

原 著

IH (Induction Heating) ヒーターの補綴臨床における有用性

眞 岡 知 史 岩 堀 正 俊 苦 瓜 明 彦 瀧 田 史 子  
東 野 嘉 文 渡 邊 一 弘 都 尾 元 宣

Clinical Usefulness of IH Spatula Warmer in Prosthetic Treatment

SANAOKA SATOSHI, IWAHORI MASATOSHI, NIGAURI AKIHIKO, TAKITA FUMIKO,  
HIGASHINO YOSHIFUMI, WATANABE KAZUHIRO and MIYAO MOTONOBU

現在、診療・技工時において、WAX はなくてはならない歯科材料である。一般的には、ガス式の加熱用バーナーでインスツルメントを加熱し、使用する。しかし、火災や火傷の危険性があり、排熱・燃焼排気による職場環境の悪化も考えられる。IH スパチュラウォーマー (IH) は、電磁誘導を利用してインスツルメントを加熱する。そのため安全性に優れ、排熱・燃焼排気がなく、クリーンな環境を保つことができる。そこで、本研究では、① IH の電磁誘導範囲の検討、② IH と火炎でのインスツルメントの温度上昇の比較を行った。電磁誘導範囲は中心から 2~4 mm の位置が最も広く、クレーター状を示していた。インスツルメントの形が大きい場合には IH による温度上昇は火炎と近かったが、小さい場合には温度上昇は緩やかであった。IH 特性を理解して使用することで従来からのガスバーナーと同様にスパチュラを加熱できることが示唆された。

キーワード：IH ヒーター、電磁誘導

*Wax is commonly used in dental treatment and laboratory work. In general, we use dental instrument heated by a gas burner, which has a risk of fire burning. In addition, such a burner is a potential hazard in the work environment.*

*On the other hand, an IH spatula warmer to heats dental instrument is considered safer, because it uses electromagnetic induction to heat. Not only is it safe, but it also help to keep the environment clean and hazard free from fire and pollution.*

*The purposes of this study were to examine the range of electromagnetic induction methods and compare the temperature rise with IH and gas burner.*

*The following conclusions were reached:*

- 1. A radius of 2-4 mm from the center of the top plate showed the widest range of electromagnetic induction.*
- 2. When using a large spatula, the rise in temperature is similar to the gas burner, but when using a small spatula, the temperature rise tends to be lower than with the gas burner.*

Key words: IH spatula warmer, electromagnetic induction

緒 言

現在、診療・技工時において、WAX はなくてはならない歯科材料であり、操作は裸火を用いるガス式の

加熱用バーナーでインスツルメントを加熱して用いるのが主流である。しかし、それには、火災や火傷の危険性があり、排熱・燃焼排気による職場環境の悪化も考えられる。

バーナー以外の加熱方法として、90年代には、温度制御の付いた電気インスツルメント<sup>1)~5)</sup>が開発され、最近では、インスツルメント部分の発熱がほとんど起きず、火傷などの危険性が低いとされている超音波ワックスペン<sup>6)</sup>なども開発されている。

今回検証するIHスパチュラウォーマー（以下、IHと略す）、は電磁誘導を利用してインスツルメントを加熱するので安全性にも優れ、排熱・燃焼排気がなく、クリーンな環境を保つことができる。また、使用時のみ通電・即熱できるため経済性にも優れていることがあげられる。しかしながら歯科用インスツルメントに対するIHの熱伝導特性についての報告は見当たらない。

そこで、まず、歯科用IHの電磁誘導範囲を測定しインスツルメントの温度上昇に影響を及ぼす範囲について検討した。次にその結果をもとに、効率的に誘導加熱が行われる位置を知るため、トッププレートからの水平及び垂直距離の違いによるインスツルメントの温度上昇の比較及び、火炎との比較について検討したので報告する。

## 実験方法

### 実験1：IH通電可能範囲の測定

#### 1. 実験材料

IHヒーターとして、IH（東芝ホームテクノ）（図1）を用いた。被験試料には3種類の鉄棒、直径3.0mm、3.75mm、5.0mm（以下、サンプル1、2、3とする）を用意した。

#### 2. 実験方法

IHと試料の正確な位置を測定するために読み取り顕微鏡にIHを固定し、鏡筒部にサンプルを固定した。

通電可能範囲の計測は、IHのトッププレートの中



図1 IHスパチュラウォーマー

心より、垂直方向に25mm、水平方向に20mmの範囲で、垂直方向には0.5mm間隔、水平方向には1mm間隔で計測した（図2）。なお、本機はマイコン制御により通電時にブザーとランプで通電状態を表示する。このことから、25mmの位置から音が鳴るまで、鉄棒をIHに近づけていき、音が鳴った位置を通電開始点、そこから遠ざけていき無音となる位置を切断点とし、この2点間を計測した。また、1点につき、10回計測を行い、その平均を値とした。

また、IHの製品間での差の比較を検討するために、2台のIHにて同様の実験を行った（IH1、IH2）。結果の処理

サンプルの直径（3mm、3.75mm、5mm）、開起点（開始点、切断点）、サンプルを置いた位置である、中心からの水平距離（0～20mmで1mm間隔の21条件）の3要因の組み合わせによる計126の測定条件での3要因による3元配置（3×2×21）分散分析を実施した。そして、交互作用が有意であった場合には、その交互作用を特定するために、より低次の分散分析（場合によっては、t検定）を実施した。また、3水準以上の要因（サンプルの直径が3水準、中心からの距離が21水準）に、有意な主効果が認められた場合には、Tukey法による多重比較を行った（ $p < 0.05$ ）。

実験2：IHによるインスツルメントの温度上昇の測定

#### 1. 実験材料

IHと比較対照としたガスバーナーAPTⅡ（フェニックスデント）（以下、ガスバーナーと略す）を用いた。被験試料には、2種類のワックススパチュラ#31、#7A（デンテック）（図3）を用いた。

#### 2. 実験方法

IHからの垂直的な距離による温度上昇の比較では、実験1と同様にIHと試料の正確な位置を測定するために読み取り顕微鏡にIHを固定し、鏡筒部にワックススパチュラを固定した。

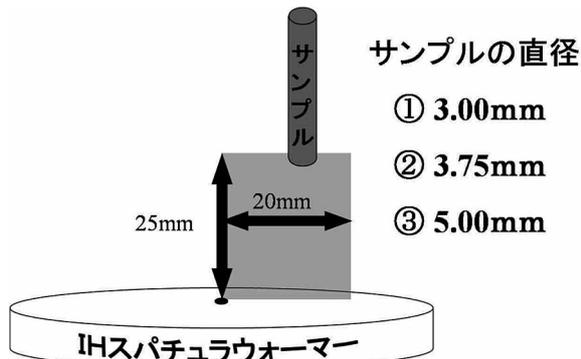


図2 実験1測定方法

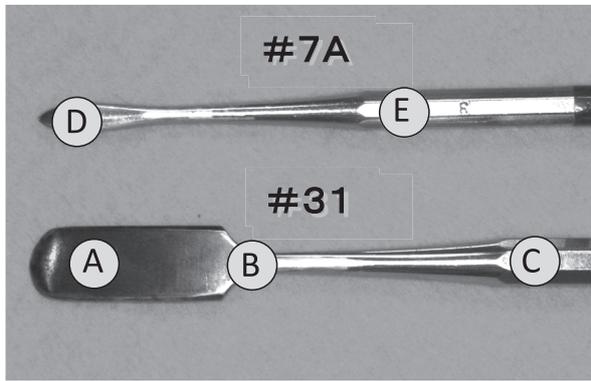


図3 ワックスパチュラ#31, #7A および熱電対固定位置

試料とした,

ワックスパチュラに, シートカップル (チノー) と熱電対を確実に固定し, パソコン用データ凝集システム, ソフトサーモ (テクノ・セブン社製) と PC にて 0.5 秒間隔で温度測定を行った。

IH 中心から水平方向に 3 mm の位置にワックスパチュラを固定した。また, #31 は, A 点, B 点, C 点, #7A は, D 点, E 点 (図 3) にシートカップルを固定しトッププレートから垂直方向に 0 mm, 5 mm, 10mm の 3 点の計測をセンサーが作動し通電が終了するまで行い, 効率的な温度上昇を示す, 垂直的な位置を計測した。

ガスバーナーは, 還元炎で 300℃ に到達するまで加熱を行い, IH と同様に測定し比較した。

## 結 果

### 実験 1

IH 1 での測定結果を図 4 に示す。全体的にはサンプルを中心に近い位置に置いたほど, プレートから高い範囲まで電磁誘導が生じているが, 周辺部では低い範囲でのみ電磁誘導が起きていた。また, 通電開始点は, 切断点よりトッププレートに近かった。すなわち, 中心からすべての水平位置で通電開始点よりも, 切断点のほうが高い位置まで, 電磁誘導が生じていた。全てのサンプルで, 中心から 15mm の位置まで, 開始点と切断点との差は, ほぼ等間隔であった。図 4 のサンプル 1, 2, 3 を見比べると, 大きなサンプルほど, 高いところまで電磁誘導が生じている。

中心からの水平的距離を比較すると, すべてのサンプルで, 3 mm の位置で, 最も高くまで電磁誘導が生じていた。即ちサンプル 1 では, 通電開始点 12.9mm, 切断点 18.45mm。サンプル 2 では, 開始点 13.75mm, 切断点 19.1mm。サンプル 3 でも, 開始点 16.15mm, 切断点 21.25mm であった。このことは, 中心から 3

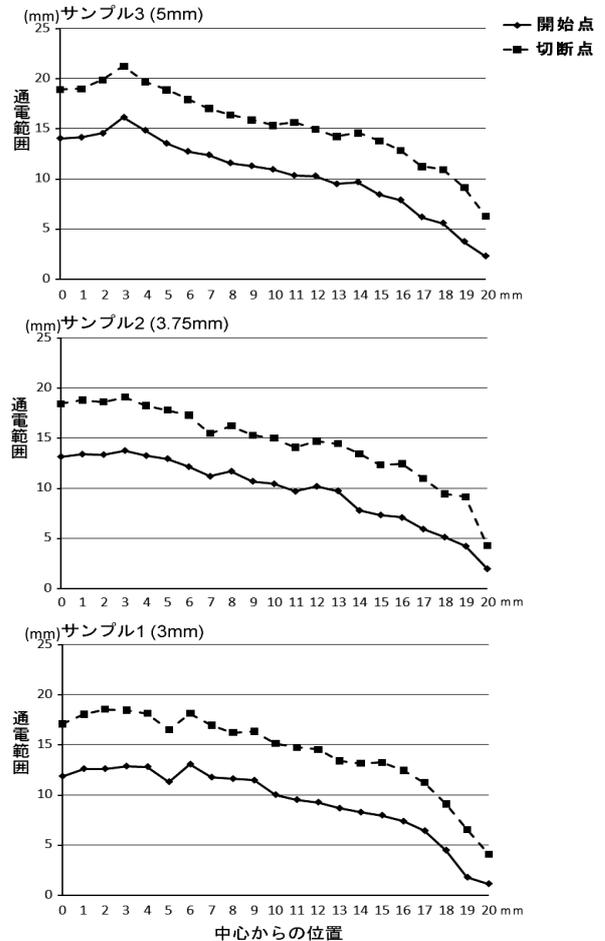


図 4 IH 1 での開始点, 切断点

mm の位置が最も電磁誘導加熱範囲が広域であることを示している。

これらの IH 1 のデータに対して, 分散分析を実施したところ, サンプルの直径, 開始点・切断点, 中心からの位置の主効果はすべて有意であった (表 1)。交互作用に関しては, 直径×位置だけが有意であった ( $p < 0.05$ , 図 5)。そのため, 21か所の位置それぞれにおいて, サンプル間の差を分散分析 (一元配置) で確かめた。中心からの水平距離が 3 mm, 4 mm,

表 1 電磁誘導範囲 (計測結果) の分散分析の結果

変動因	自由度	IH1	IH2
サンプルの直径 (直径)	2	26.75***	201.28***
開始点・切断点 (開切点)	1	1576.09***	1605.44***
中心からの距離 (位置)	20	169.04***	183.18***
直径×開切点	2	0.24	0.09
直径×位置	40	1.41*	1.67**
開切点×位置	20	0.72	1.89*
直径×開切点×位置	40	0.13	0.28
誤差	1134		

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ,

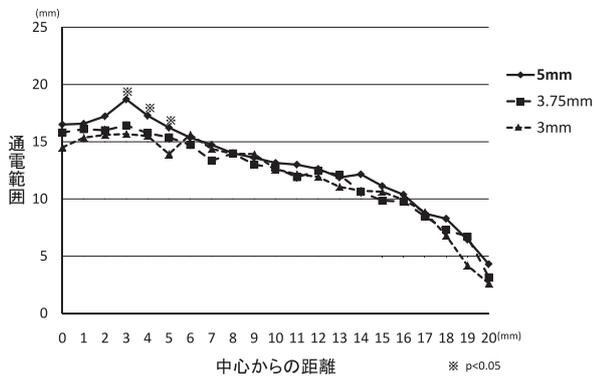


図5 IH1における各サンプルでの通電範囲の平均値

5 mm の位置でだけ有意差が得られた。つまり、中心から少しだけ離れた位置では、サンプルの直径による通電範囲の違いが顕著であった。

IH2での測定結果を図6に示す。IH1とほぼ同じような結果が見られたが、中心からの位置の間を比べてみると、IH1にはなかった、サンプルによるばらつきがあり、サンプル1では、開始点の最高値は、0

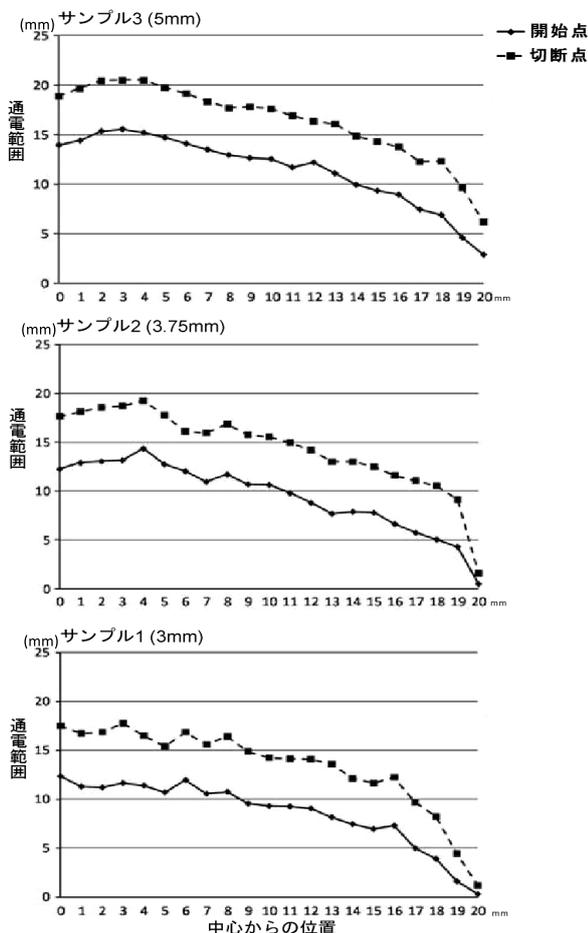


図6 IH2での開始点、切断点

mm の位置で12.35mm, 切断点の最高値は、3 mm の位置で17.75mm だった。サンプル2では、開始点、切断点ともに4 mm の位置で開始点14.35mm, 切断点19.25mm だった。サンプル3では、開始点、切断点ともに3 mm の位置で15.55mm, 切断点20.5mm だった。

IH2のデータに対して、分散分析を実施したところ、サンプルの直径、開始点・切断点、中心からの位置の主効果すべて有意であった。交互作用に関しては、直径×位置と開切点×位置において有意であった(表1)。直径×位置においてはIH1と同様の処理を行ったところ、0mm, 8mm, 16mm, 17mm, 18mm, 以外の位置で有意差が得られた ( $p < 0.05$ , 図7)。また、IH1とは異なって開切点×位置に交互作用が見られたが、それについては次項で述べる。

IH1とIH2を比較するために、4元配置での分散分析を行った(表2)ところ、サンプルの直径、開始点・切断点、中心からの位置の主効果すべて有意で

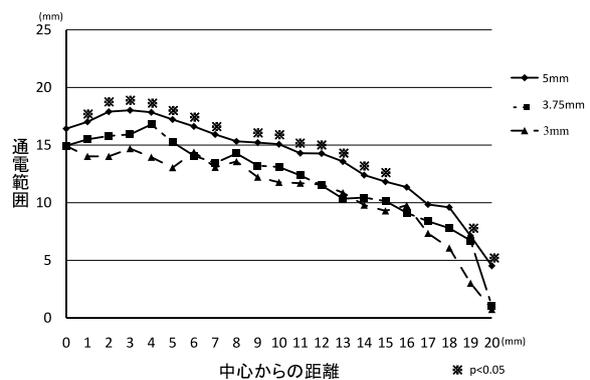


図7 IH2における各サンプルでの通電範囲の平均値

変動因	自由度	F値
サンプルの直径(直径)	2	185.65***
開始点・切断点(開切点)	1	3180.99***
中心からの距離(位置)	20	350.96***
IH×直径	2	39.43***
IH×開切点	1	0.50
直径×開切点	2	0.61
IH×直径×開切点	2	0.27
IH×位置	20	1.03
直径×位置	40	2.17***
IH×直径×位置	40	0.90
開切点×位置	20	2.27***
IH×開切点×位置	20	0.32
直径×開切点×位置	40	0.30
IH×直径×開切点×位置	40	0.11
誤差	2268	

\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ , \*\*\* $p < 0.001$ ,

表2 4元配置での電磁誘導範囲(計測結果)の分散分析の結果

あった。交互作用に関しては、IH×直径、直径×位置と開切点×位置において交互作用が見られたが、IH×開切点×位置において交互作用は見られなかったの  
 で、開切点×位置において、IH間に差は見られないと思われる。IH×直径に交互作用が見られたのでサンプルの直径によりIH間で差がみられた。

実験2

使用頻度の高いワックススパチュラ A, D点でのトッププレートからの垂直距離の違いによる温度上昇(図8, 9)に見られるように、どちらのワックススパチュラでもトッププレートに近いほうが、温度上昇が速く、通電切断時の温度も高かった。

IHとガスバーナーにおけるワックススパチュラ

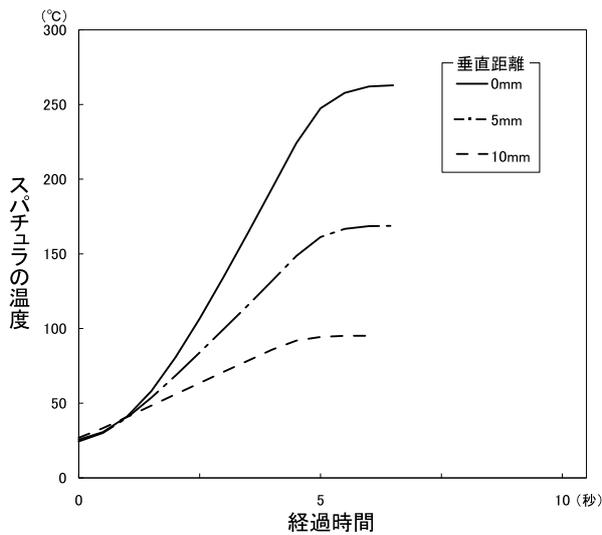


図8 A, D点でのトッププレートからの垂直距離の違いによる温度上昇 (#31)

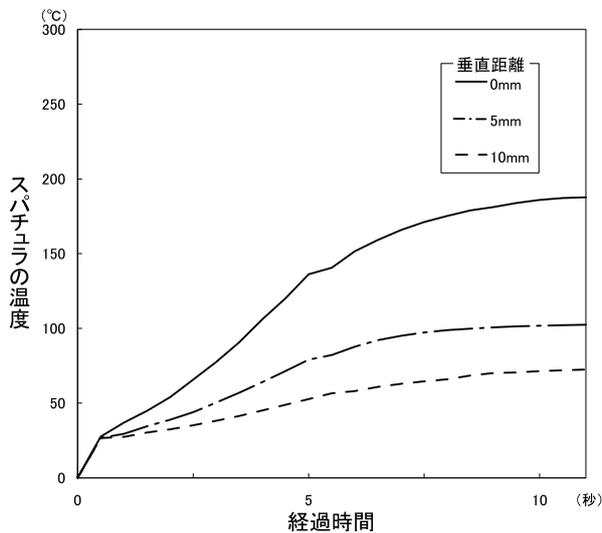


図9 A, D点でのトッププレートからの垂直距離の違いによる温度上昇 (#7A)

の温度上昇の比較(図10, 11)ではA点ではIHが火炎より若干温度上昇の始まりが遅いが、上昇し始めると、250度までは近似した温度上昇を認めた。B点では、火炎よりIHの方が温度上昇が速かった。D点では火炎に比べIHの方が緩やかな温度上昇を認めた。C, E点については、どちらも、ほぼ温度上昇は起きなかった。

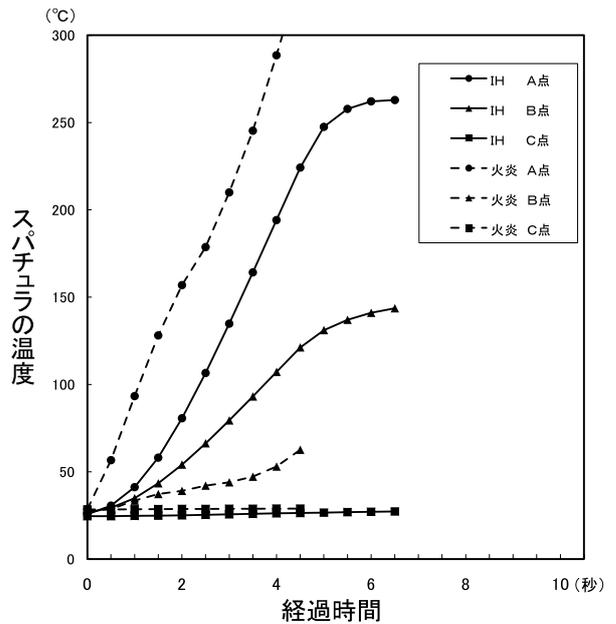


図10 IHとガスバーナーで加熱した場合のワックススパチュラ#31の各点の温度上昇の比較

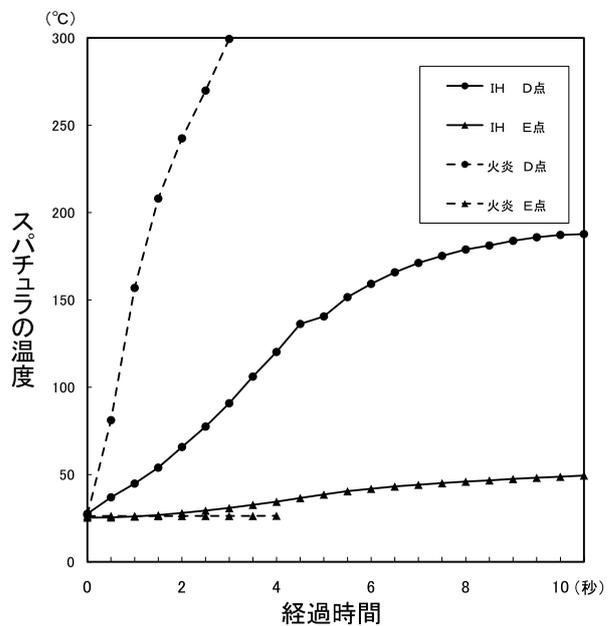


図11 IHとガスバーナーで加熱した場合のワックススパチュラ#7Aの各点の温度上昇の比較

## 考 察

歯科診療および技工では、歯科用ワックスの使用が必要不可欠である。その操作は、ワックススパチュラを火炎で加熱して行うが、排熱、燃焼排気による環境汚染や火傷などの可能性がある。しかし、IHは電磁誘導を利用してインスツルメントを加熱し、使用時のみ通電・即熱できるため、環境問題の排除や安全性に優れている。

近年では、熱伝動性の良い金属に直接電流を加えて、ワックスを操作する電気インスツルメント<sup>1-5)</sup>や超音波インスツルメント<sup>6)</sup>などの開発が行われているが、これらは専用のインスツルメントを使用しなければならない。しかし、IHを使用することにより、従来のインスツルメントを使用することができ、今までと同様の手技でワックスを操作することが可能と考えられる。

電磁誘導は、変圧器などの身近にある電気機器に広く応用されている現象である。導線に交流電流を流すと、その周りに向き、強度の変化する磁力線が発生する。その近くに電気を通す物質（金属）を置くと磁力線の影響を受けて、金属の中に渦電流が流れる。金属には通常電気抵抗があるため、金属に電流が流れると電力＝電流<sup>2</sup>×抵抗分のジュール熱が発生して金属が加熱される。この現象を誘導加熱という<sup>7)</sup>。効率を上げるため、導線をコイル状にするのが一般的である。IHは、内部に存在するコイルの電磁誘導と鎖交磁束を利用して、金属であるスパチュラを加熱する。通常の誘導加熱ではコイルの真中に金属を置くが、IHの場合は構造上コイルの上に金属が置かれる。

IH1では、全てのサンプルで中心から3mmの位置が最も通電可能範囲が広域であり、その後は中心から離れるにつれ狭くなる、すなわちクレーター状となることが分かった。IH2では、サンプルにより若干の差がみられ、製品間に若干の差があることが示唆された。

開始点にインスツルメントが至るまでは誘導加熱は行われていないはずだが、一度電磁誘導が始まると、切断点の位置まで誘導加熱が行われているので、切断点の内側にインスツルメントを放置することは好ましくないとと思われる。また、中心から水平方向への距離15mmまでは開始点と切断点の差がほぼ等間隔であったのは、この範囲の中では、効果的に誘導加熱が行われているからだと思われる。

サンプル3の電磁誘導範囲がサンプル1、2よりも大きかったのは金属の面積が大きいほうが渦電流の流

れる範囲が大きいと、電気抵抗を起こしている範囲も大きくなり結果的に電磁誘導が起こりやすいものと思われる。

トッププレートからの垂直距離による温度上昇では、0mmの位置が最も効率的な温度上昇が得られ、スパチュラの加熱に適していると思われる。

火炎との温度上昇の比較では、#31のように面積の広いスパチュラでは火炎と同様に使用できると思われるが、#7Aの様に面積の狭いスパチュラでは電磁誘導が起こりにくく温度が上がりにくいと思われる。また、B、E点ではガスバーナーよりも温度上昇することから、スパチュラ全体での熱量は火炎と同等である可能性もある。そのことから、IHではスパチュラ先端以外の温度上昇が火炎より起こりやすいと思われる、操作に注意を要すると考えられる。

## 結 論

トッププレートの中心より、水平的に3～4mmの位置が最も電磁誘導加熱範囲が広域であり、円の外周に近づくにつれて狭まった。温度上昇の比較では、垂直的にはトッププレートに近い程温度上昇の効率が上がり、火炎との比較では、大きいスパチュラは火炎と近い温度上昇を描き、小さいものでは火炎と比べて緩やかな温度上昇を認めた。IH特性を理解して使用することで従来からのガスバーナーと同様にスパチュラを加熱できることが示唆された。

## 文 献

- 1) 加藤雅司, 吉野光亮. 電気インスツルメントによるワックスアップをマスターするペリカンテクニック入門 (1). 歯科技工. 1996; 24: 570-581.
- 2) 加藤雅司, 吉野光亮. 電気インスツルメントによるワックスアップをマスターするペリカンテクニック入門 (2). 歯科技工. 1996; 24: 734-743.
- 3) 加藤雅司, 吉野光亮. 電気インスツルメントによるワックスアップをマスターするペリカンテクニック入門 (3). 歯科技工. 1996; 24: 870-881.
- 4) 加藤雅司, 吉野光亮. 電気インスツルメントによるワックスアップをマスターするペリカンテクニック入門 (4). 歯科技工. 1996; 24: 1008-1017.
- 5) 加藤雅司, 吉野光亮. 電気インスツルメントによるワックスアップをマスターするペリカンテクニック入門 (5). 歯科技工. 1996; 24: 1142-1157.
- 6) 寺島伸佳, 吉田貴光, 洞沢功子, 永沢栄, 伊藤充雄. 超音波ワックスペンの開発. 日本歯科産業学会誌. 2004; 18: 70.
- 7) 原康夫. 基礎からの物理学. 東京; 学術図書出版社; 2000: 256-276.