

〔原著〕 松本歯学 29 : 32~43, 2003

key words : コンポジットレジン—曲げ強さ—サーマルサイクル

## コンポジットレジンの曲げ強さにおけるサーマルサイクルの影響

張 志勇<sup>1</sup>, 楊 冬茹<sup>2</sup>, 師 偉策<sup>3</sup>, 吉田 貴光<sup>4</sup>,  
寺島 伸佳<sup>4</sup>, 矢ヶ崎 裕<sup>5</sup>, 永澤 栄<sup>4,5</sup>, 伊藤 充雄<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>河北医科大学・第二医院・口腔内科, 松本歯大・中国研修生

<sup>2</sup>河北医科大学・口腔医学院・口腔内科, 松本歯大・中国研修生

<sup>3</sup>河北省人民医院・口腔科, 松本歯大・中国研修生

<sup>4</sup>松本歯科大学歯科理工学講座

<sup>5</sup>松本歯科大学・総合歯研・生体材料学

Influence of thermal cycle on bending strength of composite resins

ZHIYONG ZHANG<sup>1</sup>, DONGRU YAUG<sup>2</sup>, WEICE SHI<sup>3</sup>, TAKAMITSU YOSHIDA<sup>4</sup>,  
NOBUYOSHI TERASHIMA<sup>4</sup>, HIROSHI YAGASAKI<sup>5</sup>,  
SAKAE NAGASAWA<sup>4,5</sup>, and MICHIO ITO<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup>*Department of Oral Medicine, Second Hospital of HeBei Medical University*

<sup>2</sup>*Department of Oral Medicine, Dental Hospital of HeBei Medical University*

<sup>3</sup>*Department of Dental, HeBei Province People's Hospital*

<sup>4</sup>*Department of Dental Materials, Matsumoto Dental University School of Dentistry*

<sup>5</sup>*Department of Biomaterials, Institute for Oral Science, Matsumoto Dental University*

### Summary

Possible changes in material's characteristics of six types of commercially available composite resins have been investigated in an intraoral environment. After samples were subjected to the thermocycling treatment for 1000, 3000 and 10,000 cycles between 4°C and 60°C, the bend strength and fracture strain were measured. At the same time, same mechanical properties of tested samples were evaluated after they were immersed in 37°C distilled water for equivalent time to the above mentioned thermocycling duration. Fractographic observations were also conducted on fractured surface of bend strength tests.

Main conclusions are as follows ;

1. Thermocycled samples showed lower values of bend strength and fracture strain, as compared to control samples.
2. Bend strengths of sample groups SD and UN which were immersed in 37°C distilled water exhibited higher values than those of control group. Other sample groups showed an increase or decrease in bend strengths.

3. Strain amount of sample group CF which was immersed into distilled water increased. Other sample groups exhibited either an increase or decrease.
4. It was clearly observed that mechanical properties of composite resins are influenced by the intraoral temperature.
5. Among tested sample groups, it was found that SD sample group was the least sensitive to thermal effect in its mechanical characteristics ; while CF sample group exhibited the most sensitivity to external thermal effects.

緒 言

口腔内のコンポジットレジンなどの修復物や補綴物は、飲食物の温度変化による膨縮と、熱による材質変化や咀嚼時に繰返される咬合力によって材質が劣化することなく使用されなければならない。コンポジットレジンの場合、レジンと無機質フィラーとが複合化されており、加熱と冷却を繰返すことによって、シランカップリング剤が加水分解されたり、シリコン系フィラーの場合 Si イオンが溶出し、レジンマトリックスとフィラー粒子の界面部分で debonding が生じることなどが報告されている<sup>1-3)</sup>。この debonding によって材質の劣化が生じることが考えられる。安齋は市販コンポジットレジンの耐久性の検討を、エチルアルコール中に浸漬した試験片の曲げ強さと弾性係数の変化を、組織変化について報告している<sup>4,5)</sup>。一方、内部気泡によって材質が影響されることも報告されている<sup>6)</sup>。

材料および方法

1. 材料および方法

表 1 に示すコンポジットレジン 6 種類 (以下略号にて表示する) を用い、光重合器 Candelux (モリタ) を用いてメーカー指示の 40 秒間で重合を行った。

2. 曲げ試験片

曲げ試験片は 2.5 × 2 × 2 mm の図 1 に示す金型を用いて作製した。各コンポジットを金型に填入し、ポリエチレンストリップスを上面に置き、万力で加圧した。その後照射器を用い、3 分割して各部位を 40 秒間照射した。各試験片は、照射後、直ちに型から取り出して、37℃ の蒸留水中に入れ、保存した。37℃ の蒸留水中に 24 時間浸漬した試験片をコントロール (以下 As と表示する) とした。また、37℃ 恒温槽中にサーマルサイクルを行っているのと同じ時間の 64 時間、144 時間そして 424 時間保存を行った後、それぞれ曲げ試験を行った。測定は各試験片 7 個を用いて行った。

また、サーマルサイクルは 4℃ / 1 分 - 60℃ / 1 分、1000 回、3000 回、10000 回繰返し行った後、

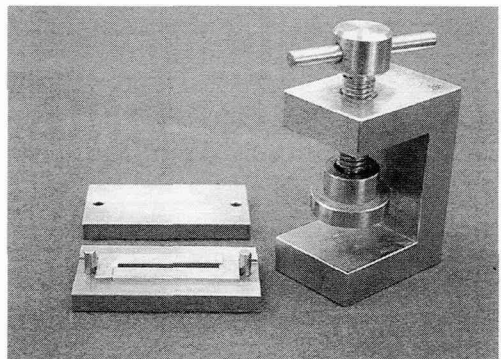


図 1 : 金型

Table 1 : 使用材料

Material	Code	Manufacturer	Batch No	Curing time (Sec.)
Beautiful	BT	SHOFU	020129	40
Clearfil AP-X	CF	KURARAY	00637A	40
Lite-fil II	LF	SHOFU	110114	40
Reactmer	RT	SHOFU	110102	40
Solidex	SD	SHOFU	109901	40
Unifil®S	UN	GC	0106291	40

それぞれの試験片7個を用いて曲げ強さを測定した。

3. 曲げ試験

曲げ試験は万能試験機（今田製作所）を用い、各条件の試験片、支点間距離20 mmの3点曲げで、クロスヘッドスピード0.5 mm/毎分の条件にて測定を行った。

4. 破断面の観察

曲げ試験を行った試験片の破断面を金蒸着を行いX線マイクロアナライザ（日本電子）を用いて観察した。統計処理、各試験結果はそれぞれの平均値と標準偏差を求め、分散分析を行った。

結 果

図2はBTのサーマルサイクルと曲げ強さの関係を示す。Asは87.0±15.5 MPaであり、1000回のサーマルサイクル後では61.1±9.4 MPa、3000回では65.2±9.8 MPaそして10000回後では60.9±8.6 MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 (P<0.01) が認められた。図3はCFのAsと曲げ強さの関係を示す。コントロールは138.5±12.7 MPaであり、1000回のサーマルサイクル後では124.0±24.8 MPa、3000回では124.0±16.8 MPa、10000回では124.1±20.9 MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差は認められなかった。図4はLFのサーマルサイクルと曲げ強さの関係を示す。Asは135.4±18.5であり、1000回のサーマル

サイクル後では126.6±22.2 MPa、3000回では105.9±10.5 MPa、10000回では105.9±10.5 MPaの曲げ強さであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 (P<0.01) が認められた。図5はRTのサーマルサイクルと曲げ強さの関係を示す。Asは79.2±12.0 MPaであり、1000回のサーマルサイクル後では61.7±6.7 MPa、3000回では46.3±4.7 Mpaそして10000回では40.2±3.7 MPaの曲げ強さであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 (P<0.01) が認められた。図6はSDのサーマルサイクルと曲げ強さの関係を示す。Asは51.9±4.2 MPaであり、1000回のサーマルサイクル後では

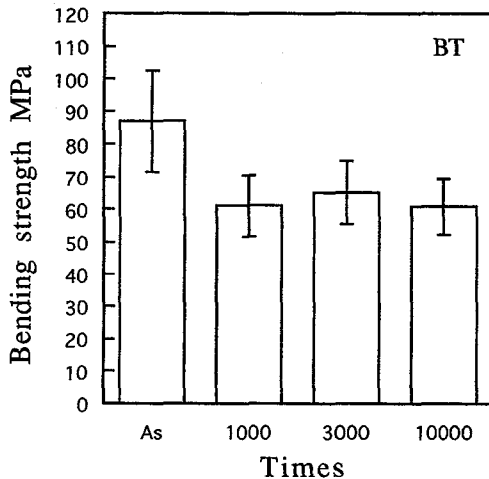


図2：BTの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

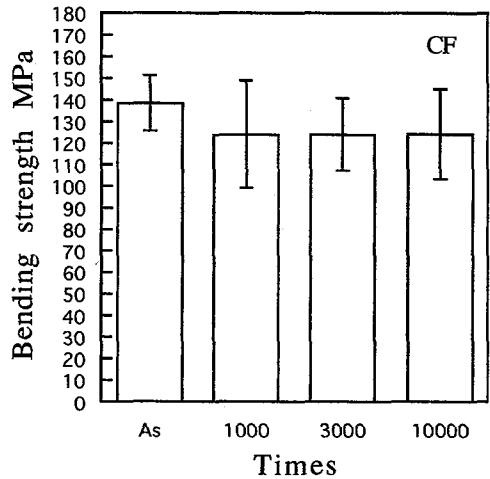


図3：CFの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

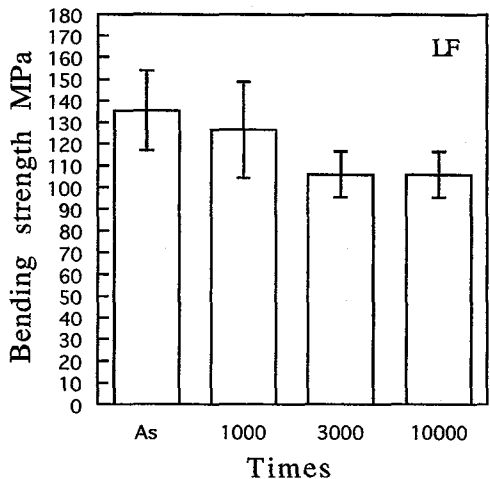


図4：LFの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

30.2 ± 4.8 MPa, 3000回後では22.9 ± 2.5 MPa  
 そして10000回後では30.0 ± 4.0 MPaの曲げ強さ  
 であった。これらの測定値を分散分析した結果、  
 有意差 (P<0.01) が認められた。図7はUN  
 のサーマルサイクルと曲げ強さの関係を示す。  
 Asは79.8 ± 15.8 MPaであり、1000回後は73.2  
 ± 12.6 MPa, 3000回後は59.6 ± 6.1 MPa, そし  
 て10000回後は68.0 ± 11.7 MPaの曲げ強さで  
 あった。これらの測定値を分散分析した結果有意  
 差 (P<0.05) が認められた。つぎに図8にBT  
 のサーマルサイクルと破壊ひずみ量の関係を示  
 す。Asは0.40 ± 0.08 mmであり、1000回後は  
 0.20 ± 0.02 mm, 3000回後は0.2 ± 0.04 mm そし

て10000回後は0.23 ± 0.04 mm のひずみ量であ  
 った。これらの測定値を分散分析した結果、有意差  
 (P<0.01) が認められた。図9はCFのサー  
 マルサイクルと破壊ひずみ量の関係を示す。Asは  
 0.33 ± 0.03 mm, 1000回後では0.29 ± 0.05 mm,  
 3000回では0.30 ± 0.05 mmそして10000回では  
 0.29 ± 0.06 mm のひずみ量であった。これらの  
 測定値を分散分析した結果、有意差は認められな  
 かった。図10はLFのサーマルサイクルと破壊ひ  
 ずみ量の関係を示す。Asは0.46 ± 0.08 mm であ  
 り、1000回後では、0.35 ± 0.08 mm, 3000回では  
 0.31 ± 0.03 mmそして10000回後では0.31 ± 0.05  
 mm のひずみの量であった。これらの測定値を

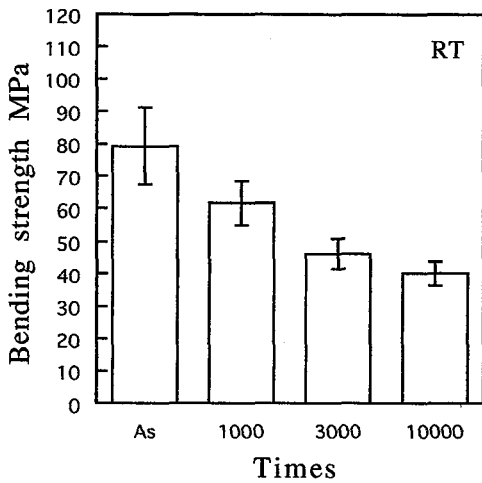


図5：RTの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

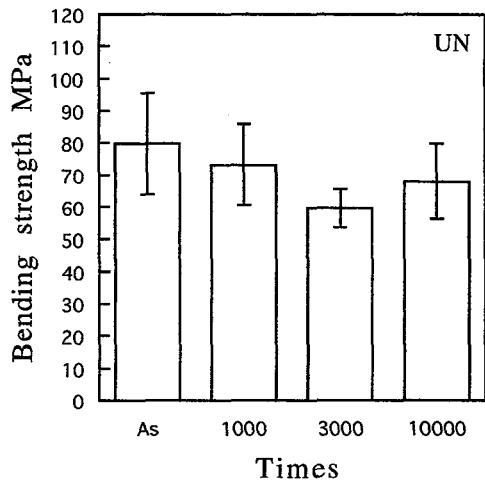


図7：UNの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

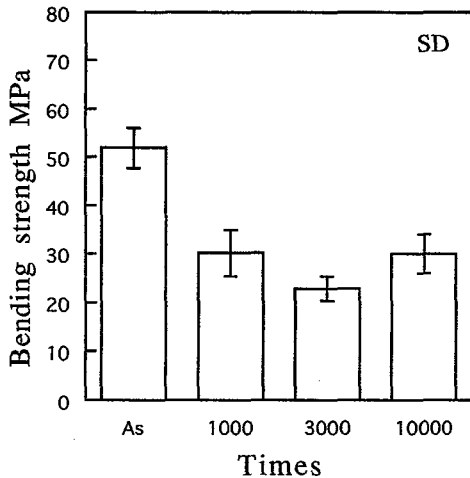


図6：SDの曲げ強さとサーマルサイクルの関係

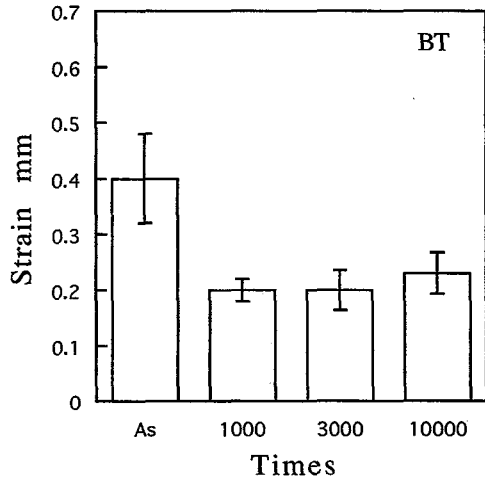


図8：BTの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図11はRTのサーマルサイクルと破壊ひずみ量の関係を示す。Asは $0.33 \pm 0.05$  mm, 1000回後のひずみ量は $0.30 \pm 0.04$  mm, 3000回後では $0.22 \pm 0.03$  mmそして10000回後では $0.20 \pm 0.02$  mmのひずみ量であった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図12はSDのサーマルサイクルと破壊ひずみ量の関係を示す。Asは $0.60 \pm 0.07$  mm, 1000回後では $0.30 \pm 0.04$  mm, 3000回後では $0.26 \pm 0.04$  mm, 10000回後では $0.28 \pm 0.02$  mmのひずみ量であった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図13はUN

のサーマルサイクルと破壊ひずみ量の関係を示す。Asは $0.40 \pm 0.08$  mm, 1000回後のひずみ量は $0.29 \pm 0.06$  mm, 3000回では $0.22 \pm 0.04$  mmそして10000回後では $0.27 \pm 0.05$  mmのひずみ量であった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

サーマルサイクルが終了する同じ時間37℃の水中に保存した試験片の曲げ強さについての結果を示す。図14はBTの測定結果を示す。64時間後の曲げ強さは $103.9 \pm 13.5$  MPa, 144時間後では $73.1 \pm 5.8$  MPaそして424時間後では $94.6 \pm 11.6$  MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図15は

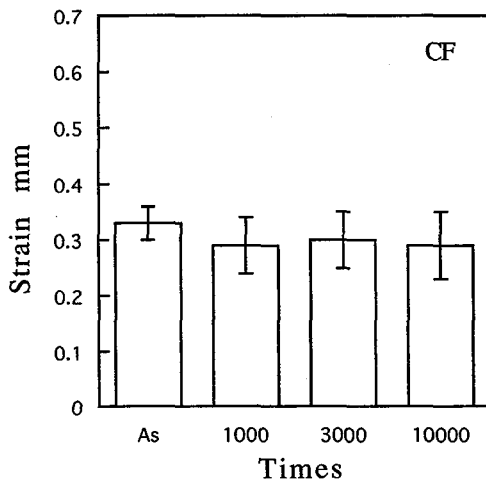


図9：CFの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

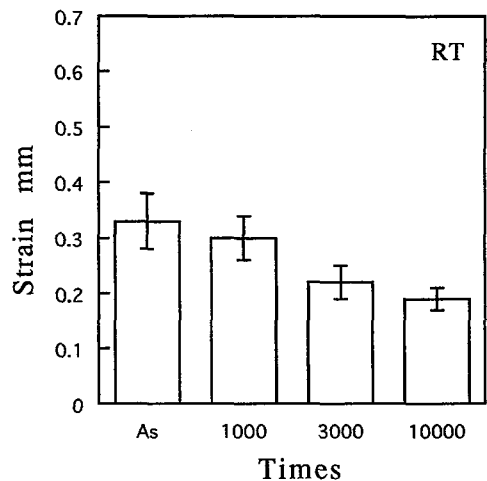


図11：RTの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

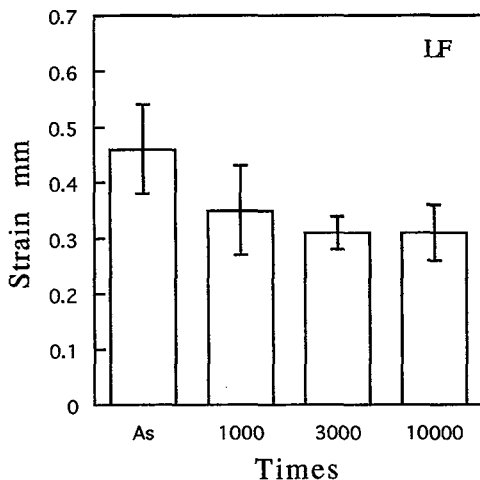


図10：LFの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

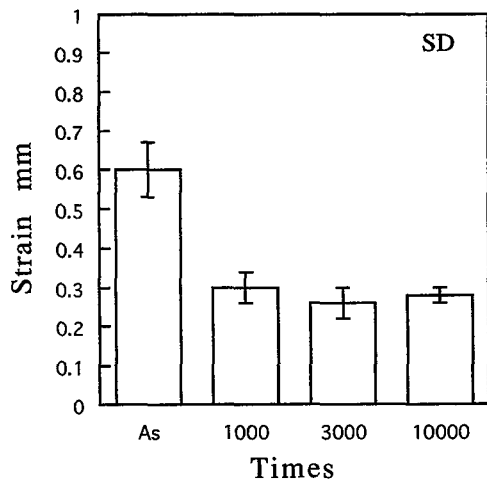


図12：SDの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

CFの測定結果を示す。64時間後の曲げ強さは156.0±20.9 MPa, 144時間後では149.0±19.4 MPaそして424時間後では127.8±27.4 MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差は認められなかった。図16はLFの測定結果を示す。64時間後の曲げ強さは138.7±27.4 MPa, 144時間後では159.3±17.2 MPaそして424時間後では116.2±15.9 MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 (P<0.01) が認められた。図17にRTの測定結果を示す。64時間後では82.3±4.3 MPa, 144時間後では67.4±12.0そして424時間後では60.5±5.8 MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 (P<0.01) が認められた。図18はSD

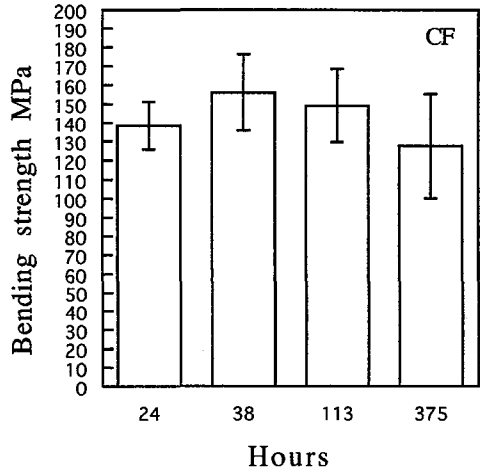


図15: CFの曲げ強さと浸漬時間の関係

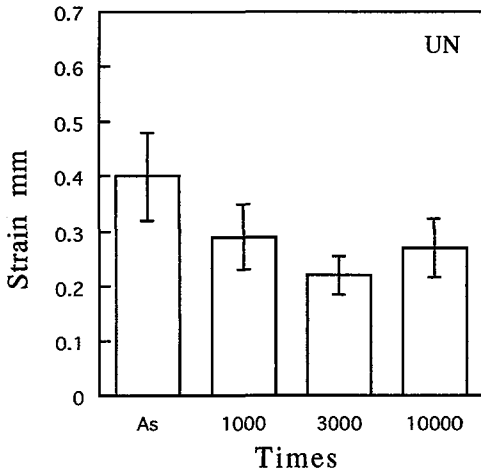


図13: UNの破壊ひずみとサーマルサイクルの関係

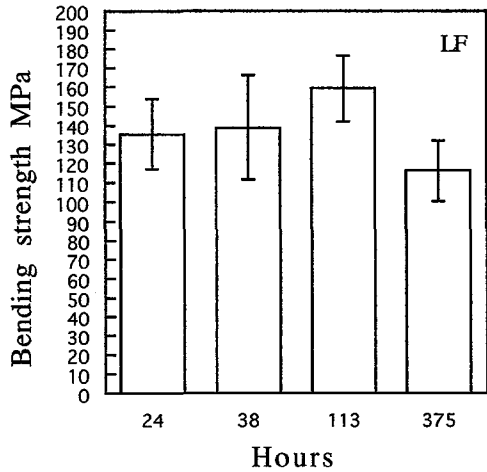


図16: LFの曲げ強さと浸漬時間の関係

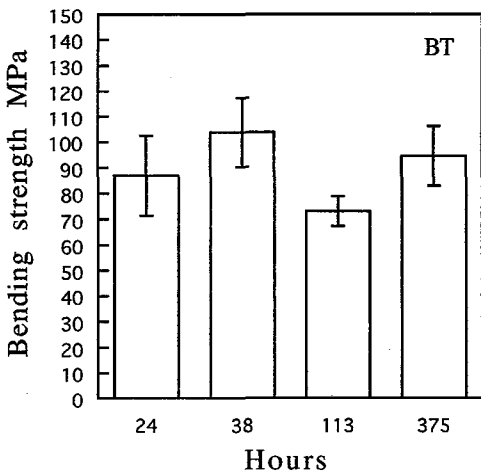


図14: BTの曲げ強さと浸漬時間の関係

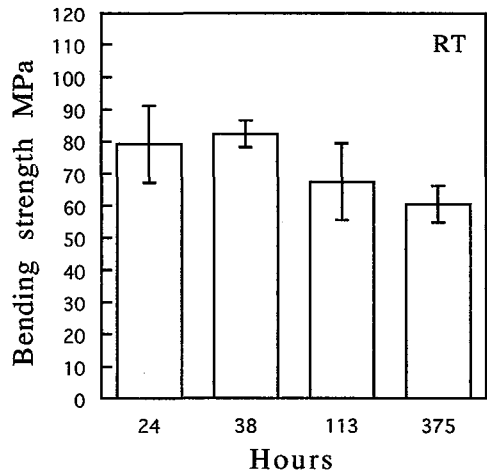


図17: RTの曲げ強さと浸漬時間の関係

の結果を示す。64時間後では $65.8 \pm 6.7$  MPa, 144時間後では $63.4 \pm 7.0$  MPaそして424時間後では $52.6 \pm 3.8$  MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図19はUNの測定結果を示す。64時間後では $118.9 \pm 10.6$  MPaであり、144時間後では $100.3 \pm 24$  MPa, そして424時間後では $98.8 \pm 14.9$  MPaであった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。以下に曲げ破壊ひずみ量の測定結果を示す。図20はBTの測定結果を示す。37℃の水中に64時間浸漬後のひずみ量は $0.38 \pm 0.05$  mm, 144時間後では $0.25 \pm 0.03$ そして424時間後では $0.33 \pm 0.06$  mm

であった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図21はCFの測定結果を示す。64時間後では $0.42 \pm 0.07$  mm, 144時間後では $0.35 \pm 0.05$  mmそして424時間後では $0.34 \pm 0.08$  mmであった。これらの測定値を分散分析した結果有意差 ( $P < 0.05$ ) が認められた。図22はLFの測定結果を示す。64時間後のひずみ量は $0.48 \pm 0.11$  mm, 144時間後では $0.49 \pm 0.06$  mmそして、424時間後では $0.42 \pm 0.06$  mmであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差は認められなかった。図23はRTの測定結果を示す。64時間後のひずみ量は $0.42 \pm 0.03$  mm, 144時間後では $0.31 \pm 0.06$  mm, 424時間後

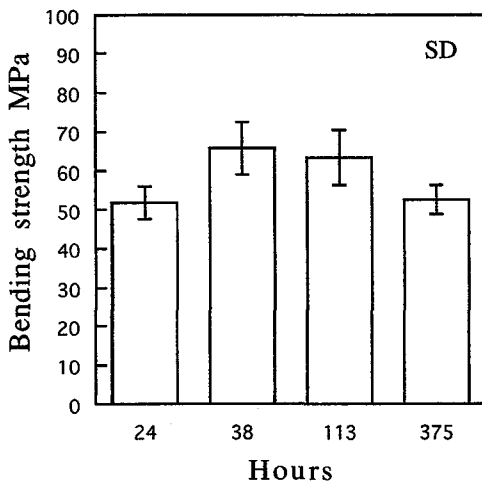


図18：SDの曲げ強さと浸漬時間の関係

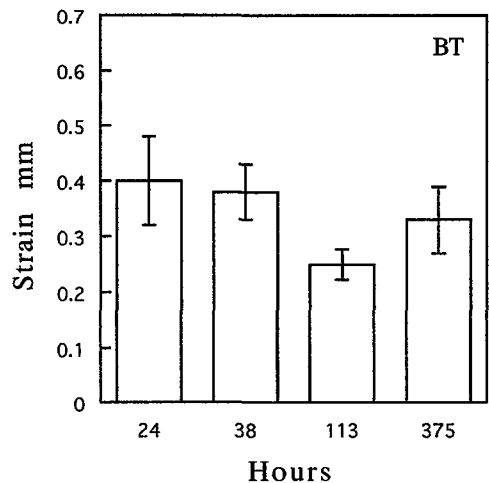


図20：BTの破壊ひずみと浸漬時間の関係

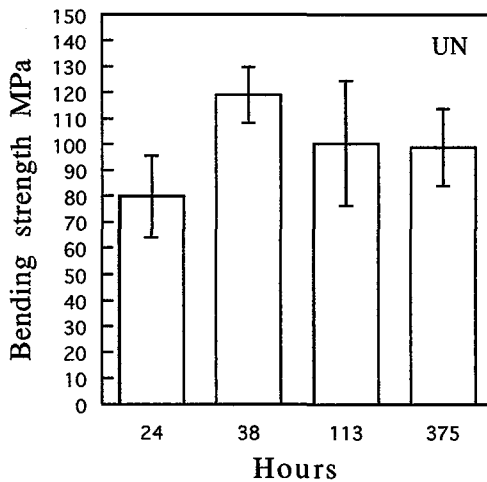


図19：UNの曲げ強さと浸漬時間の関係

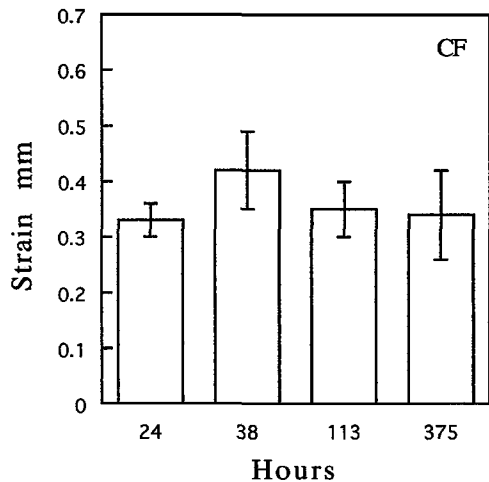


図21：CFの破壊ひずみと浸漬時間の関係

では $0.31 \pm 0.02$  mmであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。図24はSDの測定結果である。64時間後のひずみ量は $0.69 \pm 0.06$  mm, 144時間後は $0.65 \pm 0.07$  mmそして424時間後は $0.59 \pm 0.06$  mmであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.05$ ) が認められた。図25はUNの測定結果を示す。64時間後は $0.54 \pm 0.04$  mm, 144時間後では $0.38 \pm 0.09$  mmそして424時間後では $0.45 \pm 0.08$  mmであった。これらの測定値を分散分析した結果、有意差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。

SEMの観察結果を図26に示す。6種類の材料

は大小のフィラーが観察された。特にSDでは数十 $\mu$ mの大きなフィラーが多数認められた。UNは比較的均一で不定形の微小フィラーが観察された。また、破断面を観察した結果、RTは亀裂が観察された。

考 察

それぞれのコンポジットレジンを用いて試験片を作製し、サーマルサイクル後とサーマルサイクルに費やした時間だけ37℃の恒温槽中に浸漬した試験片についての曲げ強さと破壊ひずみ量を測定し、材質がどのように変化するかを検討した。その結果、BTはサーマルサイクル10000回におい

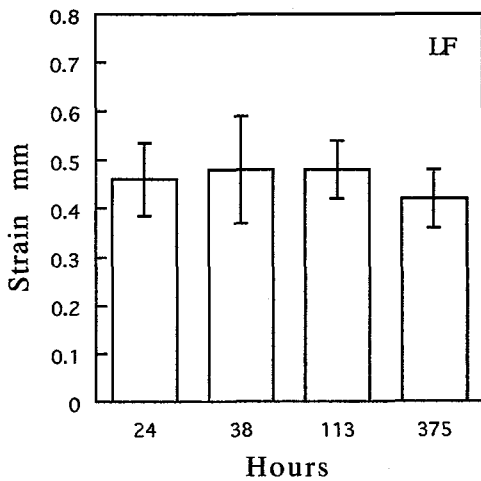


図22：LFの破壊ひずみと浸漬時間の関係

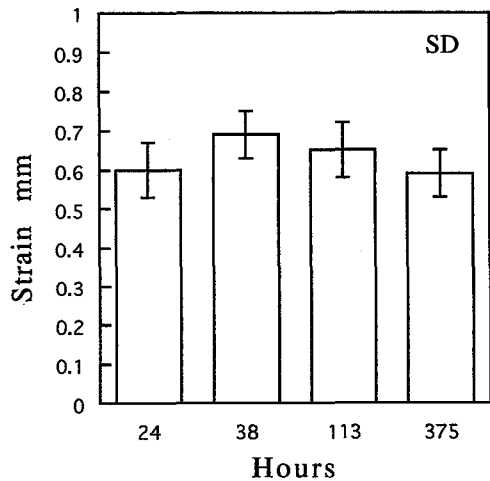


図24：SDの破壊ひずみと浸漬時間の関係

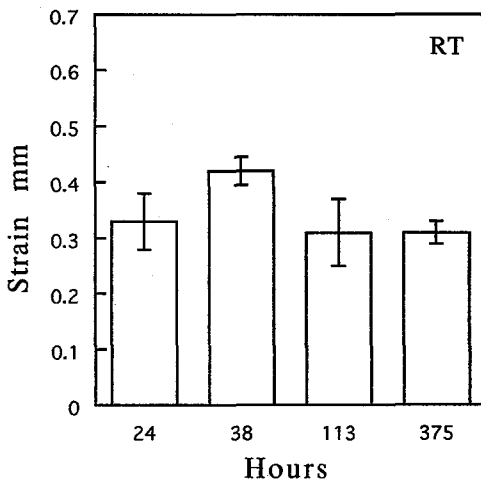


図23：RTの破壊ひずみと浸漬時間の関係

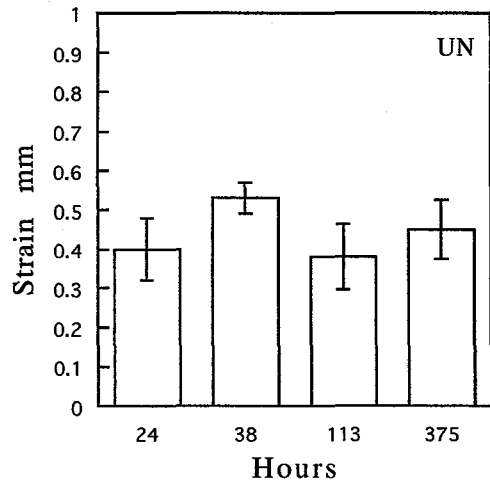


図25：UNの破壊ひずみと浸漬時間の関係



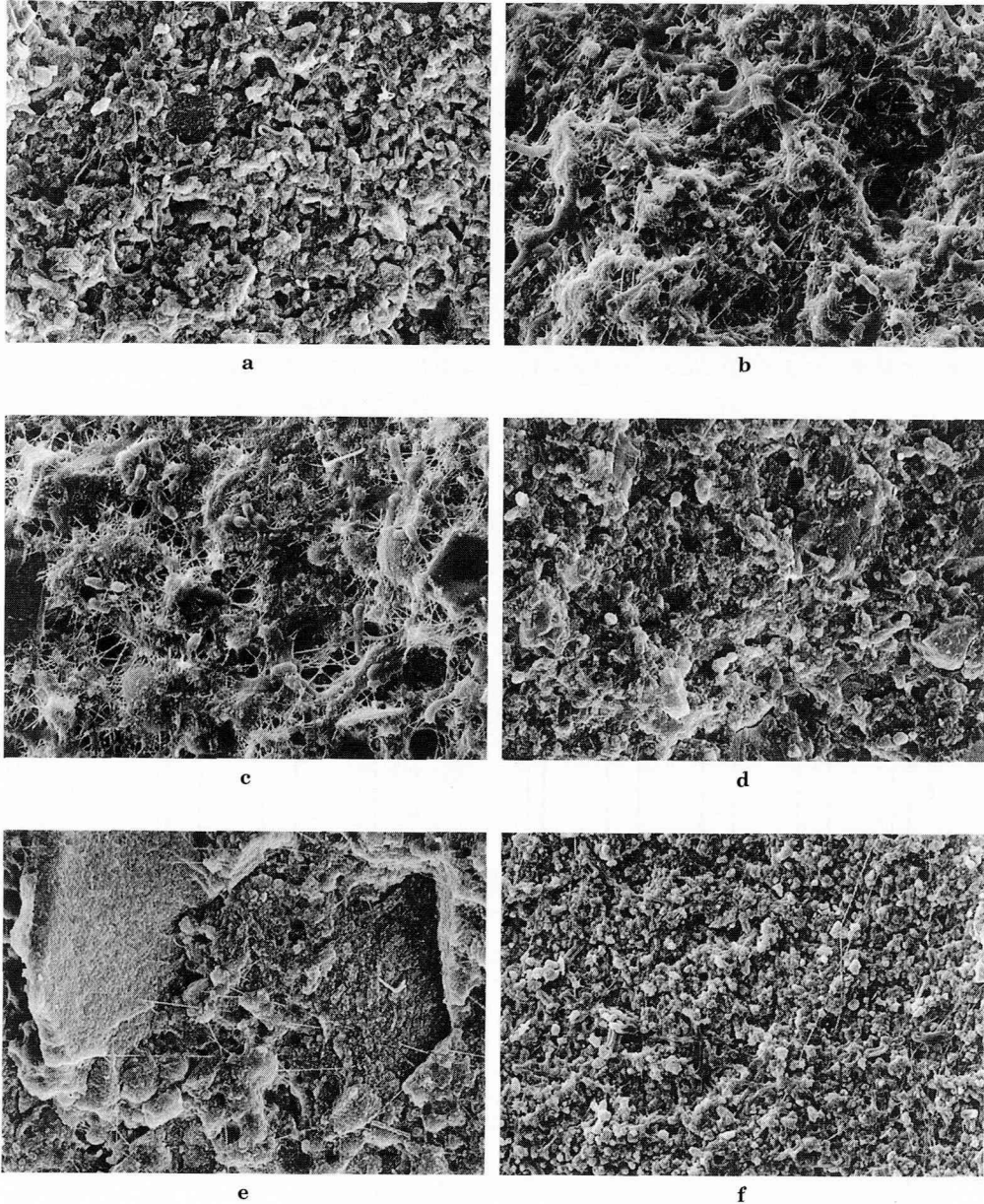


図26：破断面の観察結果（×1000）

a:BT, b:CF, c:LF, d:RT, e:SD, f:UN

て曲げ強さの減少率は最大約30%であった。CFは1000回から10000回までほとんど曲げ強さは差がなく、サーマルサイクル前と比較して約10.5%の減少率であった。LFは3000回と10000回が同じ曲げ強さを示し、Asと比較して約22%の減少であった。RTは、10000回が最も曲げ強さは小さく、その減少率は約49%であった。SDは3000

回のとき最小の曲げ強さを示し、その減少率は約56%であった。ついでUNの場合は、10000回のとき最小の曲げ強さを示し、その減少率は約38%であった。この結果から減少率が最も大きかったコンポジットレジンにSDであり、ついでRTであった。また、最も減少率が小さかったのはCFであり、SDとRTが熱の影響を受けやすく、CF

が最も熱の影響を受けにくいことが明らかとなった。曲げ強さの減少は、繰返される加熱と冷却によって、フィラーとレジンマトリックスの界面部分で debonding が生じたのが原因したものと考えられる<sup>1-3)</sup>。また、破断面の観察において、サーマルサイクルの回数が増加するにしたがって、破断面に糸状の物体が観察されており、材質変化と何らかの関係が有ると考えられるが、さらなる検討が必要である。また、いずれのコンポジットレジンは As よりも大きな曲げ強さを示すことはなかった。一方、37℃の生理食塩水中に浸漬した BT は64時間後で As よりも約19%大きな曲げ強さを示し、120時間後では最も小さな曲げ強さを示し、その減少率は約16%であった。CF は64時間後で As よりも約13%の大きな曲げ強さを示し、424時間後では最も曲げ強さは小さく、その減少率は約8%であった。LF は120時間後が最大の曲げ強さを示し、その増加率は約18%であった。最小値は424時間であり、減少率は約14%であった。RT は、64時間後に約4%の増加率であった。最小の曲げ強さは424時間後の約24%の減少率であった。SD はすべての時間において増加傾向にあり、最大値は64時間後の約27%であった。

つぎに UN においてもすべての時間において増加傾向を示し、最大は64時間後の約49%であった。サーマルサイクルでは As よりも曲げ強さは大きくなることはなかったが、37℃の浸漬では SD と UW に関してはすべての浸漬時間において As よりも曲げ強さは小さくなることはなかった。これは重合度が進行したものと考えられる。一方、サーマルサイクルを行った試験片の曲げ強さの減少率は37℃の生理食塩水中に浸漬した曲げ強さの減少率よりもすべて大きな値を示した。これは口腔内において飲食物による温度変化によって、コンポジットレジンが劣化することを示しているものと考えられる。

つぎに As と比較した BT の破壊ひずみ量の最大の減少率はサーマルサイクル1000回の約51%であり、CF の最大の減少率は10000回の約11%、LF の最大の減少率は10000回の約33%、RT の最大の減少率は10000回の約41%、SD の最大の減少率は3000回の約57%そして UN の最大の減少率は3000回の約45%であった。サーマルサイクルを

行ったすべての試験片は As よりもひずみ量が大きくなることはなかった。一方、37℃の生理食塩水中に浸漬した試験片 BT の破壊ひずみ量は、64時間で最大約37%減少し、CF はすべて増加しており、64時間後で最大約28%、LF は120時間後で最大値を示し、約5%であり、減少率の最大値は424時間後で約9%であった。RT の最大増加率は64時間後の約25%、減少率の最大値は424時間後の約7%であった。SD の最大増加率は64時間後の約14%、最大減少率は424時間後の約3%、つぎに UN のひずみ量の最大増加率は64時間後の約33%、最大減少率は120時間後の約7%であった。37℃に浸漬した試験片 BT のひずみ量は As と比較してすべて減少し、CF はすべて増加を示した。LF、RT、SD と UN は増加と減少を示した。破断面の観察を行った結果、BT は亀裂が認められなかったが、ひずみ量は As と比較してすべて減少を示した。一方、亀裂が認められなかった CF のひずみ量はすべて増加する傾向であった。亀裂が観察された RT に関しては増加と減少傾向を示した。平林らは、1990年に熱サイクルによるコンポジットレジンの耐久性評価を報告しており、レジンとフィラーとの結合が弱いために亀裂が多く発生することを報告している<sup>7)</sup>。この欠点が改良され、現在では5万回の4℃と60℃のサーマルサイクルでも亀裂は発生しなかったことを報告している<sup>8)</sup>。この原因は照射後の60℃加熱によって、架橋密度が高まり、熱膨張係数が低下することと、重合時の内部応力が解放されるために亀裂の発生がなかったことを示している<sup>9)</sup>。また、照射後の加熱処理は重合率および物性を向上することが報告されている。しかし、フィラーとレジンの debonding やレジンの加水分解そしてシリカ系フィラーの Si イオンの溶出による材質の劣化を報告しており、ひとつの事項が原因するのではなく、多数の因子が重複して劣化が生じたものと考えられる<sup>1-3)</sup>。

すべての試験片の曲げ強さと破壊ひずみとの関係について回帰直線を求めた結果を図27～32に示す。

すべてにおいて両者は高い相関関係が得られた。曲げ強さが大きくなるほど破壊ひずみは大きくなることを示している。その中で SD は最も熱による影響を受けにくく、ついで BT、UN、RT、

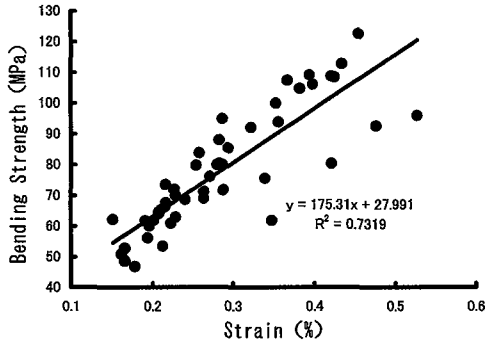


図27：BTの曲げ強さと破壊ひずみの関係

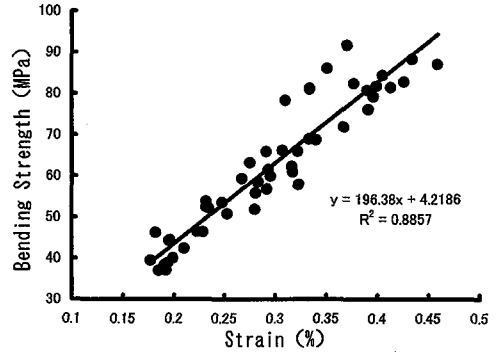


図30：RTの曲げ強さと破壊ひずみの関係

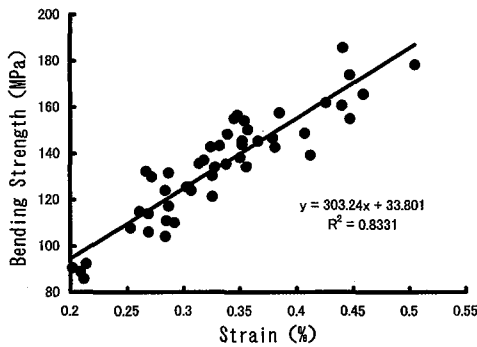


図28：CFの曲げ強さと破壊ひずみの関係

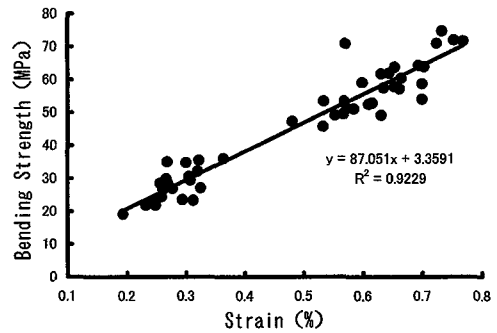


図31：SDの曲げ強さと破壊ひずみの関係

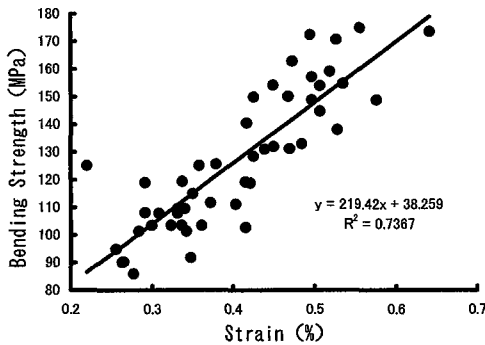


図29：LFの曲げ強さと破壊ひずみの関係

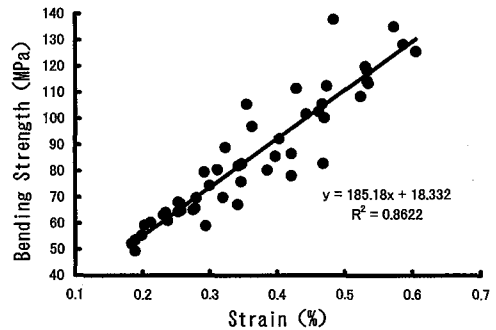


図32：UNの曲げ強さと破壊ひずみの関係

LFそしてCFであった。この熱影響についてはベースに使用する。レジンの種類等によって異なると考えられた。

## 結 論

市販されているコンポジットレジン6種類を用い、口腔内で材質の変化がどのように生じるかについて検討を行った。4℃と60℃のサーマルサイクルを1000回、3000回と10000回繰返し行い、曲

げ強さと破壊ひずみ量について測定した。また、サーマルサイクルが終了するまでの時間と同じ時間37℃の生理食塩水中に浸漬した試験片の曲げ強さと破壊ひずみ量についても検討した。さらに、曲げ試験を行った破断面について観察を行った。その結果、以下の結論が得られた。

1. サーマルサイクルを行った試験片の曲げ強さとひずみ量はコントロールと比較してすべて減少した。

2. 37℃の生理食塩水中に浸漬した試験片 SD と UN の曲げ強さは浸漬することによってコントロールよりも大きくなり、この結果は有意差が認められた。BT, CF, LF, RT の曲げ強さには一定の傾向は見られなかった。
3. 37℃の生理食塩水中に浸漬した試験片 CF のひずみ量はすべて増加した。その他の試験片は増加と減少を示した。
4. コンポジットレジン は口腔内温度によって材質が影響されることが明らかとなった。
5. SD が最も熱影響を受けにくい材質であり、CF が最も受けやすい材質であった。

#### 文 献

- 1) 川口 稔, 福島忠男, 宮崎光治 (1994) 歯科用コンポジットレジンの劣化関与因子 2 劣化コンポジットレジンの SEM 観察. 歯材器誌 **13**: 116-21.
- 2) Söderholm, k. J. Z: gan, M., RaganM., Fishlschweiger, W. and Bergman, M. (1984) Hydrolytic degradation of dental composites. J Dent Res **63**: 1248-54.
- 3) Mckinney, J. E. (1985) Environmental damage and wear of dental Composite restoratives. Posterior Composite resin dental restorative materials, P. Szulic publishing Co 331-47.
- 4) 安斎 碯 (1990) 市販コンポジットレジンの耐久性の検討-主として MeOH に浸漬した場合の曲げ強さおよび曲げ弾性率の経時的な変化について-. 歯材器誌 **9**: 463-73.
- 5) 川口 稔, 福島忠男, 宮崎光治 (1994) 歯科用コンポジットレジンの劣化関与因子 1. 試作コンポジットレジンの加速劣化試験. 歯材器誌 **12**: 116-21.
- 6) 堀江恭一, 中島章富, 細田裕康 (1987) 臼歯修復用レジンの耐久性に関する研究 その 1. 繰り返し圧縮の影響について. 歯材器誌 **6**: 228-35.
- 7) 平林 茂, 野本理恵, 原嶋郁郎, 平澤 忠 (1990) 熱サイクルによる各種光重合コンポジットレジンの耐久性評価. 歯材器誌 **9**: 53-64.
- 8) 野本理恵, 平澤 忠 (1992) 沸騰水浸漬および熱サイクルによる各種インレー用コンポジットレジンの耐久性評価. 歯材器誌 **11**: 647-55.