ISSN 0452-2982
UDC 620.168.3
620.172.2
620.172.251.2

航空宇宙技術研究所資料

TECHNICAL MEMORANDUM OF NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

TM-652

耐熱複合材料用高温引張試験装置の試作

祖父江　靖・小河昭紀

1993年1月

航空宇宙技術研究所
NATIONAL AEROSPACE LABORATORY

This document is provided by JAXA.

耐熱複合材料用高温引張試験装置の試作*

祖父江　靖*1　小河昭紀*1

High Temperature Tension Test Equipment of Heat Resistant Composite Materials*

Yasushi SOFUE*1, Akinori OGAWA*1

ABSTRACT

In the application of heat-resistant composites to structural members in the high temperature atmosphere, it is very important to evaluate their mechanical behavior in high temperature atmospheres.

This papers described a high temperature test system to evaluate high temperature elongation and tensile strength of heat-resistant composites in the air.

The preliminary strength tests of two composite materials, SiC／LAS and SiC／SiC were conducted from room temperature to 1300℃ in the air using a displacement measuring system with two pairs of simple laser sensors.

Key words: Displacement measuring system, Heat-resistant composite, High temperature tension test, SiC／LAS composite, SiC／SiC composite.

概　要

耐熱複合材料を構造材料として超高温環境下で使用する場合，その耐熱複合材料の高温材料特性が問題となる。本報告では，大気中での高温引張破壊強度を求めるための高温引張試験装置の試作について述べる。本装置では，高温下の試験片の伸びを計測するため，試験片に取付けたターゲットを炉外に張り出し，簡便なレーザ変位計を用いて測定することを試みた。本装置を用いて，耐熱複合材料であるSiC／LASおよびSiC／SiC複合材料の大気中での高温引張予備試験を行い，試験片の伸びと引張破壊強度等のデータを計測し，本試験装置の実用性を検討した。

1．まえがき

高温下の試験片の伸びの測定は，室温下で通常用いられるクリップゲージは使用不可能である。このため，高温下の試験片の伸びは，光学的な非接触で測定する方法[1]が行われている。図1に通常行われている方法と今回試行した方法を図示する。前者の方法を用いる場合，炉の外から炉内にレーザ光または水銀キセノンランプによる平行光を入れ，光源と反対側に設置した光学的変位計を用いて試験片の伸びを測定するため，炉壁にスリット状の穴を設けたり試験片の伸び測定用のターゲットとして試験片自体に突起部を設けるなど特別な工夫が必要である。

本試験では，大気雰囲気下で耐熱複合材料の高温引張破壊試験を行うため，酸化の影響をできるだけ少なくする加熱方法として高速の温度上昇が可能な赤外線ゴールドイメージ炉を採用した。イメージ炉は，赤外線ランプを熱源としたふく射加熱炉で，炉の内壁の楕円形の反射

＊平成5年1月6日　受付（Received 6 January 1993）
＊1 原動機部（Aeroengine Division）

This document is provided by JAXA.

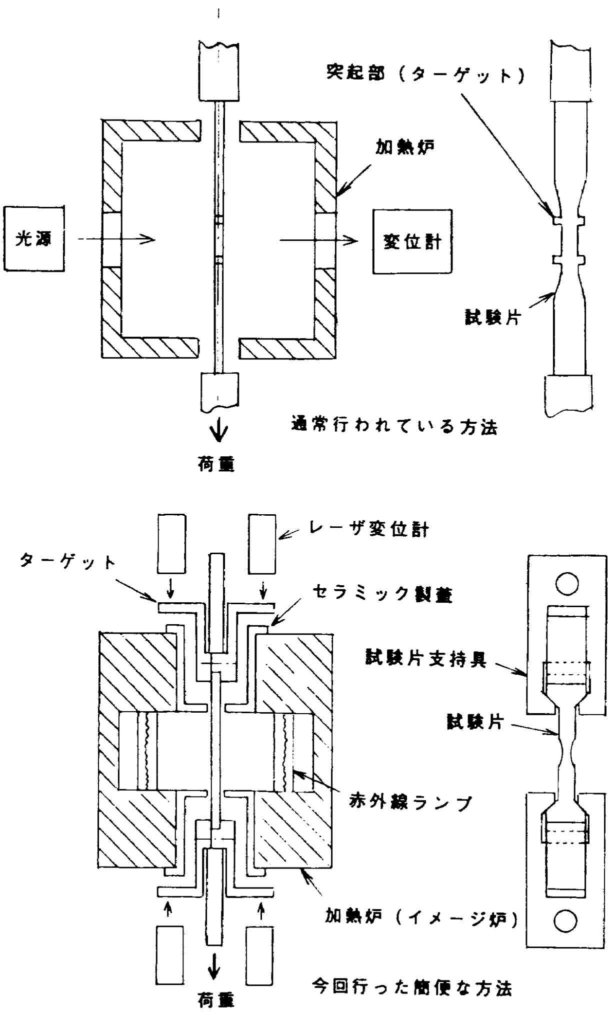


図1　高温引張試験の試験片伸び計測

面を金でコーティングして反射効率を高めてエネルギーを集光し，中心部の試料を短時間に加熱するものである。従って，反射面である炉の内壁にスリット状の穴を明けることは，反射効率を低下させ，最高到達温度を低くするおそれがある。このため，今回試作した炉に特別な加工をすることなく，試験片上下の左右に取付けたレーザ計測用ターゲットを炉外に張り出し，炉外でターゲットを4個のレーザ変位計を用いて測定し試験片の伸びを求める方法を試みた。

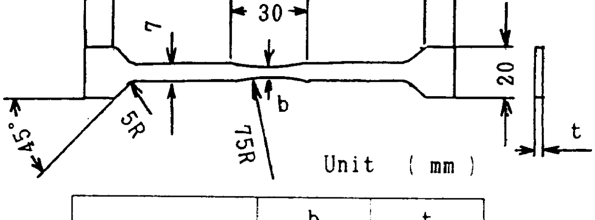
本装置を用いて極超音速機や宇宙往還機など将来の航空原動機の開発で，耐熱部材として適用が検討されているSiC／LASおよびSiC／SiC複合材料の大気雰囲気中での室温および高温下の引張破壊予備試験を行った。SiC／LAS複合材料試験片（以後SiC／LAS試験片と記す）では室温と1205℃，SiC／SiC複合材料試験片（以後SiC／SiC試験片と記す）では室温と最高1304℃までの試験を行った。

本報告では，高温引張試験装置および予備試験結果について述べる。

2．試験片および高温引張試験装置

SiC／LAS試験片は，LAS（Lithium Aluminosilicate；$LiO_2+Al_2O_3+SiO_2$）マトリックスをSiC（Nicalon：日本カーボン）繊維で強化した薄板を0°／90°に21層積層した複合材料である。この材料の繊維含有率（*Vf*）は45%である。また，SiC／SiC試験片は，平織のSiC（Nicalon：日本カーボン）繊維まわりにSiCマトリックスをCVI（Chemical Vapor Infiltration）法により形成した複合材料である。この材料の繊維含有率（*Vf*）は40%である。試験片の形状を図2に示す。試験片の形状は，数種のモデルについて有限要素法（FEM）を用いて異方性弾性応力解析により解析し，応力集中係数の少ない形状を選択し決定したものである(2)。SiC／LAS試験片およびSiC／SiC試験片の最小幅と厚さは図の表に示すように異なっている。前者の最小断面積は10.08mm²，後者の最小断面積は12.58mm²である。なお，SiC／SiC試験片は素材の強度を減ずることなく表面加工をすることが困難なため，SiC／LAS試験片と同じ厚さにするための表面加工は行わなかった。

図3は高温引張試験における試験片の取付状況を示した写真である。引張試験機は，INSTRON－1185型万能試験機を用いた。引張試験機のクロスヘッドスピードは0.1mm／minに設定した。炉は，赤外線ゴールドイメージ炉（真空理工E42型）を用いた。炉の上下の開口部には，空気の対流による熱損失を軽減するため，試験片が接触しないように中心部に11mm×7mmの長方形の穴を明けた二つ割のセラミック製の蓋を取り付けた。炉の支持は，炉支持台の支柱から片持ちで支持した。炉の位置調整は，炉の中心が試験片の中央にくるように炉を上下にスライドし，最適な位置に固定ネジで締め付け位置決めした。また，炉の中心が引張試験機の引張中心にくるように加熱炉の前後スライド軸を調整して固定ネジで締め付け前後の位置決めを行った。この炉は，試験



	b	t
SiC／LAS	3.6	2.8
SiC／SiC	3.4	3.7

図2　試験片の寸法形状

This document is provided by JAXA.

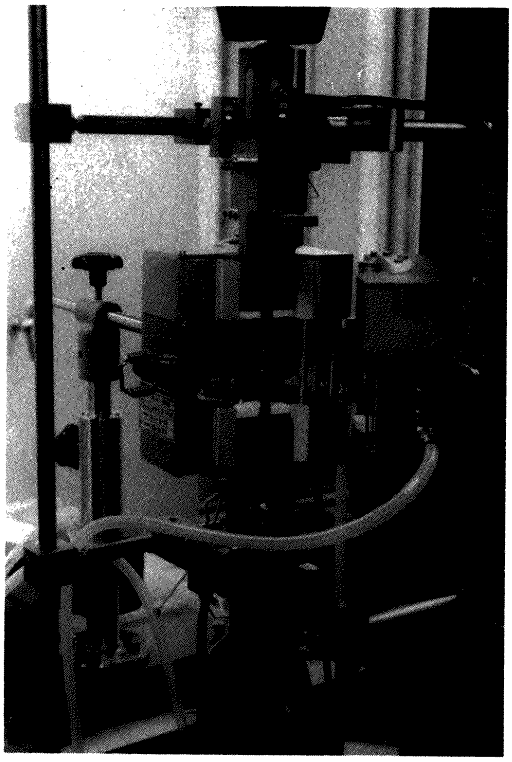


図3　試験片の取付状況

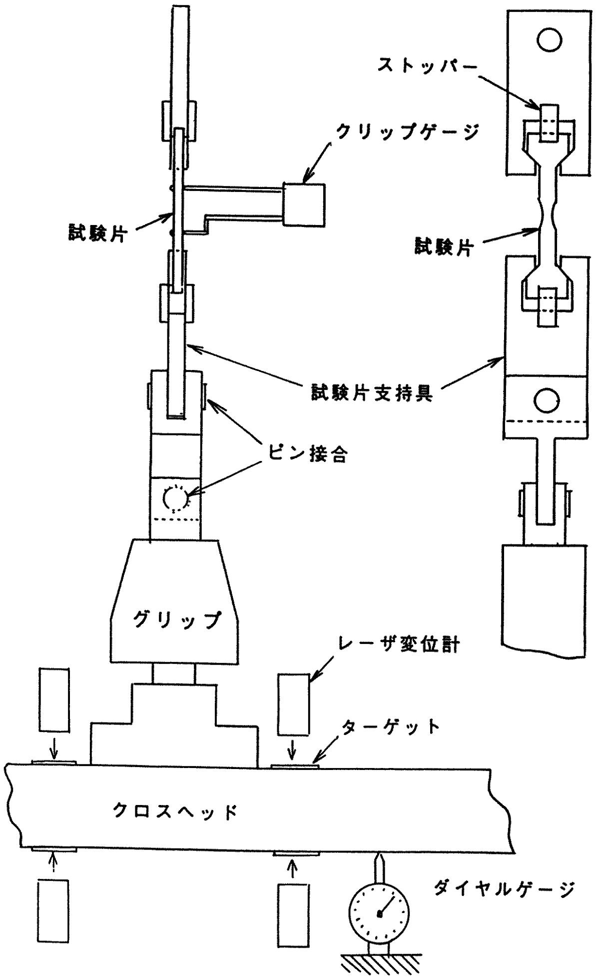


図4　レーザ変位計の較正方法

片を短時間に1300℃程度の高温にできる特徴がある。炉の昇温速度は，最小加熱速度1℃／hrから最大加熱速度999℃／secまで任意に設定できるが，試験片熱容量や雰囲気の状況により高速加熱速度は影響される。本試験では，100℃／minの加熱速度で行った。高温引張破壊試験は，試験片の設定温度到達後5分の保持時間を経過した後行った。高温試験の試験片には，直径0.3φ mmのR熱電対素線を中央部とその上下10mmの3点にアロンセラミック（東亜合成化学）を用いて接着し，試験片の温度分布を測定した。試験片の伸びの測定は，前述したように試験片に取り付けたレーザ計測用ターゲットを4個のレーザ変位計（キーエンスLB−62）を用いて行った。レーザ計測用ターゲットの試験片への取付は，試験片の長手方向の厚さ側の面に先端から8mmの幅で両面を二つ割のターゲットで挟み，ターゲットをネジで締め付け固定した。このターゲットを試験片の長手方向の上下に取付けた。レーザ変位計の取付けは，レーザ変位計からターゲット面までの間隔が測定可能域約40mmになるように，レーザ変位計取付治具で固定した。試験片の取付けは，引張試験機にグリップとピンで保持した試験片支持具の45°傾斜面の溝に差込む方法で取付けた。なお，試験片が引張で曲げ応力が生じないように支持具に強固に固定せず，かつ支持具から外れないようにするため，保持具（ストッパー）を取付けた。その様子を図4に示す。

3．レーザ変位計の較正

高温引張試験装置で用いる4個のレーザ変位計を較正するため，図4に示すような引張試験を行った。引張試験機のクロスヘッド移動量をダイヤルゲージで測定すると同時にレーザ変位計で測定し，前者の測定値と後者の出力電圧とを比較してレーザ変位計の較正値を調べた。この試験では，高温引張試験装置の機能確認試験もかねて，試験片支持具に今回の試験で用いた試験片と同じ形状の炭素繊維強化炭素複合材料試験片（以後C／C試験片と記す）を取付け荷重1961Nまでの引張試験を行った。なお，較正試験ではSiC／LAS試験片およびSiC／SiC試験片の数が少ないためC／C試験片で代用した。試験片には標点間長さ50mmのクリップゲージを中央部に取付けて試験片の伸びの測定も行った。較正試験では，ダイヤルゲージをクロスヘッドの下側に垂直に当て，クロスヘッド移動量を測定した。また，クロスヘッドの上下の面にレーザ変位計用のターゲットとして白紙を貼り，レーザ変位計とターゲットの間隔を測定した。

図5は1961Nまで引張荷重を負荷したときのレーザ

This document is provided by JAXA.

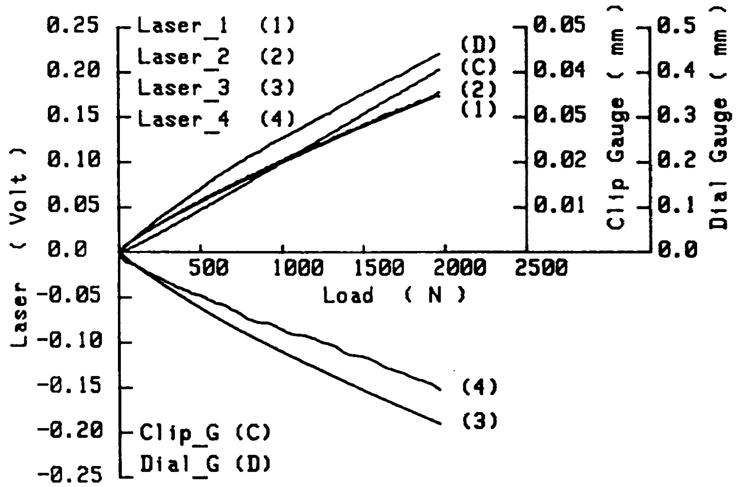


図5　クロスヘッド移動量を測定したレーザ変位計の較正（A）

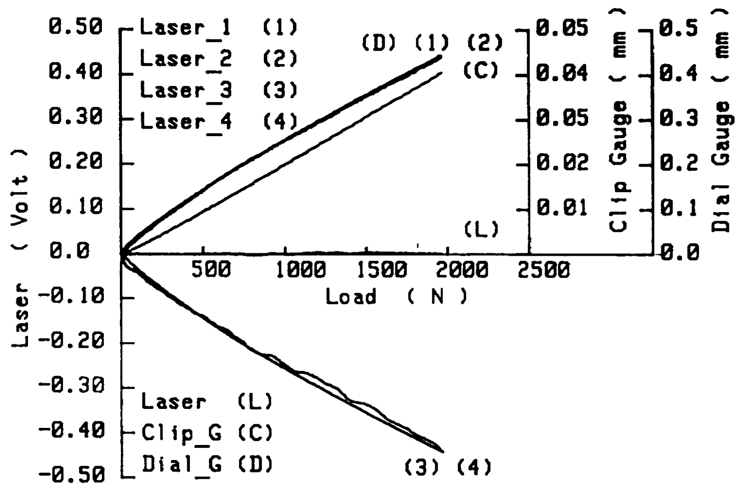


図6　クロスヘッド移動量を測定したレーザ変位計の較正（B）

変位計，クリップゲージ，ダイヤルゲージの挙動である。横軸は引張荷重，縦軸の左側はレーザ変位計の出力電圧，右側はクリップゲージおよびダイヤルゲージの値である。4個のレーザ変位計は各々Laser＿1を(1)，Laser＿2を(2)，Laser＿3を(3)，Laser＿4を(4)と示し，Clip＿G（クリップゲージ）を（*C*），Dial＿G（ダイヤルゲージ）を（*D*）と示した。(1)と(2)はほぼ重なっている。(1)と(2)は，クロスヘッドの上側に据え付けたレーザ変位計である。このため，負荷によってレーザ変位計とターゲットの間隔が広がり，正の方向に増加した。(3)と(4)は，クロスヘッドの下側に据え付けたレーザ変位計である。このため，負荷によってレーザ変位計とターゲットの間隔が狭まり，負の方向に増加した。（*C*）の挙動は，試験片の伸びであり，弾性域内の負荷であるため直線的な挙動を示した。これに対し，試験片の伸びと支持具の影響を受ける（*D*）の挙動は，低負荷域では，負荷の増加に伴って変位の増加率が低くなる非線形の挙動を示した。なお，ダイヤルゲージの値は負荷と同時に増加するが，クリップゲージの値は120N以上の負荷を加えないと増加しなかった。これは，低負荷では試験片と試験片支持具の45°傾斜面の接触部が不安定であり，負荷の増加により安定するまで試験片の伸びが反応しなかったと考えられる。表1に最大荷重（1961N）の時のダイヤルゲージとレーザ変位計の測定値を示す。4個のレーザ変位計のゲインは違っているため，クロスヘッド移動量に対する出力電圧は各々異なった。ダイヤルゲージの測定値はクロスヘッド移動量を正確に測定したと推定して，最大荷重時の4個のレーザ変位計の出力電圧値がダイヤルゲージの測定値に一致するような較正値を求めた(表1参照)。

図6は，図5の4個のレーザ変位計の各々の出力電圧値を表1に示したダイヤルゲージの測定値に一致する較正値を乗じて示したものである。（*D*）の挙動と(1)，(2)の挙動は良く一致しており，レーザ変位計はクロスヘッド移動量を正確に測定している。(1)，(2)，(3)のレーザ変

This document is provided by JAXA.

表1　最大荷重（1961N）時のダイヤルゲージと
レーザ変位計の値

計測器	最大荷重時の値	較正値	変換後の値
Dial gauge	0.441 mm		
Laser − 1	0.173 Volt	2.549	0.441
Laser − 2	0.177 Volt	2.492	0.441
Laser − 3	0.190 Volt	2.321	0.441
Laser − 4	0.152 Volt	2.901	0.441

位計の挙動には変動が少ないが，(4)には比較的大きな変動があった。4個のレーザ変位計を用いて試験片の伸び（L）を求める方法は，下側の測定値の絶対値から，上側の測定値の絶対値を除去する下記の式から求めた。

$$L = |((3)+(4))/2| - |((1)+(2))/2|$$

なお，この方法の詳細な説明は後述の4項で述べる。図6に，この式で求めた試験片の伸びをLaserとして（L）で示した。クロスヘッド移動量を計測した場合，上下のレーザ変位計の測定値が相殺されてX軸に重なるはずである。しかし，(4)の変動の影響で僅かな違いが生じたが，ほぼ妥当な値を示した。以上の結果，本試験で用いたレーザ変位計による測定方法は，測定物の変位量をほぼ正確に測定しており，信頼性のある方法であることがわかった。

4．レーザ変位計によるC/C試験片の伸び計測

レーザ変位計による試験片の伸び測定方法の信頼性を検討するため，前述と同じC/C試験片を用いて図7に示すような引張試験を行った。この引張試験では，レーザ変位計とクリップゲージで試験片の伸び，ダイヤルゲージでクロスヘッド移動量を測定した。レーザ変位計で伸びを測定するため，試験片上下の左右にターゲットを4個取付けた。レーザ変位計による伸びの測定範囲は，試験片が45°傾斜部の試験片支持具で支持されるため，負荷によって伸びが生じるのは45°傾斜部間の約113mmである。また，試験片には，標点間長さ50mmのクリップゲージを試験片中央部に取付けて標点間の伸びの測定を行った。これによって，レーザ変位計による試験片の伸びとクリップゲージによる伸びの比較検討を行った。引張試験は，初期荷重70Nを負荷した後行った。図8に1961Nまで負荷したときのレーザ変位計，クリップゲージ，ダイヤルゲージの測定結果を示す。なお，各レーザ変位計の測定値は，図6と同様に実際の変位量と同じになるように較正値を乗じて求めた値であり，単位をmmで示した。4個のレーザ変位計の測定値(1)，(2)，(3)，(4)は，クリップゲージの値（C）に比較し4〜7倍大き

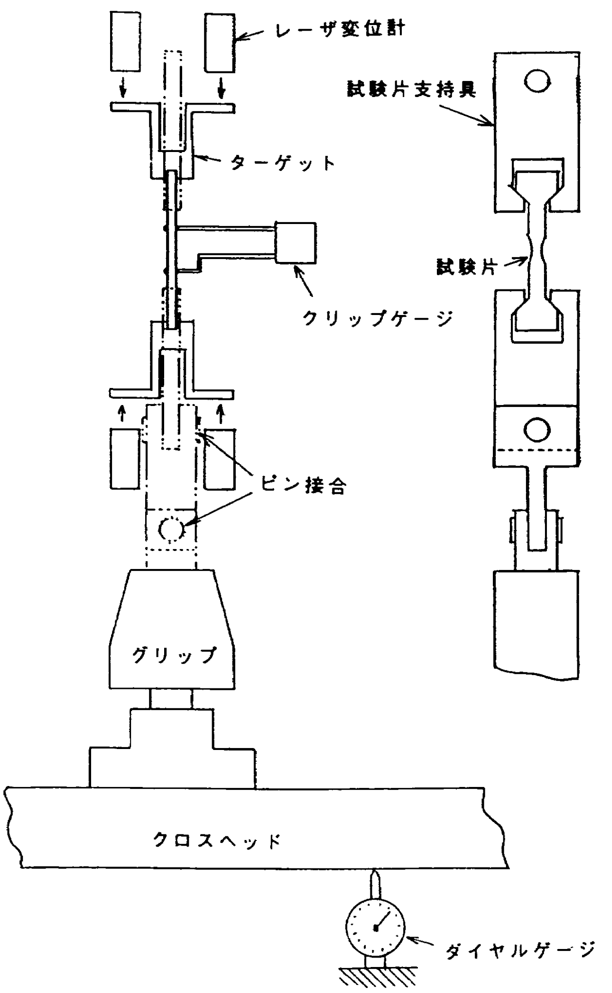


図7　試験片の伸び測定におけるレーザ変位計測定値の妥当性の検討

な値になった。また，その挙動は，引張荷重に対して非線形な変動をした。レーザ変位計の値がクリップゲージの値に比較し大きな値になるのは，次の二点が考えられる。レーザ変位計はレーザ変位計取付治具で固定されているが，試験片は4カ所のピン接合で構成された試験片支持具で支持されるため，支持具が引張負荷によって安定するまで試験片が下方に移動する。また，試験片および試験片支持具の45°傾斜部には加工誤差があり，接触部が完全には一致しないため，試験片が引張負荷によって安定するまで下方に移動する。従って，固定されているレーザ変位計で下方に移動する試験片の変位を測定するため，試験片の伸びに比べ大きな値が測定された。また，レーザ変位計の挙動が非線形な変動をしているのは，次のことが考えられる。試験片は，引張試験機および試験片支持具と剛体的に固定されていないため，引張負荷によって試験片に不規則な変動や試験片のターゲット取付部に傾きが生じる。このため，上側に取付けたレーザ変位計(1)と(2)，下側に取り付けたレーザ変位計(3)と(4)に示すように同じ側に取り付けたレーザ変位計でも低荷重

This document is provided by JAXA.

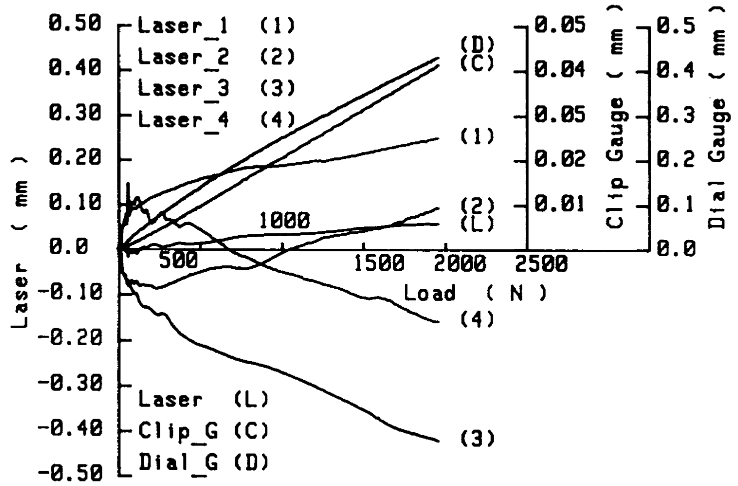


図8　C／C試験片を用いた試験片の伸び計測（実測値）
レーザ変位計，クリップゲージ，ダイヤルゲージの値

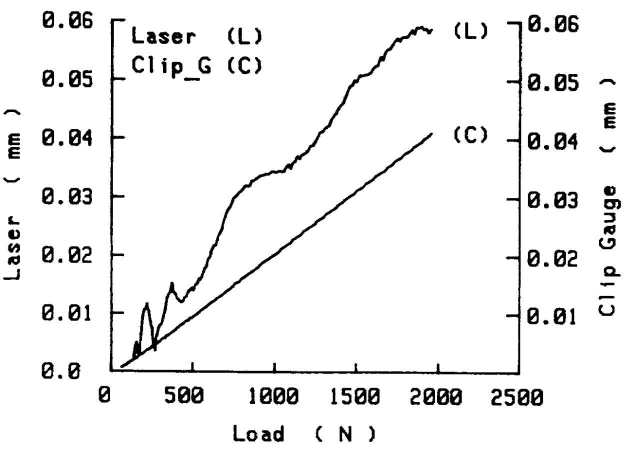


図9　C／C試験片を用いた試験片の伸び計測（実測値）
レーザ変位計とクリップゲージの比較

での変位は，左右逆の挙動を示した。このようなターゲット取付部の傾きによって生じる左右の変動を相殺するため，下記の式を用いて試験片上部の変位量の絶対値（*Lu*），試験片下部の変位量の絶対値（*Ld*）を求めた。

$Lu = |((1)+(2))/2|$

$Ld = |((3)+(4))/2|$

Lu，*Ld*は，負荷のため試験片自体が下方へ移動した値を含んでいる。これを補正するため，試験片の伸び（*L*）は，下記の式から求めた。

$L = Ld - Lu$

図9にレーザ変位計とクリップゲージで測定した試験片の伸び（*L*）と（*C*）の挙動を示す。最大荷重1961Nのときの（*C*）は0.041mm，（*L*）は0.058mmである。レーザ変位計で測定した試験片の伸びは，クリップゲージの場合の約1.44倍になった。クリップゲージの測定結果（*C*）は，引張荷重に比例して増加した。これに対し，レーザ変位計で測定した試験片の伸び（*L*）は，引張荷重により増加するが不規則な変動が生じた。従って，レーザ変位計の測定値には，比較的大きな傾きによる変動の他に試験片の不安定を原因とする不規則で微小な変動が生じると考えられる。このような変動があるため，4個のレーザ変位計の測定値(1)，(2)，(3)，(4)を最小二乗法の二次曲線で近似した。その結果を図10に示す。この近似値から前述した方法で試験片の伸び（*L*）を求めた。その結果を図11に示す。この場合の荷重1961Nのときの（*L*）は0.062mmである。レーザ変位計で測定した試験片の伸びは，クリップゲージの場合の約1.51倍になった。レーザ変位計の伸び測定範囲は，クリップゲージの伸び測定範囲を含み，かつ試験片平行部の割合が多いため，クリップゲージの場合より伸び率が小さい。従って，レーザ変位計による伸び測定は，ほぼ妥当な値が得られたと考えられる。以上の結果，4個のレーザ変位計を用いて試験片の下方への移動や傾きの補正および最小二乗法などの補正処理を行えば，試験片の正確な伸びは測定できないが近似値は求められたと考えられる。

5．耐熱複合材料の高温引張予備試験結果

図12に耐熱複合材料の高温引張予備試験における計測系の概要を示す。A／D変換器は，Hewlett pacardのデータ集録／制御システム（HP 3852A，分解能16ビット，読み取り速度2ms）を用いた。このA／D変換器にプラグイン・アセンブリ（HP 44708F，HP 44717A）を組込，レーザ変位計，熱電対，ダイヤルゲージのデータ処理を行った。

This document is provided by JAXA.

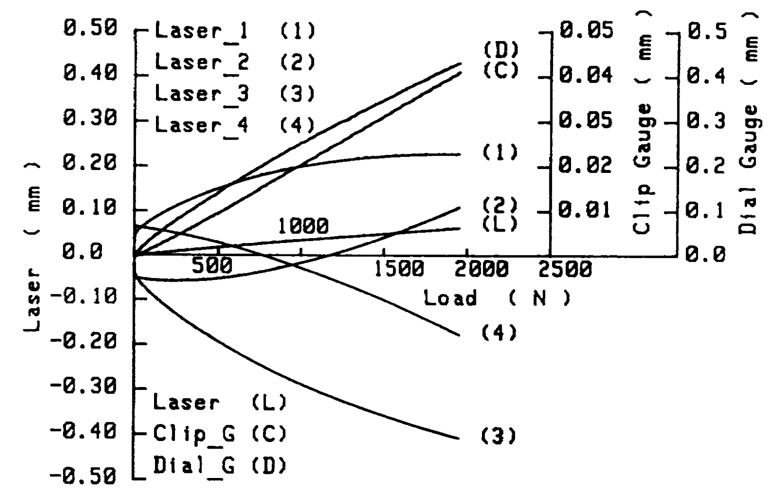


図10　C／C試験片を用いた試験片の伸び計測（最小二乗法近似）
レーザ変位計，クリップゲージ，ダイヤルゲージの値

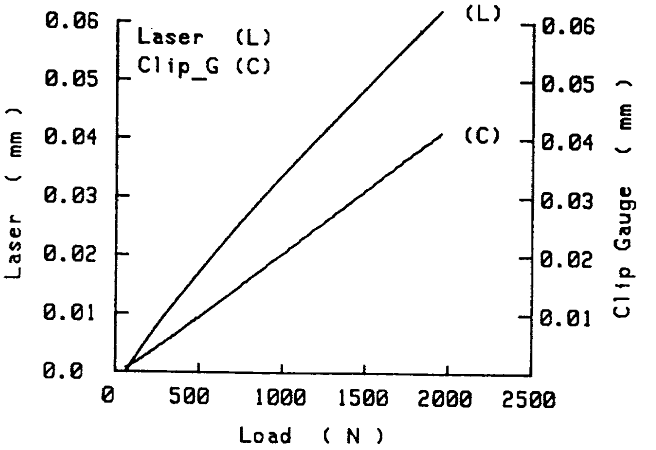


図11　C／C試験片を用いた試験片の伸び計測
レーザ変位計とクリップゲージの比較

5．1　試験片の温度分布

高温引張試験では，R熱電対を用いて試験片中央部と中央部から上下10mm離れた三点の温度測定を行った。試験片の温度は，試験片中央部のR熱電対をモニターして設定温度になるように制御した。設定温度はSiC／LAS試験片では1200℃，SiC／SiC試験片では1300℃にした。図13にSiC／LAS試験片，図14にSiC／SiC試験片の高温引張試験中の試験片の応力状態および温度経過を示す。横軸はクロスヘッド移動量を測定したダイヤルゲージ，縦軸は応力および温度である。図中Temp__1は試験片中央部から上に10mm離れた位置の温度，Temp__2は中央部の温度，Temp__3は中央部から下に10mm離れた位置の温度である。なお，図の温度ス

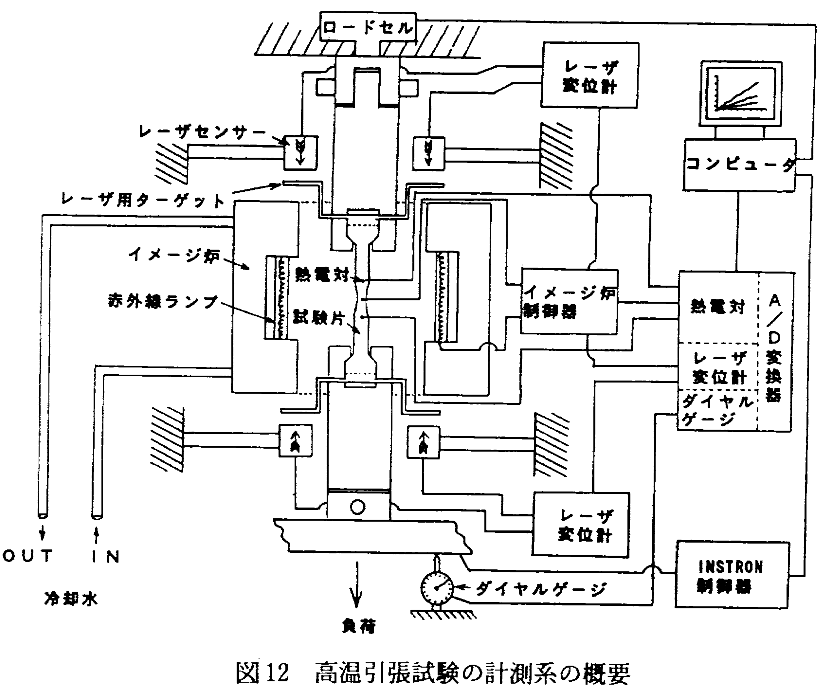


図12　高温引張試験の計測系の概要

This document is provided by JAXA.

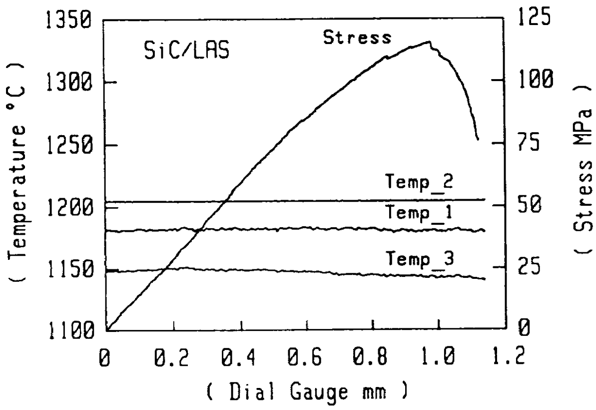


図13 SiC／LAS試験片の高温試験の温度経過および温度分布

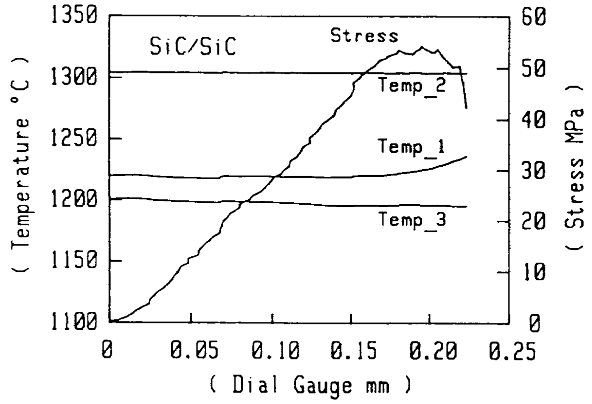


図14 SiC／SiC試験片の高温試験の温度経過および温度分布

ケールは1100℃〜1350℃の範囲を示した。図13のSiC／LAS試験片のTemp＿2は，高温引張試験中1204.4℃〜1205.1℃でほぼ一定である。Temp＿1は，1178.5℃〜1183.2℃で4.7℃の温度差がある。Temp＿3は，1139.5℃〜1151.3℃で11.8℃の温度差があった。図14のSiC／SiC試験片のTemp＿2は，高温引張試験中1302.6℃〜1304.7℃でほぼ一定である。Temp＿1は，1218.1℃〜1247.0℃で28.9℃の温度差がある。Temp＿3は，1195.5℃〜1204.0℃で8.5℃の温度差があった。なお，図14のTemp＿1だけが最大負荷附近で温度が上昇したが原因は不明である。以上のように，中央部の温度は，両試験片ともほぼ設定温度になり，良くコントロールされている。Temp＿1は，SiC／LASでは設定温度より約19℃低く，SiC／SiCでは約80℃低くなった。Temp＿3は，SiC／LASでは設定温度より約53℃低く，SiC／SiCでは約104℃低くなった。従って，試験片の均熱部は狭いと考えられる。また，炉内の空気の対流のため上側の温度に比べ下側の温度が低くなった。

5．2 レーザ変位計で測定した試験片の伸び

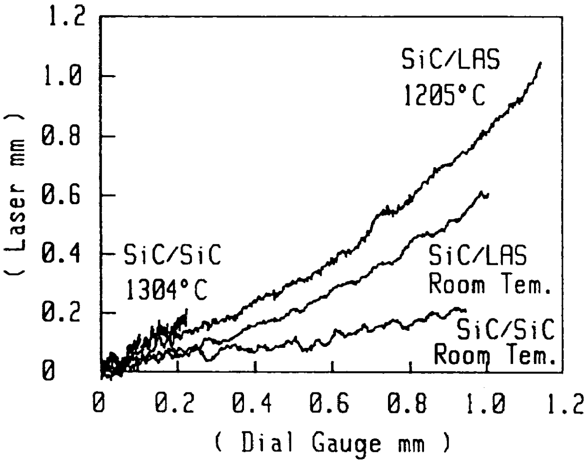


図15 室温および高温試験におけるレーザ変位計とダイヤルゲージの測定値の関係（実測値）

図15にSiC／LASおよびSiC／SiC試験片の高温と室温の引張破壊試験におけるレーザ変位計で測定した試験片の伸びとダイヤルゲージで測定したクロスヘッド移動量の関係を示す。縦軸は試験片の伸び，横軸はクロスヘッドの移動量である。SiC／LAS試験片の室温試験では，285MPaの引張負荷で試験片の45°傾斜部の肩で圧縮破壊が生じ試験を途中で中断したため，破壊までの伸びは計測できなかった。レーザ変位計とダイヤルゲージの測定値は，試験片が試験機と剛体的に接続されていれば，負荷に対する単位長さ当たりの変位量は同じになると考えられる。しかし，実際の測定では，ダイヤルゲージの方が大きく，その比率は試験片によって異なった。従って，ダイヤルゲージの測定値は，試験片の45°傾斜部の加工誤差や試験片支持具などの状態によって大きく影響すると考えられ，試験片の伸びの挙動を示していない。このため，材料特性としての伸びを求めるため，本試験では前述のレーザ変位計を用いた簡便な方法で試験片の伸びを直接測定することを試みた。図15のレーザ変位計による測定値は，図9と同様に4個のレーザ変位計の測定値を補正して求めた試験片の伸びである。測定値は図9と同様に不規則に変動した。このため，図15のレーザ変位計による試験片の伸びを図10と同様に最小二乗法の二次の曲線で近似した。その結果を図16に示す。なお，SiC／SiC試験片の室温と1304℃ではレーザ変位計による測定値は前者が0.21mm，後者が0.16mmで0.05mmの違いがあるが，ダイヤルゲージによる測定値は前者が0.94mm，後者が0.22mmで0.72mmと大きな違いになった。これは，室温試験で用いた試験片の45°傾斜部の加工誤差による影響が大きかったためである。また，レーザ変位計で測定したSiC／LAS試験片の1205℃の伸びは1.06mmである。SiC／LAS試験片はSiC／SiC試験片に比べ伸びが大きいことがわかった。

This document is provided by JAXA.

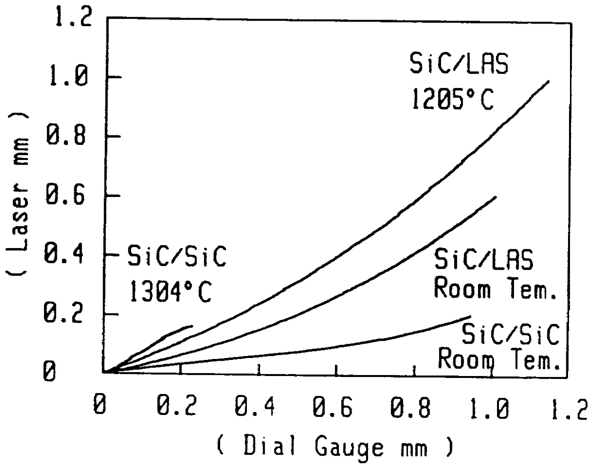


図16　室温および高温試験におけるレーザ変位計とダイヤルゲージの測定値の関係（最小二乗法近似）

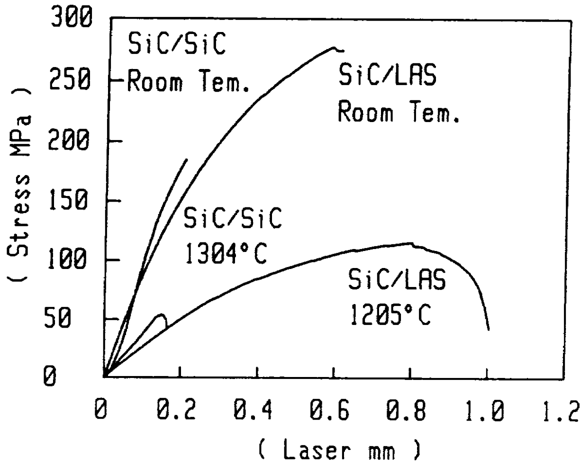


図17　室温および高温試験における試験片の伸びと応力の関係（最小二乗法近似）

5.3　試験片の破壊強度計測

図17にSiC／LASおよびSiC／SiC試験片の高温と室温の引張破壊予備試験における破壊までの引張応力とレーザ変位計で測定した試験片の伸びの関係を示す。縦軸は試験片の最小断面の引張応力，横軸はレーザ変位計で測定した試験片の伸びである。SiC／LAS試験片の室温試験の場合，285 MPa（この時の荷重2925N）の負荷で，試験片の45°傾斜部の肩（試験片支持具との接触部）で圧縮破壊が生じ，室温での引張破壊強度を求めることができなかった。このため，つかみ部にアルミニウムのタブを接着した試験片を引張試験機のグリップに挟んで引張破壊試験を行った。その結果308 MPa（3109N）の引張破壊強度を得た。SiC／LAS試験片の1205℃における引張破壊強度は121 MPa（1196N）である。SiC／SiC試験片の室温試験での引張破壊強度は189 MPa（2375N）である。この材料の1304℃における引張破壊強度は57 MPa（713N）である。SiC／LASおよびSiC／SiC試験片は高温試験では弾性率が低下した。

6．あとがき

大気雰囲気下で耐熱複合材料の引張破壊試験を行うための高温引張試験装置を試作し，SiC／LASおよびSiC／SiC試験片の高温および室温の引張試験を行った。試験片の伸び計測では，測定値に不規則で微小な変動が生じ最小二乗法による近似を行う必要が生じたが，妥当な近似値を求めることができた。また，試験片は，45°傾斜部の肩で試験片支持具に支持されるが，引張破壊強度308MPaのSiC／LAS試験片の室温引張試験では引張応力285MPaで45°傾斜部の肩で圧縮破壊が生じた。従って，試験片の破壊強度を考慮した最小断面積を決定する必要がある。

なお，この研究は，通商産業省工業技術院大型プロジェクト「超音速輸送機用推進システム」の一部として行われたものである。

参考文献

(1) 幡中憲治：セラミックスの高温変形・強度解析とその超高温材料研究への展開，INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ULTRA-HIGH TEMPERATURE MATERIALS, PP103－113, UBE '91.

(2) 小河昭紀，松末勝利，祖父江靖，橋本良作：FEM解析による高温引張強度試験片形状の検討，第19回日本ガスタービン学会定期講演会，PP161－166，平成3年5月.

This document is provided by JAXA.

航空宇宙技術研究所資料652号

平成5年1月発行

発行所　航空宇宙技術研究所
東京都調布市深大寺東町7－44－1
電話 三鷹(0422) 47－5911(大代表) 〒182

印刷所　株式会社　共　進
東京都杉並区久我山5－6－17

This document is provided by JAXA.

Printed in Japan

This document is provided by JAXA.