



RF（ラジオ波）の皮膚への印加における 熱分布の最適化条件および RF 美顔器の安全性

山中一範¹⁾ / 岸 柾毅¹⁾ / 塩寄 忠²⁾

● 概要

【目的】家庭用 RF（ラジオ波）美顔器の一般使用者自身の施術における熱分布の良条件を見出すことを目的とした。ヤーマン株式会社製の家庭用 RF 美顔器（S16）の製品性能が熱分布の良条件を満たしているのかの確認に加え、ヒトを用いた安全性試験も合わせて行った。

【方法】寒天擬似皮膚とヒト皮膚を用いて、熱の分布状況を、均一性、蓄熱性、安定性について、形状の異なる 6 種の試作電極にて試験を実施した。通電用化粧品「Flawless Serum HYDRATING」を塗布し、各試験に適した出力対象に RF を照射する方法で、それぞれの試作電極による熱の挙動を観察した。また、ヒトを対象とした試験では、被験者の顔の半側で化粧品と S16 を併用し、もう半側を化粧品のみとして、4 週継続して使用するハーフフェイス法を用いて肌への影響を評価した。

【結果】形状の異なる電極で熱分布の均一性、蓄熱性、安定性を比較した結果、「サークル状 5 重リング電極」が、他の形状の電極と比較して優位であることが確認された。また、5 重リング電極を搭載した家庭用 RF 機器 S16 を用いたヒト試験において、安全性に問題がないことが確認された。

キーワード：RF（ラジオ波）美顔器、電極の形状、通電用化粧品、熱分布の均一性・蓄熱性・安定性、サーモ画像、安全性、安全装置

1. はじめに

RF（ラジオ波）は、他のエネルギー源が表面から加熱するものであるのに対して、内部も加熱できるもの¹⁾である。RF により肌内部に熱作用を与えることで、コラーゲン、線維芽細胞の増加につながり、タルミ、シワを改善することが知られており、いわゆる「美顔器」への応用がなされている。

エステティック・サロンや美容クリニックで広く使用されている業務用 RF 機器は、広い範囲に強力な出力で照射できるため、短時間で強い効能を生む一方、患者の皮膚の厚みや肌質、部位によって加熱効果が異なるため、痛みのみならず熱傷のリスク（皮下を 50℃以上に加熱）も高く、施術にあたって

は施術者の熟練が必要とされる。

一方、家庭用のエステ機器は、訓練されていない一般使用者による施術となることから、業務用 RF 以上に安定し、安全に使用できる機器が求められる。このような配慮が必要なことから、家庭用のエステ機器は、業務用と比較して美容効果が弱いイメージをもたれることがある一方、その手軽さにより高頻度に施術が行えることから、十分な効能を得ることができると考えられる。

しかしながら、家庭用 RF 機器について、どのような出力仕様がより有用かつ安全であるのかの指標は明確ではない。過剰な熱は熱損傷を引き起こすことから、安全に熱を供給することが必要である。また、有効な施術を行うためには、一定の熱量を安定

1) ヤーマン株式会社 2) IEEE Life Fellow・工学博士・奈良先端科学技術大学院大学名誉教授

表1 試作電極一覧







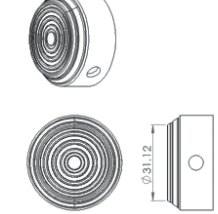
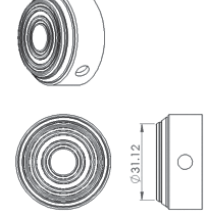
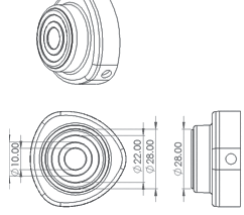
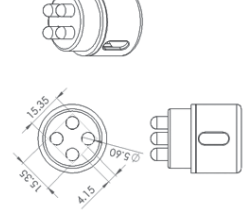
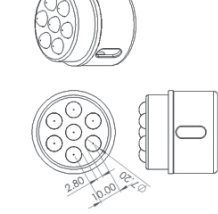
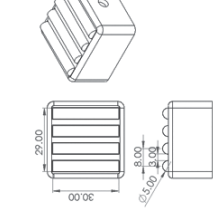
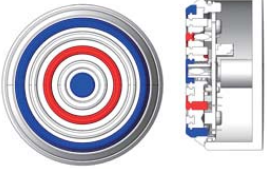
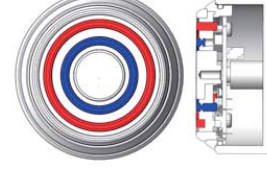
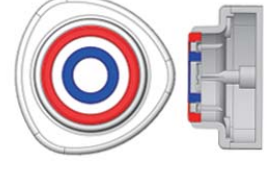
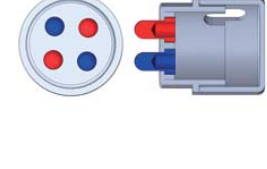
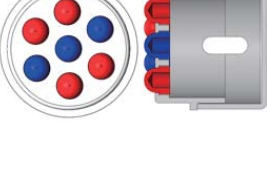
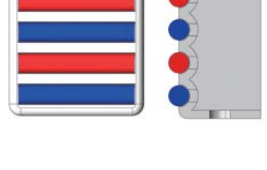
	試作①	試作②	試作③	試作④	試作⑤	試作⑥
外見						
詳細図						
出力有効面積 (mm ²)	760.2	760.2	615.4	235.6	520.7	870.5
出力電極 (青-赤間で出力)						



図1 比較に用いた実製品

して供給することも必要である。RF 機器においては、熱をより広範囲を均一に分布させることで、結果的に総熱量もより高くすることができ、また蓄熱性を高めることで、安定かつ安全に効能を与え続けることができる。

本試験においては、RF 器機において、通電を行う電極の配置や形状を工夫することで、RF 器機に求められる《均一性×安定性×蓄熱性》の3条件を高レベルかつ安全に制御できることを見出した。併せて今回最も優れた形状と評価された電極を用いた、ヤーマン株式会社製の家庭用 RF 美顔器 (S16) の、ヒトに対する安全性も確認したのでここに報告する。

2. 対象および方法

1) 試作電極 (表 1)

家庭用 RF 美顔器の、熱分布への電極、周波数の影響を検証するため、形状の異なる電極；

試作①：サークル状 5 重リング

試作②：サークル状 4 重リング

試作③：サークル状 2 重リング

試作④：多点 4 点式

試作⑤：多点 7 点式

試作⑥：棒状 4 本式

の 6 種類の電極サンプルを用意した。

2) RF 出力源

RF 安定出力源として、正弦波形成用ジェネレータで形成した波形を、高速バイポーラ電源で 100 倍に出力を増幅させたものを使用した。

実製品比較用として、2つの製品を使用した。

- ・ヤーマン株式会社 Bloom 5 (S16) (図 1a)：試作① (サークル状 5 重リング) と同一の電極形状
- ・ヤーマン株式会社 Bloom WR Star (S12 plus) (図 1b)：試作② (サークル状 4 重リング) と同一の電極形状

これら製品の家庭での使用イメージを図 1c に示した。

3) 測定器

サーモカメラとオシロスコープにより測定を行った。

4) RF 出力照射対象

塩分濃度を調整した細胞、菌培地用の寒天 (寒天擬似皮膚) を作成した。実験において、ヒトの皮膚に近く、かつ形状を維持できる塩分濃度に調整した。

- ・平面観察用 (図 2a)：縦 50 mm × 横 50 mm × 厚み 3 mm

- ・側面観察用 (図 2b)：縦 70 mm × 横 10 mm × 厚み 20 mm

また、「ヒトの肌」として前腕部内側を使用した

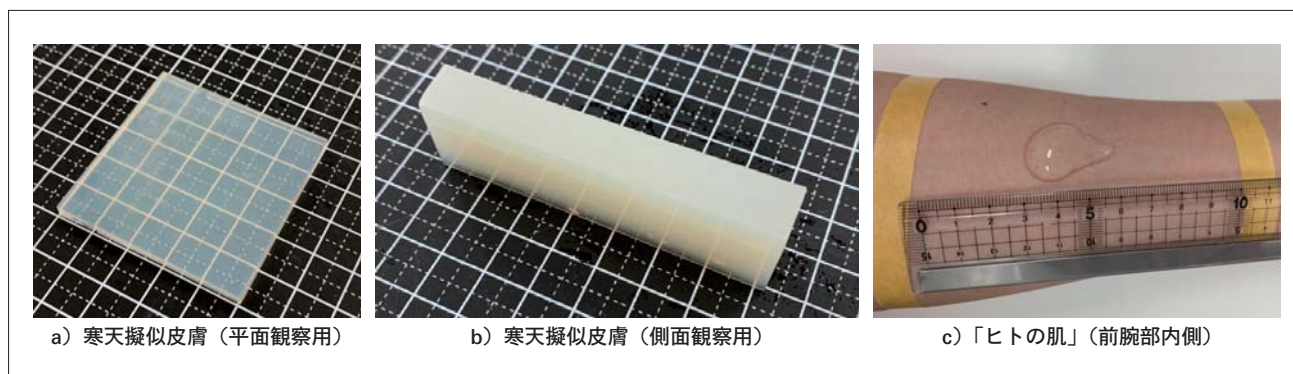


図2 RF出力照射対象



図3 測定時の固定用治具

表2 化粧品的全成分【Flawless Serum HYDRATING】

<p>水, BG, グリセリン, ペンチレングリコール, ジグリセリン, マルチトール, ソルビトール, ポリソルベート 80, カルボマー, 1,2-ヘキサジオール, プルラン, 水酸化 K, 異性化糖, クエン酸 Na, 水添レシチン, ヒアルロン酸 Na, PCA-Na, パルミチン酸レチノール, クエン酸, ピーナッツ油, ホホバ種子油, ハイブリッドローズ花エキス, エチルヘキサン酸セチル, スクワラン, トリエチルヘキサノイン, マカデミア種子油, アーモンド油, メドウフォーム油, ニオイテンジクアオイ油, ベルガモット果実油, トコフェロール, ヒアルロン酸クロスポリマー-2-Na, ココイル加水分解コラーゲン K, ジ酢酸ジペプチドジアミノプチロイルベンジルアミド, フィトステロールズ, セラミド NP, セラミド NG, セラミド AP, アセチルヘキサペプチド-8</p>
--

(図 2c)。

5) 測定時の固定用治具

照射方法にムラが生じないように、以下の固定用治具を用いた。

- 下向き, 本体水平固定用治具 (図 3a)
- 上向き, 本体水平固定用治具 (図 3b)
- 寒天保持用のアクリル台座 (図 3c)

6) 使用通電用化粧品

試験には、家庭用美顔器「S16」の付属化粧品「Flawless Serum HYDRATING」(ヤーマン株式会社製)を通電用化粧品として使用した(以下、化粧品)。化粧品の全成分を表2に示す。

7) 評価項目

(1) 3次元的热分布【均一性】

RF安定出力源を用い、1MHzのRF出力で、6種の電極にて、寒天擬似皮膚に対して出力した。化粧品は寒天擬似皮膚の表面にパール粒程度に塗布し、薄く塗り広げて使用した。

平面、側面の熱分布状態を40°Cまでのサーモ画像、ヒストグラム分析で比較した。

なお、出力電圧は、試験において寒天擬似皮膚の形状を保つことができる上限度の一定の出力電圧として設定した。この出力は、「S16」を使用する際の実際の出力よりも低いものとなった。

(2) 蓄熱性の高さ【蓄熱性】

RF安定出力源を用い、1MHzのRF出力で、6種電極にて、ヒト皮膚に対して出力した。ヒトの肌として前腕部内側を使用し、肌に化粧品を500円玉程度に塗布して、φ50程度に薄く均一な厚みに塗り広げた後、各試作電極で肌表面温度が42°Cになるまで加熱し、その後、42°Cから35°Cまで下がる時間を比較した。

なお、出力電圧は、実際に肌上で使用する際に、使用者に無理のない一定の出力電圧として設定した。

(3) 肌温度の安定性比較【安定性】

RF安定出力源を用い、1MHzのRF出力で、6種電極にて、ヒト皮膚に対して出力した。なお、出力電圧は、実際に肌上で使用する際に、使用者に無理のない一定の出力電圧として設定した。ヒトの肌として前腕部内側を使用し、肌に化粧品を約1g塗布して、50mm×100mmの範囲に薄く均一な厚みに塗り広げた後、各試作電極で；

(3)-1. S16での推奨使用スピード4cm/秒の速さで肌上を動かしながらRF出力し、それぞれの熱の分布状態を確認した。

(3)-2. 肌が耐えられる限界温度として常に約42°Cになる速さで肌上を動かしながらRFを出力し、一定温度以上(39°C以上)となっている分布範囲量を比較した。また、施術した一帯の温度の下

がり方も確認した。

(4) 製品比較【従来製品と新製品の製品比較】

新製品であるS16(図1a)(試作①:サークル状5重リングと同一の電極形状)と、従来品のS12 plus(図1b)(試作②:サークル状4重リングと同一の電極形状)の製品比較として、それぞれの製品での実出力下で寒天擬似皮膚に対して出力した。化粧品は寒天擬似皮膚の表面にパール粒程度に塗布し、薄く塗り広げて使用した。平面、側面の熱分布状態を42°Cまで上昇する様子をサーモ画像で比較した。

8) ヒト試験

44歳～58歳(平均年齢51.3±4.7歳)の女性14名を対象とし、被験者の顔面の半側をS16と化粧品1種を併用する側(併用側)、半側をS16を使用せずに化粧品1種を使用する側(化粧品のみ側)に割付けるハーフフェイス法にて4週間継続して使用し、介入実施者と測定者をブラインドとする遮蔽試験を実施した。4週間の施行後に、被験者日誌と医師診察により、肌への異常の有無を評価した。なお、本試験は第三者試験機関〔日本臨床試験協会(JACTA)・東京〕に委託して行った。

3. 結果

1) 3次元的热分布【均一性】

均一性の検討として、寒天擬似皮膚を用い、同じ出力、同じ時点における、平面方向と深さ方向でのサーモ画像比較を、各電極形状について行った結果、以下の結果が得られた。

平面方向、深さ方向ともに試作①(サークル状5重リング)が、広く、均一な熱分布を示した(表3, 4)。

なお、試作④(多点4点式)、試作⑤(多点7点式)、試作⑥(棒状4本式)では十分な温度の上昇が得られなかったことを受け、おおよそ同程度の時間で同様の温度となるように、試作④、試作⑤、試作⑥の出力を上げて再試験を行い、その状態での比較も行った。この条件では、試作⑥(棒4本式)の熱分布が極端に良好となる結果となった(表5)。

以上の結果から、試作①(サークル状5重リング)と試作⑥(棒4本式)が、高温域側の熱が均一に分布していることが示された。

表3 平面熱分布

	試作①	試作②	試作③	試作④	試作⑤	試作⑥
外見						
スタート	[24.05] 	[25.45] 	[24.36] 	[24.99] 	[24.37] 	[23.82]
10秒	[25.94] 	[27.05] 	[26.08] 	[25.07] 	[24.64] 	[24.38]
30秒	[30.04] 	[30.79] 	[30.61] 	[25.88] 	[26.11] 	[27.07]
60秒	[36.66] 	[34.85] 	[36.01] 	[26.71] 	[28.42] 	[30.4]









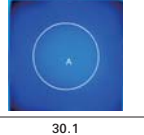
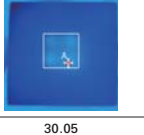
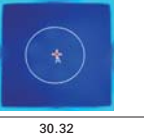
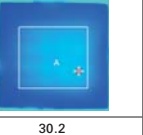
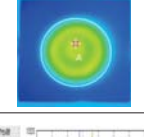

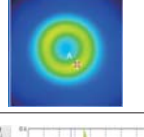
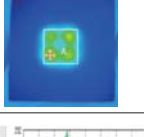
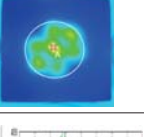
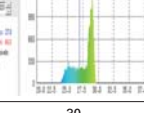
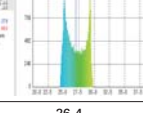
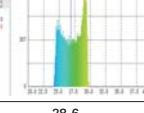
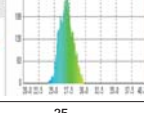
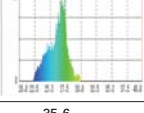
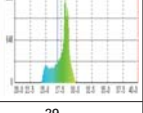
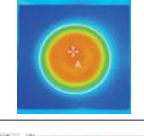
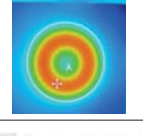
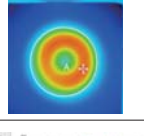
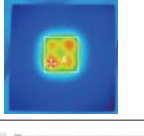
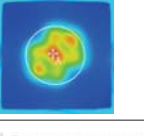
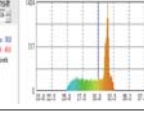
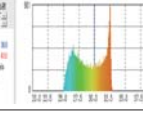
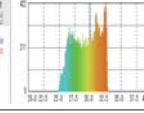
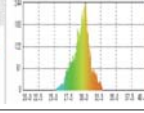
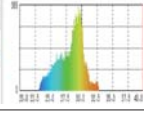
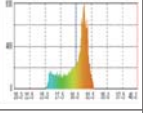
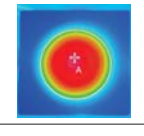
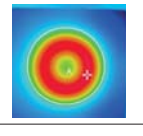
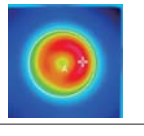
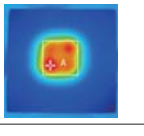
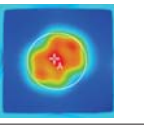
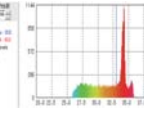
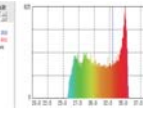
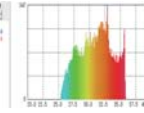
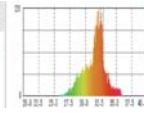
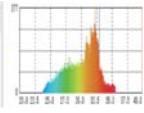
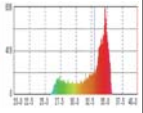
[] : 最高温度 (°C)

表4 側面(深さ)熱分布

	試作①	試作②	試作③	試作④	試作⑤	試作⑥
外見						
スタート	[24.6] 	[24.07] 	[23.09] 	[23.94] 	[24.44] 	[23.8]
10秒	[26.9] 	[28.19] 	[24.28] 	[26.08] 	[24.66] 	[25.39]
30秒	[29.77] 	[32.61] 	[28.01] 	[29.64] 	[27.19] 	[28.22]
60秒	[33.36] 	[37.35] 	[32.89] 	[32.21] 	[29.72] 	[30.82]

[] : 最高温度 (°C)

表5 平面熱分布(出力を調整)

		試作①	試作②	試作③	試作④	試作⑤	試作⑥
外見							
スタート	最高温度(°C)	24.05	25.45	24.36	24.5	22.81	25.22
	電極最外形の pixel 数	25793	33380	25189	8281	17945	27873
サーモ画像							
30°C	最高温度(°C)	30.06	30.06	30.1	30.05	30.32	30.2
	27°C以上の pixel 数	17,942	16189	13947	3850	6344	20408
	27°C以上の占有率	69.6%	48.5%	55.4%	46.5%	35.4%	73.2%
	サーモ画像						
ヒストグラム							
経過時間(秒)		30	26.4	28.6	25	35.6	29
33°C	最高温度(°C)	33.03	33.03	33.25	33	33.1	33
	30°C以上の pixel 数	14606	13888	11481	3033	3290	17606
	30°C以上の占有率	56.6%	41.6%	45.6%	36.6%	18.3%	63.2%
	サーモ画像						
ヒストグラム							
経過時間(秒)		41.6	47.8	43	51.4	53.8	51.8
36°C	最高温度(°C)	36.03	36.1	36.28	36.03	36.06	36.12
	33°C以上の pixel 数	12384	11393	6715	1337	1984	16199
	33°C以上の占有率	48.0%	34.1%	26.7%	16.1%	11.1%	58.1%
	サーモ画像						
ヒストグラム							
経過時間(秒)		57	69	61.2	77	73.6	78

2) 蓄熱性の高さ【蓄熱性】

蓄熱性の検討として、ヒト皮膚に照射して初期温度と35°Cまで下がる時間を各電極形状について観察した。










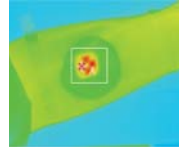
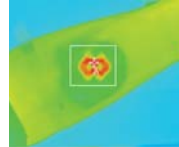

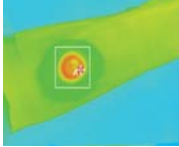
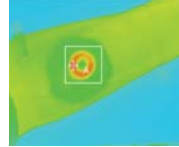
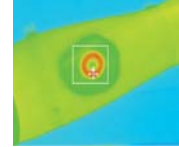
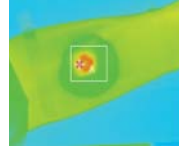
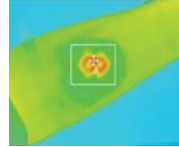
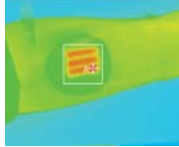
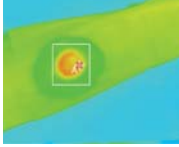

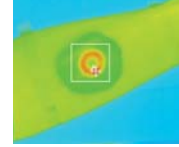

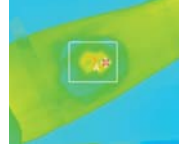

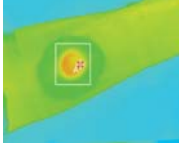


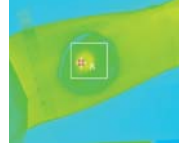
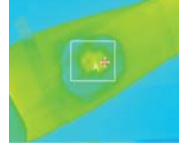
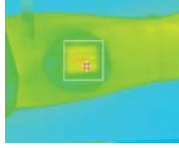
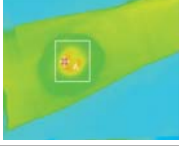

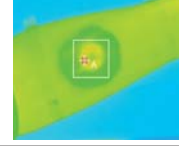
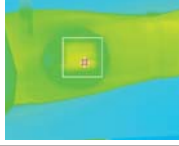
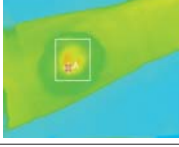

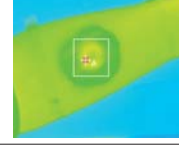
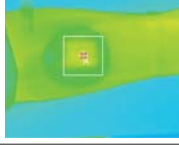
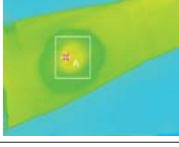
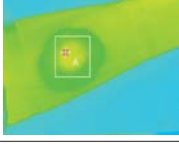
その結果、試作①(サークル状5重リング)が最も肌温度を高い状態に長時間保つことが示された(表6, 図4)。

3) 肌温度の安定性比較【安定性】(表7)

3)-1. 推奨スピードでの検討

S16の推奨スピードである4 cm/秒の速さでヒト皮膚上を動かした軌跡からは、電極間の加熱部分の温度ムラがそのまま熱の分布に影響していることが示された。試作④(多点4点式)や試作⑥(棒状4本式)では、特にその様子が顕著であった。

表6 肌温度の変化(蓄熱評価)

	試作①	試作②	試作③	試作④	試作⑤	試作⑥
外見						
スタート	42.04°C 	42.2°C 	42.04°C 	42.21°C 	42.16°C 	42.18°C 
5秒後	38.63°C 	38.21°C 	38.74°C 	38.93°C 	38.22°C 	38.75°C 
10秒後	37.24°C 	36.85°C 	37.18°C 	36.28°C 	36.11°C 	37.37°C 
15秒後	36.54°C 	35.61°C 	36°C 	34.92°C 	34.99°C 	35.54°C 
20秒後	35.95°C 	35.12°C 	35.32°C 			35.32°C 
25秒後	35.69°C 	34.73°C 	34.96°C 			34.83°C 
30秒後	35.4°C 					
35秒後	34.97°C 					

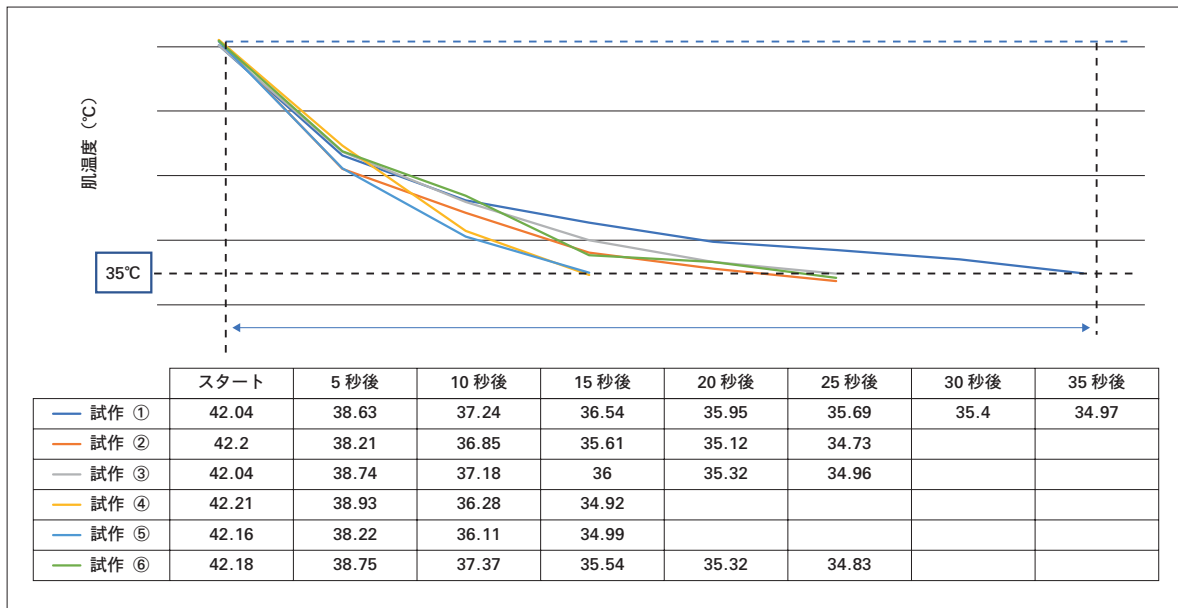


図4 肌温度の変化 (蓄熱評価)

表7 温度安定性評価

		試作 ①	試作 ②	試作 ③	試作 ④	試作 ⑤	試作 ⑥
外見							
①4cm/秒	サーモ (熱軌跡)						
②42℃まで 肌温度上昇	最高温度 (℃)	43.19	41.09	42.23	41.47	42.31	42.38
	測定ボックス pixel 数	25038	26322	25038	22149	26322	28569
	39℃以上の pixel 数	12894 (占有率 51.50%)	9372 (占有率 35.60%)	4697 (占有率 18.80%)	3865 (占有率 17.40%)	5364 (占有率 20.40%)	3344 (占有率 11.70%)
	初期のサーモ						
	35℃到達時間 (秒)	79.6	46.4	56	29.8	47.4	49.6

3)-2. 温度を固定した場合での検討

ヒト皮膚上で、肌が耐えられる限界温度として常に約 42℃になる速さで動かし、一定温度以上 (39℃以上) になっている範囲を比較したところ、試作 ① (サークル状 5 重リング) が最も高い値 (51.5%) となり、温度ムラが小さいことが示された。35℃まで下がる時間も 79.6 秒と、試作 ①が最も長い結果となった。

4) 製品比較【従来製品と新製品の製品比較】

S16 と S12 plus の比較では、S16 の方が S12 plus に比し、平面方向、深さ方向ともに、熱分布が均一になっていることが確認された。S16 に比し中央部分の電極サイズが大きい S12 plus では、その中央部が温まっていないことが観察された (表 8)。

5) ヒト試験結果

第三者試験機関 [日本臨床試験協会 (JACTA) ・東京] に委託して行ったヒト試験において、4 週施

表8 製品比較

	平面		側面 (深さ)	
	S16	S12 plus	S16	S12 plus
外見				
スタート				
30°C	30.02 	30.13 	29.42 	29.8
32°C	32.16 	31.75 	31.85 	31.58
34°C	33.98 	33.81 	34.14 	34.54
36°C	36.22 	36.26 	35.81 	35.84
38°C	38.03 	38 	38.18 	38.31
40°C	39.99 	39.77 	40.2 	40.35
42°C	41.72 	41.53 	41.8 	41.4

行後の肌の様子を、被験者日誌および医師の診察にて評価した結果、美顔器「S16」と化粧品の併用によると思われる肌への悪影響は確認されなかった。

4. 考 察

本試験では、家庭用 RF 美顔器での施術における熱分布の良条件を見出すことを目的として、6つの形状の試作電極を使用し、寒天擬似皮膚とヒト皮膚を用いて、熱分布、温度ムラ、蓄熱性、温度安定性を確認した。また加熱性、蓄熱性が高く温度ムラの少ないサークル状5重リング電極を使用した家庭用 RF 美顔器 (S16) と、従来型の RF 美顔器 (S12 plus) とで、熱分布について製品比較を行った。

その結果、形状の異なる電極での熱分布、蓄熱性の比較において、サークル状5重リング (試作①) が他の電極形状と比較して、熱を均一に、かつ長く安定して蓄熱することが確認できた。これはサークル状5重リングの形状が、出力有効面積に対して、実際に電流が流れる有効範囲が広く、電極の配置バランスが良いことが理由として考えられる。ヒトを対象とした、サークル状5重リング形状の電極を用いた家庭用 RF 美顔器「S16」と、従来型 RF 美顔器「S12 plus」(サークル状4重リング)の比較試験においても、S16では、S12 plus でみられた中央部分の温度不均一な状態が、大きく改善されていることが示された。

家庭用 RF 機器を用いて一般の使用者が自身で施術する場合、使用者は体感する熱さによって機器を動かすタイミング、速度を判断することが想定される。生体への熱伝達については、血流のない表皮層ではダイレクトに熱を伝えるが、真皮に到達すると真皮血流の熱伝達が大きく影響する。また、脂肪層が存在する場合、脂肪層の厚さと筋肉層の厚さに温度勾配が存在し、脂肪層が薄い肌では均質に熱が伝わるが、脂肪層が厚い肌モデルでは均質に熱が伝わらない。このように、熱は深部まで均質に伝わることはなく、熱応答は局所的な温度上昇と皮膚表面の熱センサーに応じて変化する²⁾。皮膚表面で感じる温度を指標とする一般の使用者が機器を動かす際には、皮膚表面の最高温度が支配的な指標となることが推測できる。

今回の実験から、電極の形状、配置により、熱分布のムラに違いが生じることが確認された。電極の

肌への設置範囲に対し、平面方向、深さ方向への深く、均一な熱分布が得られると、血液および体液の水分子をより振動させ、熱を伝える。体温に相当する 20°C ~ 40°C の水構造における O-H 伸縮振動領域の振動強度は低いため、体温は緩やかに上昇する³⁾。緩やかに温められた体液は周辺部をめぐる、立体的にも均一な熱分布がなされた状態となり、単位体積当たりの熱量は最大化されると考えられる。一方、与えられる熱分布にムラがある状態では、高温部から低温部へ熱が移動し、体液による熱分散が起これ、熱が深部まで伝わりにくくなる。熱分布が立体的に均一であれば、加熱範囲での熱分散は抑えられる結果となる⁴⁾。

したがって、温度ムラがなく、単位面積当たりの熱量が最大化されることで、使用者は短時間で十分な熱感が得られ、かつ肌深部への熱伝搬が伝わりやすく、かつ、効果も得られやすいということが推察できる。

熱伝搬は、施術部位の脂肪と筋肉の付き具合にも左右されるが、今回形状の異なる発生源を用いて試験を行った結果、サークル状5重リング (試作①) の発生源で、最も効率的な熱分布と蓄熱性が得られるという結果が示された。これは肌に対する発生源の距離、および電極配置による肌との接触状況の違いにより熱の伝わり方が異なること⁵⁾ から、5重のサークル状の発生源からもたらされる RF では、さまざまなカーブを描く人体表面に対してより効果的に沿うことができ、均一的な周波数の入射を可能にしたことが推察される。

このサークル状5重リング形状を利用した RF 美容機器 S16 を用いて、従来型の RF 美容機器である S12 Plus (サークル状4重リング) と、実製品を用いた熱分布を確認したところ、S16 では平面方向、深さ方向ともに、熱分布がより均一になっていることが確認された。従来製品の S12 plus は中央部分の電極サイズが大きいことで、中央部が温まりづらく、5重に重ねられたリングの形状は、ヒト皮膚に対して平面・深さ共に均一に熱を伝えるのに適したものであることが、製品ベースでも確認された。熱の分布が立体的な均一性を持つことで蓄熱性も向上し、また、温度の安定性も同時に生み出している。熱分布のムラが少ないほど人肌での熱の保持性が高まるが、本試験では電極の形状により熱分布のコン

トロールが可能であり、サークル状5重リング形状(S16)では、一般の使用者でも安定して施術できることが示された。

家庭用RF機器では、その効果性もさることながら、安全性を十分に確保する必要がある。日本では家庭用RF機器のほとんどが“雑貨”のカテゴリーで販売されており、一部の輸入品では美容機器の過剰な加熱による熱傷その他のトラブルも報告されている⁶⁾。RF製品の安全性については、使用による熱傷の回避が大きな要素となるが、これには熱分布が大きく影響することから、熱の管理として一般的には温度センサーによる安全装置が装備される。しかしながら、温度センサーは、肌が熱くなったことを「肌より遅く」感知するため、温度センサーだけでは安全性の確保には不十分である可能性がある。訓練されていない使用者においては、十分な安全装置を備え、かつ均一な熱分布が得られる製品を使用することが望ましい。

ヤーマン社製のS16には、安全装置として、温度センサーに加え、モーションセンサー、電流検知センサーが組み込まれている。モーションセンサーとは、製品の動きを止めたときにRF出力を止める安全装置であり、ユーザーが肌上で製品を止めた際の過剰に集中した加熱を防ぐものとなっている。また、電流検知センサーは、ユーザーの肌状態や使用する化粧品の違いにより、過剰にRF出力された際に出力を抑える安全装置として機能する。

今回、44歳～58歳(平均年齢51.3±4.7歳)の女性14名を対象とした、S16と化粧品併用4週間施行後の評価でも、肌への悪影響は確認されなかった。このことから、S16は、家庭用のRF機器として、均一な熱分布と複数の安全装置により、安全かつ効果的に使用することができる製品であると

判断できる。

5. 結 論

家庭用RF美容器の熱源として試作した6種の形状の電極を用いて、寒天擬似皮膚とヒト皮膚を用いて、電極形状の違いによる熱分布、温度ムラ、蓄熱性、温度安定性を測定したところ、サークル状5重リング型構造の熱源(試作①)が最も効率的な熱分布と蓄熱性を持つことが確認された。また、この形状の電極を採用したRF美容機器であるS16美顔器が、従来品と比較して平面方向、深さ方向ともに均一に熱を伝えることが示唆された。また本製品は、14名の被験者を用いたヒト試験において、安全性も確認された。

参 考 文 献

- 1) 宮田成章: 高周波(RF) —新たな展開(2): Radiative方式と剪断波(超音波)の基礎理論と臨床. *MB Derma*, **92**: 75-80, 2012.
- 2) Alekseev SI, Ziskin MC: Influence of blood flow and millimeter wave exposure on skin temperature in different thermal models. *Bioelectromagnetics*, **30**: 52-58, 2009.
- 3) 柳田祥三: 水のマイクロ/ラジオ波加熱の理解を深める“Thermo-upconversion mechanism”の提案. *日本電磁波エネルギー応用学会論文誌*, **2**: 26-30, 2018.
- 4) Funahashi D, Hirata A, Kodera S, et al: Area-Averaged Transmitted Power Density at Skin Surface as Metric to Estimate Surface Temperature Elevation. *IEEE Access*, **6**: 77665-77674, 2018.
- 5) Kodera S, Hirata A: Comparison of Thermal Response for RF Exposure in Human and Rat Models. *Int J Environ Res Public Health*, **15**: 2320, 2018.
- 6) Omi T: Evaluation of the Safety and Efficacy of Continuous Use of a Home-Use High-Frequency Facial Treatment Appliance. *JCDSA*, **8**: 25-34, 2018.