

## 重付加型シリコンラバー印象材の撥水性について

五十嵐雅子, 植木一範, 河野正司

明倫短期大学 歯科技工士学科

## The Water Repellency on the Polyaddition Silicone Rubber Impression Material

Masako Ikarashi, Kazunori Ueki, Shoji Kohno

Department of Dental Technology, Meirin College

重付加型シリコンラバー印象材は寸法精度などに優れ多用されているが、撥水性が高いため石膏注入時に石膏泥をはじき易い欠点がある。その欠点を補うために撥水性を抑えた製品が市販されているが、それでも界面活性剤を塗布した後に石膏注入を行うという臨床報告もある。

そこで、シリコンラバー印象材の撥水性と界面活性剤の使用効果を確認するためシリコン板試験片を製作し、シリコン板上の全面に石膏泥を盛りつけ、傾斜と振動を与え、シリコン板上に残る硬化石膏を観察した。観察は、目視およびデジタル画像からシリコン板上の石膏面積率を求める方法を行った。

その結果、重付加型シリコンラバー印象材の板上に残存する硬化石膏の面積率がシリコン板上の平均25%を占める程度であった。一方シリコンラバー印象材と石膏泥の撥水性は、水とシリコンラバー印象材の間の表面張力により影響されるが、界面活性剤の塗布は硬化石膏の面積率87%以上を占めたことから効果的であった。しかし、石膏泥がシリコン板上の辺縁には流れなかったことから細部への石膏注入は細心の注意が必要である。

また、試験片に残存する硬化石膏の面積率は、石膏の混水比と石膏の粘性により変化した。石膏の撥水性に加えて強度および表面性状の影響の観点からも印象内へ注入する石膏は、標準混水比を守り、練和後はすぐに注入することが好ましいことが明らかになった。

キーワード：シリコンラバー印象材, 石膏, 撥水性, 界面活性剤, 界面張力

Keywords: Silicone Rubber Impression Materials, Dental Plaster, Water Repellent, Surfactant, Interfacial Tension

## I. 緒 言

歯冠修復補綴装置の製作過程における支台歯の印象採得には、弾性や寸法精度が優れ、経時的にも安定なラバー系印象材が多用されている。

しかし、ラバー系印象材はハイドロコロイド系印象材に比較して撥水性が高いため、石膏注入時に石膏泥をはじき易く、支台歯隅角部やマージン部に気泡が迷入したり、水洗いした水滴が印象面に残存して面荒れを起ししやすいなどの欠点がある。

この欠点を補うために現在使用されている重付加型のシリコンラバー印象材には、撥水性を抑えるために、界面活性剤が添加されている<sup>1)</sup>とのことで

あるが、臨床の場ではさらに界面活性剤を塗布した後に、石膏注入を行うとする臨床報告もある<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、クラウン・ブリッジなどの製作過程における印象内への石膏注入操作の注意事項を明らかにするため、シリコンラバー印象材の撥水性と界面活性剤の使用効果および印象内に注入する石膏の操作性を確認する実験を行ったので、ここに報告する。

## II. 方 法

重付加型のシリコンラバー印象材で製作したシリコン板に、界面活性剤の処理を施し、この板上に石膏泥を流し硬化させる。硬化後、シリコン板上の石膏の形状の観察および石膏表面積の計測を行

うことにより、シリコンラバー印象材の撥水性と界面活性剤の使用効果を客観的に評価した。

### 1. シリコン板試験片の製作

シリコン板試験片は親水性重付加型シリコンラバー印象材（エクザハイフレックス レギュラータイプ ジーシー社製）を使用し、次項のごとくに製作した。

また、メーカーに特別に試作してもらって、界面活性剤を添加前のシリコンラバー印象材についても同様に試験した。

#### 1) 試験片の形状

試験片は、あらかじめ製作しておいた縦75mm×横50mm×厚み5mmの石膏板上に、別に製作した厚み2mmのシリコンラバー印象材のシートを貼り付けたものとした。

シリコンラバー印象材は通法に従い練和し、シリコンラバー印象材の表面が滑らかになるように2枚のガラス練板で2mmの厚みを保持しながら圧接し、硬化させた。その際、気泡が混入しないように、一方のガラス練板には練和した印象材をスパチュラで撫でつけるように盛り上げ、他方のガラス練板をその端から徐々に空気を追い出すように倒しかぶせた。

硬化したシート状のシリコンラバー印象材は石膏の板上に瞬間接着剤で貼り付けて、平面が保持できるようにした。

#### 2) シリコン板試験片の枚数

実験は次項に記すシリコン板の表面処理の有無の条件に合わせて、各条件1枚ずつ、合計9枚の試験片を製作した。

### 2. 試験片の表面処理法

#### 1) 界面活性剤無塗布（A, B, C, D試験片）

シリコン板上に汚れを付着させないように扱い、特別な表面処理は行わなかった。

#### 2) 界面活性剤塗布（E, F, G試験片）

界面活性剤はシリコンラバー印象材の表面処理にも使用できるように、エアゾール化されたスプレータイプのワックスパターン塗布材（シュールキャストスプレー ジーシー社製）を使用し、シリコン板試験片の印象材表面から20cm離して均一に噴霧後、エアガンを用いて弱いエアを吹きかけ目視により水分が消失するまで乾燥させた。

### 3. 石膏泥の流し方

#### 1) 石膏泥の練和

デジタル式秤（新光電子社製）を用いて、硬質石膏30グラム（色：グレー 吉野石膏社製）と室温に保った水6.9グラムをそれぞれ計量し、真空攪拌埋没機（マルチバックコンパクト デグサ社製）にて30秒間真空練和した。その後バイブレーターによる脱泡は行わなかった。

#### 2) 試験片への石膏泥流し込み法

石膏練和開始からシリコン板上に石膏泥を盛り上げるまでの操作を手際よく約1分40秒間で行った。その後、シリコン板上全面に練和した全量の石膏泥を厚さ約3mmになるようにスパチュラで均一に盛りつけ、次いでバイブレーター上に45度の傾斜で保持して60秒間加振後、水平を保ち硬化させた。シリコン板上の石膏泥は、バイブレーター上で多少流れ落ちたが、特別な処理は行わなかった。

界面活性剤無塗布における4個の試験片（A, B, C, D試験片）のうちC試験片については、練和石膏の流動性を抑えてから流し込むとA, B試験片とは異なる結果が得られるという予測のもとに、石膏練和後シリコン板上に盛りつけて3分間放置し、石膏表面の水が消失し始め、やや硬さが発現してきたと思われる頃に流し込んだ。石膏泥を流し込むタイミング以外はA, B試験片と同条件で行った。

また、D試験片については、練和石膏の流動性を高めれば、C試験片同様に異なる結果が得られるという予測のもとに、混水比を標準混水比より約17%大きくした（硬質石膏30グラム、水8.1グラム（室温））。それ以外はA, B試験片と同法で行った。

### 4. 石膏泥の観察と面積の測定法

シリコン板上で硬化した硬質石膏の流動形態は、目視による観察と共にデジタル画像として写真記録後、2値化処理して、シリコン板上の硬質石膏面積を相対値として求めた。

#### 1) 目視観察法

硬化したシリコン板上の石膏形態は種々の様相を示すので、その形状をスケッチして特徴を記した。

#### 2) 面積の測定法

シリコン板は机上で水平に保ち、その鉛直線上にデジタル一眼レフカメラ（Canon EOS DIGITAL キヤノン社製）を三脚によって定位して、焦点距離f:100mm F:2.8のマクロレンズにより、1枚を約530万画素数で撮影・記録した。

記録したデジタル画像はソフトウェア (Photoshop7.0 Adobe社製) を使用してパソコン上でグレースケール化後、さらに色調補正トーンカーブ機能を利用して、画像の石膏部分と印象面のコントラストが鮮明になるように調整した分析画像を製作した。

次いで、調整した画像を分析ソフトウェア (WinROOF 三谷商事社製) に読み込み、2値化処理を行った (図1)。

さらに分析ソフトウェアによる計測機能を用いて、選択域のピクセル数をカウントし、シリコン板上における石膏の面積率 (ピクセル比率) を求めた。

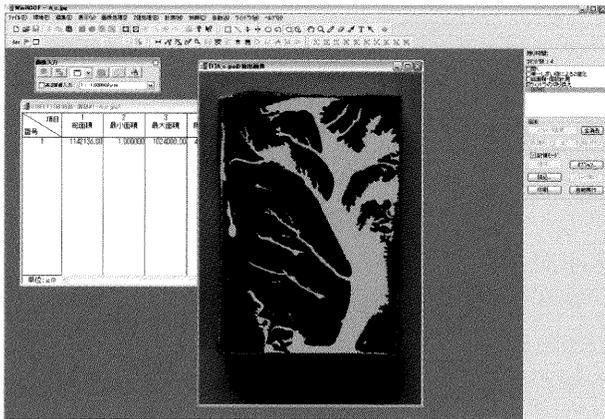


図1. 分析ソフトウェアWinROOFによる2値化処理

### III. 結 果

#### 1. 目視による観察

##### 1) 界面活性剤無塗布のシリコン板について

シリコン板に振動を与えたと同時に石膏泥が流れ落ち、シリコン板上に残存する石膏泥が少量になるにつれ、シリコン板の辺縁からはじかれながら部分的に石膏泥を残し、中央部に集まり流れ落ちていく様相を観察することができた。

さらにシリコン板上に残存する硬化石膏を観察すると、その流動形態には規則性がなく、硬化石膏より露出する印象材の範囲が広くみられたが、はじかれた石膏泥が中央部に集まって硬化した様相が観察された (図2-A,B,C,D)。その結果、シリコン板上の辺縁にはほとんど残存する硬化石膏がみられなかった。

シリコン板上の全面に石膏泥を盛りつけてから流し込むタイミングを遅くして、観察を試みたC試験片については、A、B試験片に比べ、シリコン板上の硬化石膏は中央部にやや広い範囲で残存した。しかし、A、B試験片同様にシリコン板の辺縁にはほとんど残存する硬化石膏がみられなかった。

石膏泥の混水比を標準混水比よりやや大きくしたD試験片については、A、B試験片に比べ、シリコン板上の中央に残存した硬化石膏の占める範囲が、

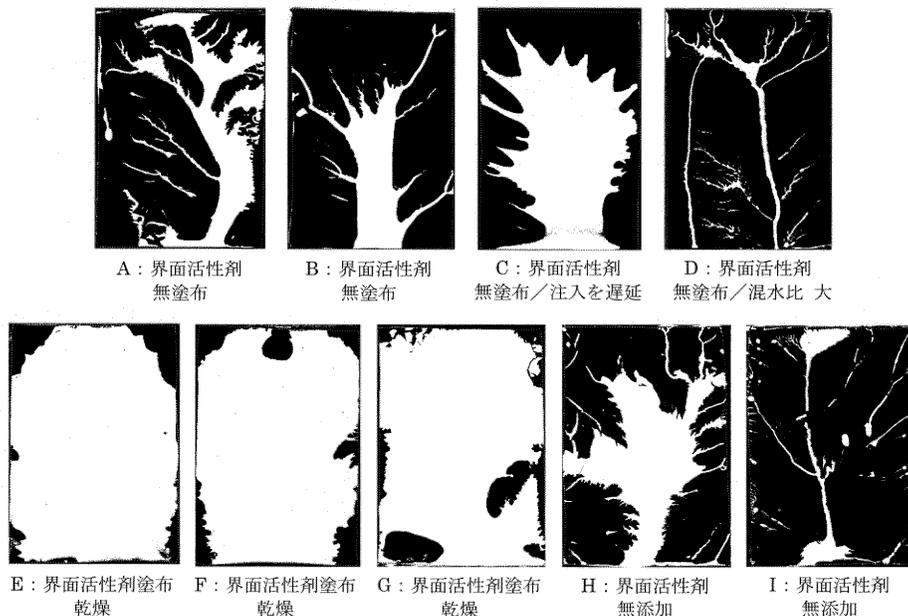


図2 各条件における硬化石膏の流動形態

各シリコン板の上方から45度傾斜させ、加振後硬化した石膏泥を白色で示す。

CはA、Bと同様の練和石膏を盛りつけ後3分間放置した試験片

Dは石膏の混水比を大きくし、A、Bと同様の方法で流し込んだ試験片

H、Iは界面活性剤無添加の印象材を用い、A、Bと同様の方法で流し込んだ試験片

表 1. 各条件における硬化石膏の面積率

条 件	界面活性剤／無塗布				界面活性剤／塗布・乾燥			界面活性剤／無添加	
	コントロール		注入遅延	混水比大	E	F	G	H	I
試 験 片	A	B	C	D	E	F	G	H	I
面積率 (%)	29.1	20.8	49.6	8.5	89.3	88.1	86.2	37.8	10.1
平 均 (%)	25.0				87.9			24.0	

顕著に減少し、かつ辺縁には、硬化石膏がわずかに認められたにすぎなかった。

## 2) 界面活性剤塗布のシリコン板について

シリコン板に振動を与えると、表層部の石膏泥は流れ落ち、シリコン板の辺縁の石膏泥は、わずかにのはじかれたものの中央部に移動する様相はほとんど見られなかった。その後、薄い層の石膏泥が広い範囲で残存したが、辺縁は石膏泥がはじかれ印象材の露出面がわずかにみられた (図2-E,F,G)。

## 2. デジタル画像分析

前項において、界面活性剤塗布の有無によりシリコン板上に占有する石膏泥の面積に大きな差があることが認められた (表 1)。

この様相を客観化する目的でシリコン板上に残存する硬化石膏の面積率 (ピクセル比率) を求めた。

その結果、界面活性剤無塗布の条件では、硬化石膏の占める面積率は 20.8% から 29.1% の範囲で平均 25.0% であった。また、石膏練和後石膏泥を盛りつけて 3 分間放置した C 試験片では 49.6% と、石膏泥を盛りつけてすぐに流し込んだ A, B 試験片の平均面積率の約 2 倍の広さに石膏泥が残存した。石膏の混水比を大きくし流動性を高めた D 試験片では、8.5% と、A, B 試験片の平均面積率の約 3 分の 1 に減少した。

界面活性剤塗布の条件では、86.2% から 89.3% の範囲で平均 87.9% であり、シリコン板上に残存する硬化石膏の面積率は、界面活性剤無塗布の条件の約 3.5 倍を占め、石膏泥が板上になじんでいる様相が認められた。

## 3. 界面活性剤無添加の重付加型シリコンラバー印象材について

界面活性剤が添加されていないシリコンラバー印象材を用いた H, I 試験片は、A, B, C, D 試験片同様に流動形態には規則性がなく、硬化石膏より露出する印象材の範囲が広くみられたが、はじかれた石膏泥が中央部に集まって硬化した様相が観察され、シリコン板上の辺縁にはほとんど残存する

硬化石膏がみられなかった (図2-H,I)。

シリコン板上に残存する硬化石膏の面積率は、10.1% から 37.8% の範囲であった。その範囲は、界面活性剤が添加されている A, B 試験片における 20.8% から 29.1% の範囲の約 3 倍を占めた。

## IV 考 察

### 1. 研究の目的について

間接法により補綴装置を製作する歯科技工において、作業模型が正確に再現されていることが不可欠である。現在多用されている重付加型シリコンラバー印象材は寸法精度に優れているが、撥水性を示すことから模型の表面性状に影響を与える気泡の迷入や面荒れに注意しなければならない。

クラウンを製作する過程において、印象採得された印象内に石膏を注入する際、とくにクラウンの適合性を決定する支台歯隅角部やクラウンの辺縁部に相当するマージン部に気泡や面荒れが好発しやすい。この解決には界面活性剤が有効である。

そこで、界面活性剤が添加され親水性を向上させた重付加型シリコンラバー印象材の撥水性と界面活性剤の効果にくわえて、印象内に注入する石膏の操作性を確認する実験を行い、クラウン製作過程における印象内の石膏注入操作の注意事項を明らかにすることを目的にした。

### 2. 結果について

#### 1) 界面活性剤を塗布しない場合について

##### ① シリコン印象材の撥水性について

石膏練和後すぐに注入した A, B 試験片では、シリコン板上の硬化石膏の面積率が平均 25.0% であることに加えて、石膏泥が中央に集まって硬化した様相から、本実験に使用した重付加型シリコンラバー印象材の撥水性は強いと考えられる。

よって、シリコンラバー印象材の印象内に石膏泥を注入する際、支台歯隅角部やマージン部などの細部に限らず気泡が入りやすいことが容易に推察される。

メーカーの説明によると今回使用した親水性重付

加型シリコンラバー印象材には界面活性剤を添加して親水性をもたせたということであるが、印象内の石膏注入操作を容易にする程ではないと考えられる。

## ② 石膏注入を遅延させたC試験片について

無塗布のシリコン板上では、石膏泥がほとんどはじかれてしまい、硬化石膏の面積率が低かったため、流し込むタイミングを遅らせて石膏泥の流動性を低下させることで、シリコン板上に残る硬化石膏の面積率が高くなるのではないかと考えた。そこで、石膏泥を流し込むタイミングを3分遅らせて行った。

A, Bの試験片に比べ、シリコン板上に残存する硬化石膏の面積率が1.7~2.4倍程大きくなった(図2-C)。石膏泥の流し込むタイミングを多少遅らせたため、石膏泥にやや硬さが発現し、流動性の低下と共に粘性が増加したことで、硬化石膏の面積率に影響したと思われる。

上述したように残存する硬化石膏の面積率はわずかに向上したが、硬化石膏はシリコン板上の辺縁にみられず、シリコンラバー印象材に対する石膏泥の撥水性は、A, Bの試験片と同様であった。このことから、流動性が低下した石膏泥は支台歯隅角部やマージン部に流れにくいので、印象内の石膏注入は練和後すぐに行うことが好ましいと思われる。

## ③ 混水比を大きくしたD試験片について

上述したようにC試験片では、流し込むタイミングを遅らせて石膏泥の流動性を低下させても、石膏泥はシリコン板上の辺縁に流れず、シリコン板上に残る硬化石膏の面積率はわずかに向上したにすぎなかった。そこで、石膏泥の混水比を標準混水比よりやや大きくして、石膏泥の流動性を高くすれば、シリコン板上の辺縁へ流れやすくなるか試してみた。

シリコン板上に石膏泥を盛り上げる際、シリコン板から石膏泥が流れやすく、盛り上げが容易ではなかった。

混水比を大きくした硬化石膏の面積率は約8.5%で、標準混水比で行った条件(A, B試験片)の平均面積率の約3分の1となり、流れは良好となることを示した(図2-D)。しかし、石膏泥の混水比が大きくなれば、粘性が低下し、石膏泥の撥水性も強く現れるので、支台歯隅角部やマージン部などの細部以外の広い部分にも気泡が入りやすくなると考えられる。それに加えて、模型の強度低下や面荒れが推察されるので、必ずしも好ましいものではないと考えられるべきであろう。

## 2) 界面活性剤塗布の効果について

界面活性剤を使用すると、シリコンラバー印象材との石膏泥の親和性が約3.5倍向上したことから、親水性重付加型シリコンラバー印象材に界面活性剤を塗布することは効果的であると思われる。とくに支台歯数が多ければ、印象内の細部箇所が増え、石膏注入が難しくなるが、界面活性剤を塗布することによって、広い部分への石膏注入操作が容易になるとと思われる。

しかし、シリコン板上の辺縁には硬化石膏が存在しなかったことから、界面活性剤を使用しても、支台歯隅角部やマージン部は気泡好発部になってしまう。このことから界面活性剤を使用したとしても印象内の石膏注入は、最初に支台歯隅角部やマージン部に先端部の細いインスツルメントを用いて少量の石膏を一方向から注入するなど、細部に細心の注意が必要であると思われる。

## 3. 界面活性剤の親水作用について

固体上に水滴を垂らすと水滴が丸くなるが、その形状は固体表面のぬれの状態により変化することが知られている<sup>3)</sup>。

ぬれの度合いは、固体上の水滴の接触角で表される。接触角が大きいとぬれにくい状態になり水をはじく、接触角が小さいとぬれやすい状態になり水滴は固体表面に薄く広がる。ぬれやすくするためには、水と固体の間の界面張力を小さくし、水の表面張力を低下させなくてはならない。そこで界面活性剤を塗布すれば、水と固体の間の界面張力と水の表面張力を低下させてぬれが促進することになる<sup>3)</sup>。

### ① 界面活性剤無塗布の試験片について

界面活性剤無塗布の条件では、観察どおりはじいた石膏泥が、シリコン板上の中央に集まり流れ落ちた様相を示したが、シリコンラバー印象材と水の間の界面張力と水の表面張力が強くなり、その結果、接触角は大きくなりシリコンラバー印象材と石膏泥の撥水性が高く、シリコン板上の石膏泥は、ほとんど残ることなく流れ落ちたと考えられる(図3)。

### ② 界面活性剤塗布の試験片について

界面活性剤塗布の条件では、石膏泥はシリコン板上のほぼ全面を覆った様相を示したが、界面活性剤によりシリコンラバー印象材上のぬれ性が促進された。このため、シリコンラバー印象材と水の間の界面張力と水の表面張力が低下し、水の接触角が小さくなり石膏泥はシリコン板上を薄い層では

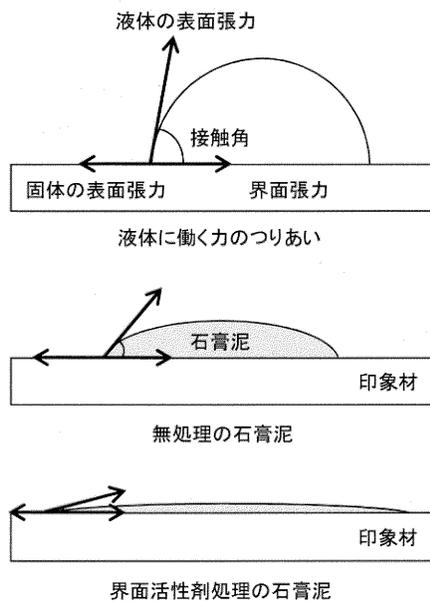


図3. シリコンラバー印象材と石膏泥におけるぬれ性と接触角の関係

シリコンラバー印象材の表面処理法による石膏泥のぬれ性の度合いを界面張力と石膏泥の表面張力でなく接触角で示す。

ば全面に残存したと考えられる (図3)。

しかし、印象の隅角やマージン部のような微小なところでは、接触角が小さくなる界面活性効果は表しにくくなることから、気泡が出現しやすくなるであろう。

### ③ 界面活性剤の添加について

メーカー (株式会社ジーシー) のコメントによれば、重付加型シリコンラバー印象材に親水性を与える目的としては、唾液や浸出液が多く存在する口腔内の組織に対する親和性を向上させるためや、印象採得後の石膏注入を容易にし、気泡の少ない模型を製作するためである。

しかし、多量の界面活性剤の添加は、石膏模型の面荒れを引き起こす原因となるため、親水性を向上させるには、界面活性剤の添加では充分であるとは言えないとのことである<sup>1)</sup>。

界面活性剤無添加の重付加型シリコンラバー印象材を用いたH, I試験片は、シリコン板上に残存する硬化石膏の面積率が10.1%から37.8%の範囲であり、その範囲がA, B試験片の20.8%から29.1%の約3倍を占めたように、シリコン板上に残存する硬化石膏の流動形態に規則性がなく、硬化

石膏より露出する印象材の範囲が広くみられたことからシリコンラバー印象材に界面活性剤の添加や界面活性剤の塗布が必要となってくると思われる。しかし、上述したように模型の再現性の観点から界面活性剤の塗布による石膏模型の面荒れの影響についても検討する必要があると思われる。

## V 結 論

親水性重付加型シリコンラバー印象材の撥水性と界面活性剤の使用効果および印象内に注入する石膏の操作性を検討して、以下の結論を得た。

1. 親水性重付加型シリコンラバー印象材の板上に残存する硬化石膏の面積率は、シリコン板上の平均25.0%を占める程度であり、シリコン板上の辺縁には全く流れなかった。
2. 親水性重付加型シリコンラバー印象材の板上に、界面活性剤を塗布すると硬化石膏の面積率がシリコン板上の87%以上を占め、界面活性剤の塗布の有効性が確認できた。しかし、シリコンラバー印象材の親和性を向上させても、石膏泥はシリコン板上の辺縁には流れにくかったので、印象内の支台隅角部やマージン部においても流れにくいと推察される。従って、印象内の石膏注入の際は、最初に先端部の細かいインスツルメントを用いて少量の石膏を一方向から細部へ流すなど慎重に操作することに意義があると思われる。
3. 通法による印象内への石膏注入操作の混水比と石膏注入のタイミングを変えても、硬化石膏の面積率は8.5~49.6%を占める程度で改善はみられず、かつシリコン板上の辺縁には石膏が流れなかったことから、通法に従って行うことが好ましいと思われる。

## 文 献

- 1) 株式会社ジーシー：Personal Communication, 添付文書
- 2) 土屋賢司, 松崎正樹：この症例にこの対応クラウン・ブリッジの印象採得. 歯界展望 別冊, 66, 医歯薬出版, 東京, 2002
- 3) 鈴木四朗, 近藤保：界面現象の科学. 1-13, 三共出版, 東京, 1998