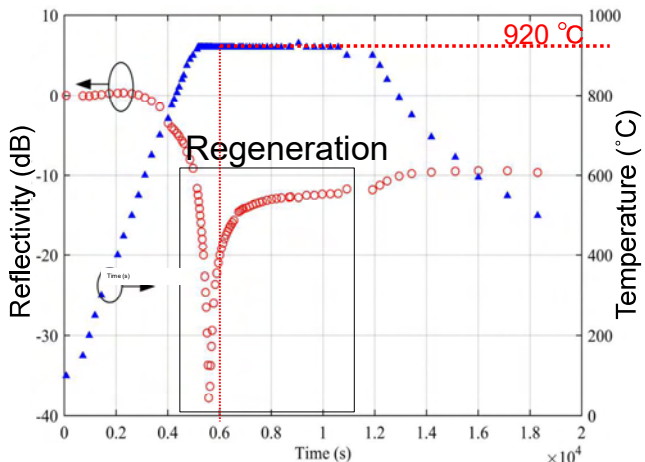
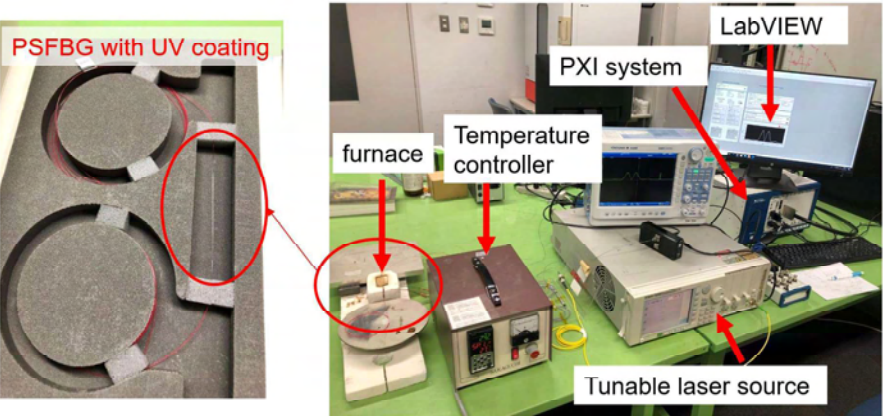
RFBGセンサを直接1000°Cの高温環境に設置し、その温度環境での超音波を計測することに成功した。

# High-temperature ultrasonic visualization based on regenerated phase-shifted fiber Bragg grating sensors

## Research Purpose

Phase-shifted fiber Bragg grating (PSFBG) sensors, which are a kind of optical fiber sensors, have a high potential for ultrasonic measurements in structural health monitoring (SHM). However, the diffraction gratings of the PSFBGs disappear while heated over 600°C, thus impeding their applications in high-temperature environments. To solve the issue, we proposed a novel fiber-optic sensing system with a regenerated PSFBG (RPSFBG) fabricated by annealing the conventional PSFBG at a high temperature of 920°C. In this research, taking advantage of the heat resistance of RPSFBG, we succeeded in a laser ultrasonic visualization with the RPSFBG at a temperature as high as 800°C.

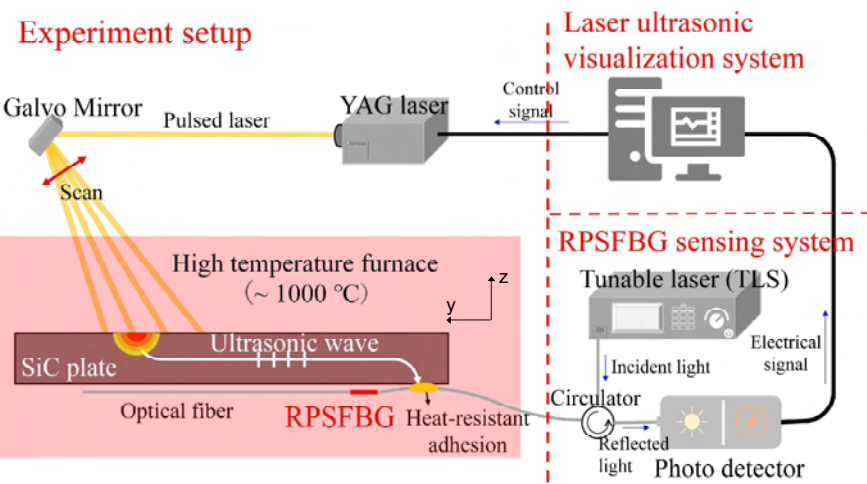
## Formation of RPSFBG



During the annealing process, the seed grating once disappears completely, and then a new grating is regenerated again, which has an excellent heat-resistance property.

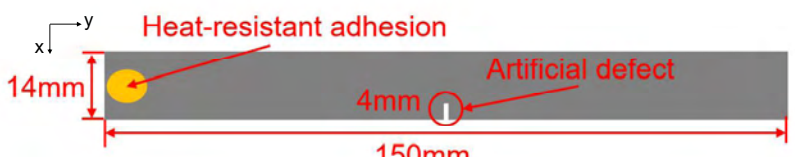
## Laser Ultrasonic Visualization based on RPSFBG at 800°C

Schematic of experiment setup

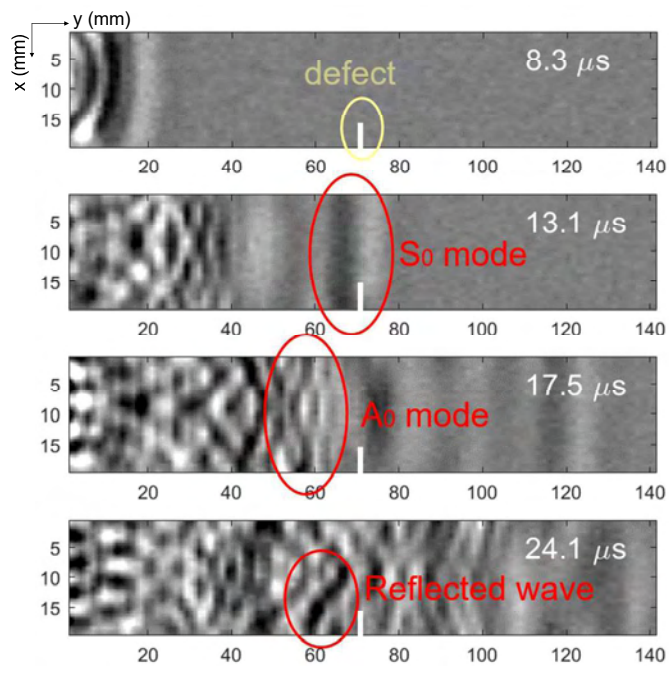


The RPSFBG glued on a SiC plate is placed inside the high temperature furnace.

SiC plate specimen



Visualization results at 800 °C



This system successfully visualizes a laser ultrasonic wavefield at high temperatures up to 800°C.