

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5511293号  
(P5511293)

(45) 発行日 平成26年6月4日(2014.6.4)

(24) 登録日 平成26年4月4日(2014.4.4)

(51) Int.Cl. F I  
**A 6 1 B 18/18 (2006.01)** A 6 1 B 17/36 3 4 0

請求項の数 10 外国語出願 (全 32 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2009-231025 (P2009-231025)                  (22) 出願日 平成21年10月2日 (2009.10.2)                  (65) 公開番号 特開2010-88884 (P2010-88884A)                  (43) 公開日 平成22年4月22日 (2010.4.22)                  審査請求日 平成24年7月17日 (2012.7.17)                  (31) 優先権主張番号 12/244,850                  (32) 優先日 平成20年10月3日 (2008.10.3)                  (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 507325275                  ビバント メディカル, インコーポレイ                  テッド                  アメリカ合衆国 コロラド 80301-                  3299, ボルダー, ロングボ                  ドライブ 5920                  (74) 代理人 100107489                  弁理士 大塩 竹志                  (72) 発明者 ジョセフ エー. パウルス                  アメリカ合衆国 コロラド 80027,                  ルイスビル, ダブリュー. ロイス                  ウェイ 540                  審査官 佐藤 智弥</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 組み合わせ周波数マイクロ波切除システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エネルギーを送達するためのシステムであって、  
 該システムは、  
 マイクロ波エネルギー送達機器と、  
 マイクロ波発生器と  
 を備え、該マイクロ波エネルギー送達機器は、  
 ハウジングであって、該ハウジングが、該ハウジングから遠位に延在する伝送線を有し、  
 該伝送線が内側導体と外側導体とを含み、該内側導体と該外側導体とは、該伝送線内に  
 同軸に配列され、かつ、該伝送線を通して延在する、ハウジングと、  
 該伝送線の遠位端に取り付けられたダイポールアンテナであって、該ダイポールアンテ  
 ナは、該伝送線からマイクロ波信号を受信することと、少なくとも2つの波長で該ダイポ  
 ールアンテナからエネルギーを放射することとを行うように構成される、ダイポールアン  
 テナと  
 を含み、  
 該ダイポールアンテナは、  
 接合部材であって、該接合部材は、該接合部材を通して延在する該内側導体の一部分に  
 よって支持され、該接合部材は、該ダイポールアンテナの給電点を形成する、接合部材と  
 、  
 該接合部材の遠位端に接続され、該給電点において該内側導体と電氣的に接続されてい

10

20

る遠位放射部分と、

該接合部材の近位端と該伝送線との間に接続された近位放射部分であって、該近位放射部分は、該給電点において該内側導体に電氣的に接続されている、近位放射部分と

をさらに含み、

該マイクロ波発生器は、該マイクロ波信号を該ダイポールアンテナの該給電点に提供するように動作可能であり、

該マイクロ波発生器は、組み合わせマイクロ波信号を生成するように動作可能であり、該組み合わせマイクロ波信号は、少なくとも第1の波長および第2の波長を有するマイクロ波エネルギーを含み、

該マイクロ波発生器は、該マイクロ波発生器の順方向電力および反射電力のうちの少なくとも一方に基づいて該第1の波長および該第2の波長のうちの少なくとも一方を調整するように構成されたプロセッサを含み、

該少なくとも第1の波長および第2の波長は、該ダイポールアンテナにおいて共振を生成することが可能である、システム。

【請求項2】

前記マイクロ波発生器は、

前記第1の波長において第1のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第1のマイクロ波信号発生器と、

前記第2の波長において第2のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第2のマイクロ波信号発生器と、

前記組み合わせマイクロ波信号を生成するために、該第1のマイクロ波信号と該第2のマイクロ波信号とを組み合わせるように動作可能である信号混合器と

をさらに備える、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】

前記マイクロ波発生器は、前記第1のマイクロ波信号および前記第2のマイクロ波信号のうちの1つの位相を、互に対してシフトするように構成される少なくとも1つの移相器をさらに含む、請求項2に記載のシステム。

【請求項4】

前記少なくとも1つの移相器は、前記第1のマイクロ波信号と前記第2のマイクロ波信号との間の位相を約180°シフトするように構成される、請求項3に記載のシステム。

【請求項5】

前記マイクロ波発生器は、前記第1のマイクロ波信号および前記第2のマイクロ波信号のうちの少なくとも1つを所望の混合比まで増幅するように構成される少なくとも1つの増幅器をさらに含む、請求項2に記載のシステム。

【請求項6】

前記混合比は、約1:99から99:1の間である、請求項5に記載のシステム。

【請求項7】

前記第1の波長は、第1の周波数に関連し、前記第2の波長は、該第1の周波数の調波に関連する、請求項2に記載のシステム。

【請求項8】

前記調波は、3分の1の調波および5分の1の調波のうちの1つである、請求項7に記載のシステム。

【請求項9】

前記第1の周波数は、約915MHzである、請求項7に記載のシステム。

【請求項10】

前記プロセッサは、前記第1のマイクロ波信号、前記第2のマイクロ波信号、および前記組み合わせ信号のうちの少なくとも1つのパラメータを制御するようにさらに構成される、請求項2に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 1 】

( 技術分野 )

本開示は、概して、マイクロ波エネルギーを組織に送達するための医療用 / 外科用切除システムおよび方法に関する。より具体的には、本開示は、エネルギーの深い侵入を達成するように組織に送達されるエネルギーのスペクトル周波数成分に関する。

## 【 背景技術 】

## 【 0 0 0 2 】

( 関連技術の背景 )

癌等の疾患の治療では、特定の種類の癌細胞が、温度上昇 ( 正常細胞に通常有害とされる温度よりも若干低い温度 ) によって変性することが発見されている。一般的に温熱療法として既知であるこれらの種類の治療は、典型的には、電磁放射を利用して、41 を上回る温度に異常細胞を加熱するとともに、不可逆的細胞破壊が確実に発生しないように、隣接する正常細胞を低温度に維持する。電磁放射を利用して組織を加熱する他の手順には、組織の切除および凝固が含まれる。例えば、月経過多症のために実行する手順等のこのようなマイクロ波切除手順は、典型的には、標的組織を切除および凝固して、組織を破壊および死滅させる。多くの手順および種類の電磁放射療法を利用する機器が、当技術分野において既知である。このようなマイクロ波療法は、典型的には、前立腺、心臓、および肝臓等の組織および器官の治療に使用される。

10

## 【 0 0 0 3 】

低侵襲的な手順は、概して、マイクロ波エネルギーの使用を介する皮下組織 ( 例えば、腫瘍 ) の治療を伴う。マイクロ波エネルギーは、皮膚に侵入して下層組織に到達可能であり、侵入深さは、典型的には、組織の物理的特性、切除に使用する切除器具の種類、切除器具が生成する電流密度パターンおよび組織に対するエネルギー送達速度、ならびにエネルギーのスペクトル成分等のいくつかの要因に依存する。

20

## 【 0 0 0 4 】

第1の要因である組織の物理的特性は、切除される標的組織 ( すなわち、癌組織 ) および標的組織を囲む正常組織によって判断される。当然ながら、臨床医は、標的組織のサイズもしくは形状、または患者の身体における標的組織の位置を制御することができないが、臨床医は、切除器具の種類および数を選択し、送達される力の量を調整し、エネルギー送達の速度を調整し、マイクロ波エネルギーのスペクトル成分を変動させることが可能である。

30

## 【 0 0 0 5 】

従来のシステムでは、エネルギーのスペクトル成分は、例えば、915 MHz、2450 MHz、および10 GHz 等の特定の周波数に固定される。マイクロ波信号のスペクトル成分は、アンテナに沿った電流密度を判断し、周囲媒体に送達されるマイクロ波エネルギーの量は、典型的には、エネルギー侵入の深さと、結果として生じる切除領域の形状とを判断する。例えば、10 GHz でエネルギーを送達する機器が、数ミリメートルだけ組織に侵入し、一方915 MHz でエネルギーを送達する機器が、数センチメートル組織を侵入し得ることは周知である。

## 【 発明の概要 】

40

## 【 発明が解決しようとする課題 】

## 【 0 0 0 6 】

単一マイクロ波周波数におけるマイクロ波エネルギーの送達は、特定の利点および不利点を提供する。電気手術システム、機器、および方法を開示して、エネルギー送達および器具の周囲の沈着をさらに制御可能にし得る複数のマイクロ波周波数において、マイクロ波エネルギーを同時送達し、また、異なるスペクトル組み合わせで一致するアンテナを使用することにより切除形状または完全性を潜在的に検知または判断することによって、本開示は、特定の周波数においてエネルギーを送達することに関する不利点を克服する。

## 【 課題を解決するための手段 】

## 【 0 0 0 7 】

50

エネルギーを送達するためのシステムが開示される。本システムは、その遠位端に取り付けられるアンテナであって、マイクロ波信号を受信し、かつ2つ以上の波長におけるエネルギーを放射するように構成されるアンテナを有するハウジングと、アンテナに協働し得るように接続するマイクロ波発生器であって、マイクロ波信号をアンテナに提供するマイクロ波発生器とを備える。マイクロ波発生器は、少なくとも第1および第2の波長を有するマイクロ波エネルギーを含む組み合わせマイクロ波信号を生成する。少なくとも第1および第2の波長の両方は、アンテナにおいて共振を生成することが可能である。

【0008】

本システムは、第1の波長において第1のマイクロ波信号を生成する第1のマイクロ波信号発生器と、第2の波長において第2のマイクロ波信号を生成する第2のマイクロ波信号発生器と、組み合わせマイクロ波信号を生成するために、第1および第2のマイクロ波信号を組み合わせる信号混合器とを含む。第1の波長は、第1の周波数に関連し、第2の波長は、第1の周波数の調波に関連する。調波は、3分の1または5分の1の調波であり得る。第1の周波数は、約915MHzであり得る。また、本システムは、第1および第2のマイクロ波信号のうちの1つの位相を相互にシフトするように構成される移相器も含み得る。移相器は、第1および第2のマイクロ波信号間の位相を約0°から約360°の間でシフトし得る。

10

【0009】

一実施形態では、本システムは、第1および第2のマイクロ波信号のうちの少なくとも1つを所望の混合比に増幅する増幅器も含み得る。混合比は、約1:99から99:1の間であってもよく、増幅器は、組み合わせマイクロ波信号を増幅するように構成され得る。さらに別の実施形態では、本システムは、第1のマイクロ波信号、第2のマイクロ波信号、または組み合わせ信号のパラメータを制御するように構成されるプロセッサをさらに含む得る。

20

【0010】

エネルギーを送達するための方法も開示される。本方法は、標的組織に対してマイクロ波アンテナを配置するステップと、マイクロ波発生器をマイクロ波アンテナに接続するステップと、マイクロ波信号を生成するステップと、マイクロ波信号をアンテナに送達するステップとから成る。アンテナは2つ以上のマイクロ波周波数において共振するように構成され、マイクロ波発生器は2つ以上のマイクロ波周波数におけるエネルギーを含むマイクロ波信号を生成するように構成される。マイクロ波信号は、2つ以上のマイクロ波周波数においてマイクロ波アンテナを共振させる。

30

【0011】

標的組織へのマイクロ波エネルギーの侵入を増加、修正、または形作るための方法も開示される。本方法は、標的組織に対してマイクロ波アンテナを配置するステップと、マイクロ波発生器をマイクロ波アンテナに接続するステップと、マイクロ波信号をマイクロ波アンテナに送達するステップと、マイクロ波信号のパラメータを修正するステップとを含む。マイクロ波発生器は、2つ以上のマイクロ波周波数において共振するように構成される。マイクロ波発生器は、2つ以上のマイクロ波周波数におけるエネルギーを含むマイクロ波信号を生成するように構成される。パラメータは、信号間の位相角、周波数、および周波数におけるエネルギー間の混合比のうちの1つであり得る。

40

【0012】

例えば、本発明は以下の項目を提供する。

(項目1)

遠位端にアンテナが取り付けられているハウジングであって、該アンテナはマイクロ波信号を受信し、少なくとも2つの波長におけるエネルギーを放射するように構成される、ハウジングと、

該マイクロ波信号を該アンテナに提供するように動作可能であるマイクロ波発生器と

を備え、該マイクロ波発生器は、少なくとも第1および第2の波長を有するマイクロ波エネルギーを含む組み合わせマイクロ波信号を生成するように動作可能であり、該少なく

50

とも第 1 および第 2 の波長は、該アンテナにおいて共振を生成することが可能である、エネルギーを送達するためのシステム。

(項目 2)

上記マイクロ波発生器は、

上記第 1 の波長において第 1 のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第 1 のマイクロ波信号発生器と、

上記第 2 の波長において第 2 のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第 2 のマイクロ波信号発生器と、

上記組み合わせマイクロ波信号を生成するために、該第 1 および第 2 のマイクロ波信号を組み合わせるように動作可能である信号混合器と

をさらに備える、上記項目のいずれかに記載のシステム。

10

(項目 3)

上記マイクロ波発生器は、上記第 1 および第 2 のマイクロ波信号のうちの 1 つの位相を、互に対してシフトするように構成される少なくとも 1 つの移相器をさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 4)

上記少なくとも 1 つの移相器は、上記第 1 と第 2 のマイクロ波信号との間の位相を約  $180^\circ$  シフトするように構成される、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 5)

上記マイクロ波発生器は、上記第 1 および上記第 2 のマイクロ波信号のうちの少なくとも 1 つを所望の混合比まで増幅するように構成される少なくとも 1 つの増幅器をさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

20

(項目 6)

上記混合比は、約  $1:99$  から  $99:1$  の間である、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 7)

上記第 1 の波長は、第 1 の周波数に関連し、上記第 2 の波長は、該第 1 の周波数の調波に関連する、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 8)

上記調波は、3分の1の調波および5分の1の調波のうちの 1 つである、上記項目のいずれかに記載のシステム。

30

(項目 9)

上記第 1 の周波数は、約  $915\text{ MHz}$  である、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 10)

上記第 1 のマイクロ波信号、上記第 2 のマイクロ波信号、および上記組み合わせ信号のうちの少なくとも 1 つのパラメータを制御するように構成されるプロセッサをさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 11)

マイクロ波発生器をマイクロ波アンテナに接続するステップと、

少なくとも 2 つのマイクロ波周波数におけるエネルギーを含むマイクロ波信号を生成するステップと、

該マイクロ波信号を該マイクロ波アンテナに送達するステップであって、該マイクロ波信号は、該少なくとも 2 つのマイクロ波周波数において該マイクロ波アンテナを共振させるステップと

を含む、マイクロ波エネルギーを送達するための方法。

40

(項目 12)

上記生成するステップは、

第 1 の周波数において第 1 のマイクロ波信号を生成するステップと、

第 2 の周波数において第 2 のマイクロ波信号を生成するステップと、

該第 1 のマイクロ波信号および該第 2 のマイクロ波信号を組み合わせるステップと

50

を含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 3)

上記第 2 の周波数は、上記第 1 の周波数の共振周波数にほぼ等しい、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 4)

上記第 1 の周波数を、上記第 2 の周波数に対して約 1 8 0 ° 移相するステップをさらに含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 5)

上記第 1 のマイクロ波信号と上記第 2 のマイクロ波信号との間の混合比を調整するステップをさらに含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

【 0 0 1 3 】

例えば、本発明は、また、以下の項目も提供する。

(項目 1 a)

遠位端にアンテナが取り付けられているハウジングであって、該アンテナはマイクロ波信号を受信し、少なくとも 2 つの波長におけるエネルギーを放射するように構成される、ハウジングと、

該マイクロ波信号を該アンテナに提供するように動作可能であるマイクロ波発生器とを備え、該マイクロ波発生器は、少なくとも第 1 および第 2 の波長を有するマイクロ波エネルギーを含む組み合わせマイクロ波信号を生成するように動作可能であり、該少なくとも第 1 および第 2 の波長は、該アンテナにおいて共振を生成することが可能である、エネルギーを送達するためのシステム。

(項目 2 a)

上記マイクロ波発生器は、

上記第 1 の波長において第 1 のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第 1 のマイクロ波信号発生器と、

上記第 2 の波長において第 2 のマイクロ波信号を生成するように動作可能である第 2 のマイクロ波信号発生器と、

上記組み合わせマイクロ波信号を生成するために、該第 1 および第 2 のマイクロ波信号を組み合わせるように動作可能である信号混合器と

をさらに備える、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 3 a)

上記マイクロ波発生器は、上記第 1 および第 2 のマイクロ波信号のうちの 1 つの位相を、互に対してシフトするように構成される少なくとも 1 つの移相器をさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 4 a)

上記少なくとも 1 つの移相器は、上記第 1 と第 2 のマイクロ波信号との間の位相を約 1 8 0 ° シフトするように構成される、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 5 a)

上記マイクロ波発生器は、上記第 1 および上記第 2 のマイクロ波信号のうちの少なくとも 1 つを所望の混合比まで増幅するように構成される少なくとも 1 つの増幅器をさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 6 a)

上記混合比は、約 1 : 9 9 から 9 9 : 1 の間である、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 7 a)

上記第 1 の波長は、第 1 の周波数に関連し、上記第 2 の波長は、該第 1 の周波数の調波に関連する、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 8 a)

上記調波は、3 分の 1 の調波および 5 分の 1 の調波のうちの 1 つである、上記項目のいずれかに記載のシステム。

10

20

30

40

50

(項目 9 a)

上記第 1 の周波数は、約 9 1 5 M H z である、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 1 0 a)

上記第 1 のマイクロ波信号、上記第 2 のマイクロ波信号、および上記組み合わせ信号のうち少なくとも 1 つのパラメータを制御するように構成されるプロセッサをさらに含む、上記項目のいずれかに記載のシステム。

(項目 1 1 a)

標的組織に対してマイクロ波アンテナを配置するステップと、  
マイクロ波発生器を該マイクロ波アンテナに接続するステップと、  
少なくとも 2 つのマイクロ波周波数におけるエネルギーを含むマイクロ波信号を生成するステップと、

該マイクロ波信号を該マイクロ波アンテナに送達するステップであって、該マイクロ波信号は、該少なくとも 2 つのマイクロ波周波数において該マイクロ波アンテナを共振させるステップと

を含む、エネルギーを組織に送達するための方法。

10

(項目 1 2 a)

上記生成するステップは、

第 1 の周波数において第 1 のマイクロ波信号を生成するステップと、

第 2 の周波数において第 2 のマイクロ波信号を生成するステップと、

該第 1 のマイクロ波信号および該第 2 のマイクロ波信号を組み合わせるステップと

を含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

20

(項目 1 3 a)

上記第 2 の周波数は、上記第 1 の周波数の共振周波数にほぼ等しい、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 4 a)

上記第 1 の周波数を、上記第 2 の周波数に対して約 1 8 0 ° 移相するステップをさらに含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 5 a)

上記第 1 のマイクロ波信号および上記第 2 のマイクロ波信号を組み合わせることは、組織へのエネルギー侵入を増加させる、上記項目のいずれかに記載の方法。

30

(項目 1 6 a)

上記第 1 のマイクロ波信号と上記第 2 のマイクロ波信号との間の混合比を調整するステップをさらに含む、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 7 a)

標的組織に対してマイクロ波アンテナを配置するステップと、  
マイクロ波発生器を該マイクロ波アンテナに接続するステップと、  
少なくとも 2 つのマイクロ波周波数におけるエネルギーを含むマイクロ波信号を、該マイクロ波アンテナに送達するステップと、

位相角、周波数、および該少なくとも 2 つのマイクロ波周波数における該エネルギーの間の混合比のうち少なくとも 1 つを修正するステップと

を含む、標的組織へのマイクロ波エネルギーの侵入を増加させる方法。

40

(項目 1 8 a)

上記位相角は、上記少なくとも 2 つのマイクロ波周波数の間の位相関係を約 1 8 0 ° シフトすることによって修正される、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 1 9 a)

上記混合比は、上記少なくとも 2 つのマイクロ波周波数における上記エネルギーを、約 9 9 : 1 と 1 : 9 9 との間の比に修正する、上記項目のいずれかに記載の方法。

(項目 2 0 a)

上記少なくとも 2 つのマイクロ波周波数のうちの少なくとも 1 つは、上記マイクロ波アンテナによって生成される電流密度パターンを変更するように修正される、上記項目のい

50

ずれかに記載の方法。

【0014】

(摘要)

電気手術エネルギー送達するためのシステムであって、その遠位端に取り付けられるアンテナであって、マイクロ波信号を受信し、かつ少なくとも2つの波長におけるエネルギーを放射するように構成されるアンテナを有するハウジングと、アンテナに協働し得るように接続するマイクロ波発生器であって、マイクロ波信号をアンテナに提供するマイクロ波発生器とを備えるシステムが提供される。マイクロ波発生器は、少なくとも第1および第2の波長を有するマイクロ波エネルギーを含む組み合わせマイクロ波信号を生成し、少なくとも第1および第2の波長は、アンテナにおいて共振を生成することが可能である。

10

【図面の簡単な説明】

【0015】

本開示の種々の実施形態は、図面を参照して本明細書において説明される。

【図1】図1は、本開示のある実施形態に従う電気手術システムの斜視図である。

【図2】図2は、図1のマイクロ波エネルギー送達機器の遠位端の横断面図である。

【図3】図3は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、波長  $\lambda$  を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図4】図4は、図3の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、波長  $\lambda$ 、および  $\lambda/2$  を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

20

【図5】図5は、2つ以上の波長を含むマイクロ波信号を生成および組み合わせるための、図1からのマイクロ波エネルギー発生回路のブロック図である。

【図6A】図6Aは、波形 および  $\lambda$  のグラフであり、時間は、波形の「位相角」として表され、2つの波形の大きさは正規化される。

【図6B】図6Bは、図6Aからの波形 および  $\lambda$  ならびに合成電流密度波形により駆動されるアンテナによって生成される、瞬間時点における電流密度パターンの時系列グラフである。

【図7】図7は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、波長  $\lambda$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

30

【図8A】図8Aは、波形 および  $\lambda$  のグラフであり、時間は、波形の「位相角」として表され、2つの波形は、波形に対して  $30^\circ$  だけ移相され、2つの波形の大きさは正規化される。

【図8B】図8Bは、図8Aからの波形 および  $\lambda$  ならびに合成電流密度波形により駆動されるアンテナによって生成される、瞬間時点における電流密度パターンの時系列グラフである。

【図9A】図9Aは、波形 および  $\lambda$  のグラフであり、時間は、波形の「位相角」として表され、2つの波形は、波形に対して  $60^\circ$  だけ移相され、2つの波形の大きさは正規化される。

【図9B】図9Bは、図9Aからの波形 および  $\lambda$  ならびに合成電流密度波形により駆動されるアンテナによって生成される、瞬間時点における電流密度パターンの時系列グラフである。

40

【図10】図10は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、波長  $\lambda$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図11】図11は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、 $180^\circ$  移相された波長  $\lambda$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図12】図12は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、 $180^\circ$  移相された波長  $\lambda$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号によ

50

る駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図13】図13は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、波長 $\lambda_{3rd}$ 、 $\lambda_{5th}$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号であって、波形 $\lambda_{3rd}$ および $\lambda_{5th}$ が3:1の強度レベルであるマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図14】図14は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、180°移相された波長 $\lambda_{3rd}$ 、 $\lambda_{5th}$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【図15】図15は、図2の半波長ダイポールアンテナ部分のグラフであり、180°移相された波長 $\lambda_{3rd}$ 、 $\lambda_{5th}$ 、および合成電流密度波形を有するマイクロ波信号であって、波形 $\lambda_{3rd}$ および $\lambda_{5th}$ が3:1の強度レベルであるマイクロ波信号による駆動時に、アンテナに沿って生成される対応する電流密度を示す。

【発明を実施するための形態】

【0016】

ここで開示されるマイクロ波アンテナ組立体に関する実施形態について、図面を参照して詳述し、本図面において、同様の参照数字は、類似または同一の要素を識別する。本明細書において使用する際、また、従来的に用語の「遠位」は、ユーザから最も遠い部分を言及し、用語の「近位」は、ユーザに最も近い部分を言及する。加えて、「上」、「下」、「前方」、「後方」等の用語は、図面の配向または構成要素の方向を言及し、単に、説明の便宜上使用されるだけである。

【0017】

患者における組織の罹患部位の治療中、組織の罹患部位に対して、マイクロ波アンテナ組立体等のマイクロ波エネルギー送達機器を挿入および配置することが、治療を成功させるために好ましい。概して、本明細書に説明するマイクロ波アンテナ組立体は、組織への直接挿入を可能にし、また、遠位端において半波長ダイポールアンテナを含む。組織への経皮的挿入のためのマイクロ波組立体については、2005年4月12日に発行されたPrakashに対する米国特許第6,878,147号に説明されており、これは、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。

【0018】

マイクロ波エネルギー送達機器の配置に関する重要な側面の1つは、機器によりもたらされる切除範囲のサイズおよび形状を判断し、この切除範囲内に標的組織が含まれることを確実にすることである。

【0019】

(マイクロ波エネルギー切除システム)

図1を参照すると、本開示のある実施形態に従う組み合わせ周波数マイクロ波切除システム(以下「マイクロ波切除システム」)がシステム10として示される。マイクロ波切除システム10は、伝送線120を介してマイクロ波エネルギー送達機器110に接続される組み合わせ周波数マイクロ波発生器100(以下、「マイクロ波発生器」)を含み、いくつかの実施形態では、冷却液供給部130を含む。マイクロ波発生器100は、マイクロ波エネルギー発生回路150を収容するハウジング130と、伝送線120の機器コネクタ170に接続する送達機器ポート160とを含む。

【0020】

マイクロ波エネルギー送達機器110は、ハンドル112と、遠位端にアンテナ116を含む細長いシャフト114とを含む。アンテナ116の遠位部分は、患者組織180への経皮的挿入のために鋭利な先端118を形成し得る。存在する場合、冷却液供給部130は、ハンドル112の近位端にそれぞれ接続される供給管132および返送管134を介して、冷却液をマイクロ波エネルギー送達機器110に供給する。

【0021】

マイクロ波エネルギー送達機器110は、単一のマイクロ波周波数でマイクロ波エネルギーを供給する従来のシステムと使用するように設計および意図され得るか、またはマイ

10

20

30

40

50

マイクロ波エネルギー送達機器は、具体的には、組み合わせ周波数マイクロ波発生器 100 と使用するよう設計および意図され得る。本開示は、組み合わせ周波数マイクロ波切除システム 10 と、経皮型マイクロ波エネルギー送達機器と使用方法とについて説明するが、本明細書に開示されるシステムおよび方法は、例えば、カテーテル型機器、内視鏡機器、および表面送達機器（図示せず）等のマイクロ波エネルギーを送達可能な任意の適切なマイクロ波エネルギー送達機器 110 と使用され得る。

#### 【0022】

図 2 は、図 1 の機器に類似するマイクロ波エネルギー送達機器 110 の遠位端の横断面図である。アンテナ 216 は、従来の半波長ダイポールマイクロ波アンテナである。アンテナ 216 は、その近位端において供給線 220 に接続される近位放射部分 216 a と、遠位放射部分 216 b とを含む。鋭利な先端 218 は、遠位放射部分 216 b の一部であってもよく、または鋭利な先端 218 は、遠位放射部分 216 b に連結し、エネルギーを放射しないように構成される。アンテナ 216 は、近位放射部分 216 a および遠位放射部分 216 b を含む。近位放射部分 216 a は、典型的には、外側導体 222 および内側導体 224 を有してもよく、その各々は、長手方向軸に沿って延在する。外側導体 222 と内側導体 224 との間には、典型的には、導体 222、224 間に長手方向に配置される誘電材料 226 が存在し、その間の電氣的遮蔽を提供する。誘電材料 226 は、空気を含む任意の数の適切な材料を構成し得る。近位および遠位放射部分 216 a、216 b は、典型的には誘電材料から形成される接合部 216 c において整合する。接合部 216 c は、接合部 216 c を貫通し、かつ遠位放射部分 216 b に少なくとも部分的に延出する内側導体 224 によって支持され得る。

#### 【0023】

使用中、従来のシステムは、波長  $\lambda$  を有するマイクロ波エネルギー信号を生成し、伝送線 220 を介してアンテナ 216 に信号を送送する。アンテナ 216 は、近位および遠位放射部分 216 a、216 b からエネルギーを送送する。放射部分は、周囲媒体において電場（以下、「E 場」）をもたらす、これによって、H<sub>2</sub>O 分子（および他の極性分子）が攪拌および/または回転し、熱が生じる。

#### 【0024】

一般に、時間変動磁場により生成される E 場は、電荷を帯びた他の物体に力を及ぼす。「E 場」および「磁場」は、同一ではないが、これらは完全に分離できない。ゆえに、明確にするために、用語の「電磁場」は、E 場、磁場、または E 場もしくは磁場のいずれかによって生成される組み合わせ力を説明するために使用される。電磁場は、H<sub>2</sub>O 分子の局所的運動、すなわち振動運動および/または回転運動をもたらす得るか、または電磁場は、極めて短い距離において電流を誘発し得る。この攪拌、摩擦、および/または分子間で誘発された電流によって、周囲媒体に熱が生じる。所定の点における E 場の強度は、任意のその所定の点において電荷に及ぼされ得る力として定義され、E 場の方向は、その力の方向によって求められる。

#### 【0025】

電磁場の強度は、周囲組織における電流密度（すなわち、保存電荷の密度の測定値）によって表され得る。電流密度は、典型的には、電流に関連するが、本開示では、電流密度は、概して、マイクロ波信号のアンテナへの適用時に生成される電磁場の大きさおよび相対的強度を表す。

#### 【0026】

マイクロ波エネルギーの効率的な放射のためのアンテナ 216 の物理的長さは、いくつかの要因に依存し得る。1つの要因は、有効波長  $\lambda_{eff}$  であり、これは、周囲媒体の誘電特性に依存する。波長  $\lambda$  でマイクロ波エネルギーが伝送されるアンテナ 216 は、異なる有効波長  $\lambda_{eff}$  を有してもよく、周囲媒体、例えば乳房組織とは対照的に、例えば肝臓組織に依存する。また、アンテナ 216 上に配置され得る塗膜は、有効波長  $\lambda_{eff}$  に影響を及ぼす。

#### 【0027】

簡潔にするために、本開示では、マイクロ波発生器により生成され、かつアンテナ 2 1 6 に供給される信号の波長を、概して  $\lambda$  として参照し、アンテナ 2 1 6 の物理的長さは、マイクロ波信号のほぼ約半分の波長、つまり  $\lambda/2$  であり、また、それぞれの媒体におけるアンテナの「有効な」長さである。

【 0 0 2 8 】

図 3 は、図 2 の半波長ダイポールアンテナ 2 1 6 であり、波長  $\lambda$  におけるマイクロ波信号の供給時にアンテナ 2 1 6 に沿って対応する瞬間電流密度 3 0 0 に関するグラフである。アンテナ 2 1 6 は、アンテナ 2 1 6 を横切る正弦波電流分布を有する近位および遠位放射部分 2 1 6 a、2 1 6 b を含む。最大電流は、ダイポールの中心にあり、ゼロ電流密度は各端部にある。電流密度 3 0 0 は、周囲組織に放射される電磁場パターン / 波に関連する周囲媒体における瞬間相対エネルギー侵入を表す。

10

【 0 0 2 9 】

図 3 に示すアンテナ 2 1 6 は、近位および遠位放射部分 2 1 6 a、2 1 6 b が実質的に等しい平衡型ダイポールアンテナであるが、本明細書に説明する実施形態は、例えば、単極アンテナ、3 極アンテナ、または不平衡型ダイポールアンテナ（近位および遠位放射部分 2 1 6 a、2 1 6 b は等しくない）等の任意の適切なアンテナで実装され得る。

【 0 0 3 0 】

また、アンテナ 2 1 6 は、追加の波長を含む信号による駆動時に、共振して、エネルギーを周囲媒体に送達してもよく、この場合、波長は、 $\lambda$  の奇数倍数調波である。図 4 に示すように、 $\lambda/2$  にほぼ同等である物理的長さを含む半波長ダイポールアンテナは、 $\lambda/3$ 、 $\lambda/5$ 、 $\lambda/7$ 、 $\lambda/9$ 、 $\lambda/11$ 、 $\lambda/13$ 、 $\lambda/15$ 、 $\lambda/17$ 、 $\lambda/19$ 、 $\lambda/21$ 、 $\lambda/23$ 、 $\lambda/25$ 、 $\lambda/27$ 、 $\lambda/29$ 、 $\lambda/31$ 、 $\lambda/33$ 、 $\lambda/35$ 、 $\lambda/37$ 、 $\lambda/39$ 、 $\lambda/41$ 、 $\lambda/43$ 、 $\lambda/45$ 、 $\lambda/47$ 、 $\lambda/49$ 、 $\lambda/51$ 、 $\lambda/53$ 、 $\lambda/55$ 、 $\lambda/57$ 、 $\lambda/59$ 、 $\lambda/61$ 、 $\lambda/63$ 、 $\lambda/65$ 、 $\lambda/67$ 、 $\lambda/69$ 、 $\lambda/71$ 、 $\lambda/73$ 、 $\lambda/75$ 、 $\lambda/77$ 、 $\lambda/79$ 、 $\lambda/81$ 、 $\lambda/83$ 、 $\lambda/85$ 、 $\lambda/87$ 、 $\lambda/89$ 、 $\lambda/91$ 、 $\lambda/93$ 、 $\lambda/95$ 、 $\lambda/97$ 、 $\lambda/99$  の波長でも共振し、 $\lambda/3$  および  $\lambda/5$  は、それぞれ  $\lambda/3$  の 1 および  $\lambda/5$  の 1 の調波である。アンテナの物理的長さは、波長  $\lambda/3$  では  $\lambda/2$  に等しく、波長  $\lambda/5$  では  $3\lambda/5$  に等しく、波長  $\lambda/7$  では  $5\lambda/7$  に等しい。 $\lambda/3$ 、 $\lambda/5$ 、および  $\lambda/7$  の電流密度は、正弦波形状であり、 $\lambda/3$  は、単一の正弦波ノードを有し、 $\lambda/5$  は、3 つの正弦波ノードを有し、 $\lambda/7$  は、5 つの正弦波ノードを有する。

20

【 0 0 3 1 】

例えば、 $\lambda/3$ 、 $\lambda/5$ 、または  $\lambda/7$  等の単一の波長でエネルギーをアンテナ 2 1 6 に供給する場合、周囲媒体の加熱は、電流密度に依存し、電流密度は、波形  $\lambda/3$ 、 $\lambda/5$ 、 $\lambda/7$  の絶対値に類似の形状である。

30

【 0 0 3 2 】

図 3 に示すように、波長  $\lambda$  および周波数 9 1 5 M H z のマイクロ波信号を、物理的長さ約  $\lambda/2$  のアンテナ 2 1 6 に提供することによって、正弦波分布の電流 3 0 0 が生成される。電流 3 0 0 は、電磁場に関連し、周囲媒体の加熱をもたらす。結果として生じる切除範囲は、電流 3 0 0 の大きさに関連することから、円形切除領域が形成される。切除領域は、ドーナツ状またはトーラス状領域として説明され得る。

【 0 0 3 3 】

図 4 に示すように、長さが  $\lambda/2$  であるアンテナ 2 1 6 は、 $\lambda/3$  の 3 分の 1 の調波  $\lambda/3$  および  $\lambda/5$  の 5 分の 1 の調波  $\lambda/5$  が供給されると、共振して、エネルギーを周囲媒体に送達する。例えば、約 9 1 5 M H z または  $\lambda/3$  で共振するアンテナは、約 2 . 5 2 5 G H z または  $\lambda/5$  において、および 4 . 2 0 9 G H z または  $\lambda/7$  においても共振する。例示目的のために、正弦波および本明細書において説明される他の波形は、時間の特定の時点での、ある方向における電流密度に関連し、ダイポールの上の波形の一部は、右に移動する電流の大きさを提供し、ダイポールの下の波形の一部は、左に移動する電流の大きさを提供する。

40

【 0 0 3 4 】

$\lambda/3$  および  $\lambda/5$  の波長において、アンテナ 2 1 6 に沿った電流  $\lambda/3$ 、 $\lambda/5$  それぞれの大きさは、 $\lambda/2$  における電流の大きさとは異なり、それによって、周囲媒体へのエネルギーの異なる侵入パターンがもたらされる。各切除領域の実際の形状および

50

サイズは、例えば、周囲媒体の物理的特性および各波長または調波において供給されるエネルギー量等の要素にも依存し得る。

【 0 0 3 5 】

マイクロ波周波数が低い程、典型的には、周囲媒体へのエネルギーの侵入が深くなり、高マイクロ波周波数のマイクロ波に比べて、媒体への損傷の即時性および集中度が低くなる。これに対して、より高い周波数におけるエネルギー送達は、組織特性およびアンテナ共振シフトにおける変化の影響を受けにくく、概して、より局所的なエネルギーを送達する。本開示の一実施形態では、図 1 のマイクロ波発生器 1 0 0 は、2 つ以上の周波数におけるマイクロ波エネルギーをマイクロ波エネルギー送達機器 1 1 0 に供給してもよく、この場合、2 つ以上の周波数は、アンテナ 1 1 6 の共振周波数である。例えば、マイクロ波発生器は、例えば 等 の第 1 の波長ならびに  $\lambda_{3rd}$  および  $\lambda_{5th}$  の片方または両方等の第 2 の波長によってエネルギーを送達し得る。マイクロ波発生器 1 0 0 は、2 つ以上の周波数を切り替え、第 1 の周波数でエネルギーを送達し、その後、第 2 の周波数でエネルギーを送達し得る。周波数は、選択された周波数のうちの 1 つ以上において一致する好ましい共振を提供するように選択され得る。

10

【 0 0 3 6 】

特定の一実施形態では、切除手順は、第 1 の時間帯に、対応する波長  $\lambda$  を有する、例えば 9 1 5 M H z 等の第 1 の周波数においてエネルギーを供給し、第 2 の時間帯に、対応する波長  $\lambda_{3rd}$  を有する、例えば 2 . 4 5 0 G H z 等の第 2 の周波数に切り替え、そして、第 3 の時間帯に、第 1 の周波数に戻すためのマイクロ波発生器 1 0 0 を含む。マイクロ波発生器 1 0 0 は、2 つの周波数、周波数の組み合わせ、および / または各送達時間の持続時間の間の最善の関係 (すなわち、例えば、S 1 1 等の S パラメータ関係、または各周波数に対する入力ポート電圧反射係数) を判断してもよい。

20

【 0 0 3 7 】

別の実施形態では、切除手順は、第 1 の時間帯に第 1 の周波数において、第 2 の時間帯に第 2 の周波数において、および第 3 の時間帯に第 3 の周波数においてエネルギーを供給するマイクロ波発生器 1 0 0 を含む。

【 0 0 3 8 】

測定されたパラメータは、送達された周波数のうちの 1 つ以上を判断するために使用され得る。

30

【 0 0 3 9 】

( 組み合わせ周波数マイクロ波切除システム )

本開示は、マイクロ波エネルギーのより深い侵入または可変的標的を達成するために、切除中に同時に共振周波数を組み合わせるためのシステム、機器、および方法にも関する。当業者は、本明細書に説明するシステム、機器、および方法が、他のエネルギー源に適応し得ることを理解するであろう。例えば、マイクロ波エネルギー源は、R F エネルギー源、光エネルギー源、超音波エネルギー源、または共振波形の組み合わせ時にエネルギーが相乗効果をもたらす任意の他の適切なエネルギー源と置換されてもよい。

【 0 0 4 0 】

引き続き図 4 を参照すると、波長  $\lambda$  において、アンテナ 2 1 6 により生成される電流の方向が同一方向にあることが理解可能である。波長  $\lambda_{3rd}$  および  $\lambda_{5th}$  では、アンテナ 2 1 6 により生成された電流の方向は、波形の半周期毎に変化する。より具体的には、波長  $\lambda_{3rd}$  では、電流の方向は、3 1 0 a および 3 1 0 b において変化し、また、波長  $\lambda_{5th}$  では、電流の方向は、3 2 0 a、3 2 0 b、3 2 0 c、および 3 2 0 d において変化する。

40

【 0 0 4 1 】

以下により詳細に論じるように、波長  $\lambda$ 、 $\lambda_{3rd}$ 、および  $\lambda_{5th}$  を有するマイクロ波波形を組み合わせることによって、新しい波形、ならびに合成電磁場および電流密度がもたらされる。新しい波形は、2 つの波形が付加的である範囲を含み、それによって、相乗効果がもたらされ、結果的に、電流密度が高くなり、かつ組織侵入が増加する。また、

50

新しい波形は、一方の波形が第2の波形の少なくとも一部分を相殺する範囲も含み、それによって、エネルギー送達が増加する範囲が生成される。

【0042】

例えば、近位放射部分216bの近位端と、アンテナ216上の位置320aとの間に、300、 $3_{rd}$ 310、および $5_{th}$ 320の3つの波形によって生成される電力は、同一方向にあるため、アンテナ216のこの部分における波形のいずれかを組み合わせることによって、付加的効果がもたらされる。位置320aと位置310aの間では、および $3_{rd}$ の波形は、相互に付加的であり、波形 $5_{th}$ の方向とは反対である。ゆえに、位置320aと位置310aの間では、波形および $3_{rd}$ は、組み合わせる場合に付加的であり、波形 $5_{th}$ の方向とは反対であるため、相殺効果を有し得る。位置310aと位置320bの間では、 $3_{rd}$ および $5_{th}$ の波形は、相互に付加的であり、波形の方向とは反対である。位置310aと位置320bの間では、波形 $3_{rd}$ および $5_{th}$ は、組み合わせる場合に付加的であり、波形の方向に反対である。

10

【0043】

共振波形、 $3_{rd}$ 、または $5_{th}$ による駆動時に、アンテナ216は、対応する電流密度300、310、および320をもたらす「遠距離場」エネルギーを含む電磁場を生成し、この場合、電流密度形状は、エネルギー分布を示す。切除領域は、エネルギー分布の形状に関連するが、「遠距離場」領域により定義される範囲に到達する前の周囲媒体へのエネルギー消散により、エネルギー分布の形状に類似し得ない。「遠距離場」は、切除領域の外側数センチメートルに対応し得る。

20

【0044】

「遠距離場」領域および結果として生じる切除領域の形状は、切除手順中に電磁場を変化させることによって変動し得る。例えば、 $3_{rd}$ 、または $5_{th}$ 間の波形の変化は、電磁場および結果として生じる切除領域の形状を変化させる。

【0045】

本開示の一実施形態では、図1のマイクロ波発生器100は、2つの異なる波長におけるマイクロ波エネルギーを、マイクロ波エネルギー送達機器110に同時に送達する。マイクロ波発生器100は、マイクロ波エネルギー送達機器110に送達される波長、2つの周波数間の混合比(例えば、各周波数において供給されるエネルギーの比率)、および1つ以上の信号間の位相関係または位相角のうちのいずれか1つを選択し得る。

30

【0046】

波長は、所望の合成電流密度パターン、所望の切除パターン、および/または所望の切除領域もしくは形状を生成するように選択され得る。合成電流密度パターンは、周囲媒体へのエネルギーの深い侵入をもたらし得るか、または所望の形状もしくは体積を有する切除領域をもたらし得る。

【0047】

以下に詳述するように、異なる波長を有するマイクロ波信号を組み合わせることによって、可変の電流密度およびパターンが生成される。例えば、波長および $3_{rd}$ を組み合わせることによって、アンテナ216の近位端および遠位端において周囲媒体へのエネルギーの深い侵入をもたらす電流密度パターンがもたらされ、また、波長および $5_{th}$ を組み合わせることによって、アンテナ216の中間点および終点においてノードへのエネルギー送達をもたらす電流密度パターンがもたらされ得る。臨床医は、標的領域または範囲に対応する電流密度パターンを生成する波長を選択することができる。

40

【0048】

別の実施形態では、マイクロ波信号の少なくとも1つの特性は、所望の電流密度パターンおよび/または結果として生じる切除領域を生成するように選択される。特性は、2つのマイクロ波信号間の位相角、2つの信号間の強度比、周囲媒体に送達されるエネルギー、または任意の他の適切な特性であり得る。例えば、波長および $3_{rd}$ を有するマイクロ波信号を同相で組み合わせることによって生成される電流密度パターンは、アンテナ

50

216の近位端および遠位端において電流の集中を提供する電流密度パターンをもたらし、一方、波長  $\lambda_{3rd}$  を有するマイクロ波信号を  $180^\circ$  位相を異にして組み合わせることによって、中間点において電流の集中がもたらされ、アンテナ216の近位端および遠位端におけるノードがより小さくなる。

【0049】

本開示のさらに別の実施形態では、マイクロ波信号の少なくとも1つの特性は、マイクロ波信号を組み合わせることによって生成される電流密度パターンの形状を変化させるように調整される。例えば、電流密度パターンは、2つの信号間の位相関係を同相から  $180^\circ$  異相にシフトすることによって、またはその間の関係を同相から  $-180^\circ$  異相にシフトすることによって変化され得る。2つの信号間の位相関係は、電流密度パターンを調整するため、切除領域の形状を増加させるため、または切除領域の形状を調整するために、まず所望の電流密度パターンを生成するように選択されて、切除手順中またはエネルギー送達中に変更され得る。

10

【0050】

本開示のさらに別の実施形態では、特性は、2つのマイクロ波信号間の混合比に関連し得る。第1および第2のマイクロ波信号間の混合比は、まず、99:1から1:99の範囲に設定され得る。代替として、混合比は、電流密度パターンを変化させるため、または切除領域の全体の形状および/または体積を変化させるために、マイクロ波エネルギーの送達中に調整され得る。例えば、切除中、混合比は、周囲媒体の物理的特性における変化を受けにくい波長において送達されるエネルギーを増加させるように調整され得る。

20

【0051】

図5は、2つの異なる波長におけるマイクロ波エネルギーを生成および組み合わせるための、図1のマイクロ波エネルギー発生回路150のブロック図である。マイクロ波エネルギー発生回路150は、第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152b、第1および第2の移相器154a、154b、第1および第2の信号増幅器156a、156b、信号混合器158、および混合信号増幅器回路159を含む。マイクロ波エネルギー発生器およびマイクロ波発生回路は、概して、当技術分野において既知であるため、本開示に特有のマイクロ波エネルギー発生回路150の要素についてのみ詳述する。

【0052】

第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152bは、2つの波長においてマイクロ波信号を生成する。例えば、第1のマイクロ波信号発生器152aは、波長  $\lambda_1$  を有する信号を生成し、第2のマイクロ波信号発生器152bは、 $\lambda_2$  に等しくないかまたは同等である波長を有する信号を生成し得る。別の実施形態では、第1のマイクロ波信号発生器152aは、アンテナの共振周波数において信号を生成し、第2のマイクロ波信号発生器152bは、共振周波数の調波において信号を生成し得る。

30

【0053】

さらに別の実施形態では、プロセッサ151は、第1および第2の信号発生器152a、152bによりもたらされた信号の波長を監視および/または制御し得る。プロセッサ151は、第1の波長  $\lambda_1$  等の1つ以上のパラメータを、第1の信号発生器152aに提供し、第2の波長等のパラメータを第2の信号発生器152bに提供し得る。1つ以上の波長は、プロセッサ151によって計算され、臨床医によって入力または選択され、実行する切除手順の種類によって判断され、マイクロ波エネルギー送達機器のパラメータによって判断され得るか、またはそれらの任意の組み合わせによる。

40

【0054】

第2の波長は、例えば、3分の1の調波  $\lambda_{3rd}$  または5分の1の調波  $\lambda_{5th}$  等の第1の波長の調波であり得る。プロセッサ151は、臨床医から第1の波長を受信してもよく、および/またはそれから  $\lambda_{3rd}$  または  $\lambda_{5th}$  を計算してもよい。

【0055】

さらに別の実施形態では、プロセッサ151は、第1および/または第2の信号発生器152a、152bによって生成された波長を計算または調整するアルゴリズムを含み得

50

る。一実施形態では、混合信号増幅器回路159は、フィードバック（すなわち、順方向電力および/または反射電力）をプロセッサ151に提供し、プロセッサ151は、生成された信号の1つ以上の特性を計算または調整する。例えば、プロセッサ151は、第1のマイクロ波信号発生器152によって生成された波長を変動させることによって、第1の共振周波数を判断し得る。第2のマイクロ波信号発生器153bの波長は、類似のアルゴリズムによって判断され得るか、または例えば  $\lambda_{3rd}$  および  $\lambda_{5th}$  等の第1の波長の調波として計算され得る。

【0056】

第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152bからの信号は、相互に同相でシフトされ得る。一実施形態では、マイクロ波エネルギー発生回路150は、少なくとも1つの信号を遅延させることによって、第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152bからの信号間の位相角を変更させる、すなわち信号を移相するための第1および第2の移相器154a、154bを含む。第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152bからの信号間の移相の大きさは、例えば、180°離隔等に固定され得るか、または、プロセッサ151は、信号間の移相の量を動的に調整し得る。移相は、後述するように電流密度を変動させるように、またはアンテナとの共振を維持するように（明示せず）調整され得る。

【0057】

理想的には、第1および第2の移相器154a、154bは、低い挿入損失、高い出力処理、および瞬間相変化応答を提供する。第1および第2の移相器154a、154bによる信号損失は、第1または第2の信号増幅器156a、156bの信号増幅量によって克服され得る。第1および第2の移相器154a、154bは、線路切替型移相器、負荷線路型移相器、強誘電体移相器、反射移相器、または第2のマイクロ波信号に対して第1のマイクロ波信号の位相をシフトする任意の他の適切な機器であり得る。

【0058】

第1および第2の移相器154a、154bは、アナログまたはデジタルであってもよく、電氣的、磁氣的、または機械的に制御されてもよい。アナログ移相器は、例えば、ハードウェアを介して調整され得るまたは電氣的に制御され得る可変電圧等の可変移相を提供し得る。代替として、アナログ移相器154a、154bは、例えば、チタン酸バリウムストロンチウム等の非線形誘電体または強誘電材料等のキャパシタンスによって制御され得る。

【0059】

一実施形態では、1つ以上の移相器154a、154bは、機械的に制御されたアナログ移相器であって、機械的に延長された伝送経路を選択することによって構成されるアナログ位相器であり得る。移相器154a、154bは、伝送経路を延長するように構成され得るか、または可変長さの複数の伝送経路を提供し、所望の移相を提供する複数の伝送経路のうちの一つを選択するように構成され得る。

【0060】

本開示のさらに別の実施形態では、第1のマイクロ波信号発生器152aは、信号を生成し、第1の信号増幅器156aに直接供給することによって、第1の移相器154aを回避および排除し得る。第2のマイクロ波信号発生器152bからの信号は、第1のマイクロ波信号発生器152aからの信号に対して、第2の移相器154bによって移相され得る。第2の信号増幅器156bは、第2の移相器154bにおける任意の信号損失を担うように、第2の移相器154bからの信号を増幅し得る。

【0061】

第1および第2の信号増幅器156a、156bは、第1および第2のマイクロ波信号発生器152a、152bのそれぞれから生成された信号を増幅する。第1および第2の信号増幅器156a、156bによる信号増幅は、後述するように、2つの信号間の適切な混合比を提供するための信号混合器158による2つの信号の混合または組み合わせ前に実行され得る。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 2 】

プロセッサ 1 5 1 は、2つの信号間の混合比を調整して、所望の電流密度パターンを提供し得る。例えば、プロセッサ 1 5 1 は、まず、第 1 の波長  $\lambda_1$  において送達されたエネルギーと、第 2 の波長  $\lambda_2$  において送達されたエネルギーとの 3 : 1 の混合比を提供し得る。媒体が加熱され、媒体のインピーダンスが増加すると、混合比は、例えば、混合比 1 : 1、1 : 3、または 1 : 9 等の第 2 の混合比に調整され得る。混合比の調整は、段階的または連続的に変化し得る。

## 【 0 0 6 3 】

混合比は、プロセッサによって動的に変化させられ得るか、または変化は、マイクロ波発生回路 1 5 0 からのフィードバックに基づいて変化させられ得る。別の実施形態では、混合比の変化は、配線回路（図示せず）によって自動的に実行され得る。代替として、変化は、臨床医によって起動または選択され得る。

10

## 【 0 0 6 4 】

第 1 および第 2 の信号発生器 1 5 2 a、1 5 2 b から生成された信号は、信号混合器 1 5 8 によって混合され、混合信号増幅器回路 1 5 9 によって増幅される。信号混合器 1 5 8 は、第 1 のマイクロ波信号発生器 1 5 2 a によって生成された第 1 の信号をポート A において受信し、第 2 のマイクロ波信号発生器 1 5 2 b によって生成された第 2 の信号をポート B において受信する。信号混合器 1 5 8 は、ポート A およびポート B において受信した信号を組み合わせて、組み合わせた信号をポート C を介して混合信号増幅器回路 1 5 9 に供給する。信号混合器 1 5 8 は、ポート A とポート B との間の適切な絶縁を提供し得るとともに、信号をポート A およびポート B からの信号を同相（0°の差異）に維持し得る。ポート A、ポート B、および / またはポート C は、50 オームの公称インピーダンスまたは任意の他の適切なもしくは所望のインピーダンスを提供し得る。

20

## 【 0 0 6 5 】

信号混合器 1 5 8 のポート C から提供された混合信号の増幅は、混合信号増幅器回路 1 5 8 によって実行される。増幅の量、または送達機器ポート 1 6 0 に送達される信号の電力レベルは、プロセッサ 1 5 1 によって判断されるか、または図 1 のマイクロ波発生器の前部パネル 1 0 5 を介して臨床医によって選択もしくは入力される。代替として、送達機器ポート 1 6 0 に送達される信号の電力レベルは、エネルギー送達パラメータまたは実行される手順に基づいて、マイクロ波発生器によって判断、計算、または選択され得る。

30

## 【 0 0 6 6 】

混合信号増幅器回路 1 5 0 は、典型的には、電力増幅器を含む 1 つ以上の増幅器、循環器もしくは他の適切な信号絶縁手段、双方向結合器もしくは順電力および / または反射電力を測定する他の手段、あるいは任意の他の適切な信号測定機器を含む。

## 【 0 0 6 7 】

本明細書で論じるシステムおよび方法は、他の組織効果ならびに超音波、レーザー、RF、およびマイクロ波組織治療を含むエネルギーベースの物理療法に拡張され得る。

## 【 0 0 6 8 】

本明細書に開示するシステムおよび方法は、例えば、組織インピーダンス測定、組織温度測定、電流、電圧、電力、およびエネルギー測定、ならびに電圧および電力の位相測定等の、他の組織またはエネルギー測定システムおよび技法と併用して使用され得る。

40

## 【 0 0 6 9 】

本明細書に開示する方法は、電気手術システムに組み込まれるフィードバックシステムを使用して実行され得るか、またはスタンドアロン型のモジュール実施形態（例えば、電気手術システムの発生器等の種々の構成要素に電氣的に結合されるように構成される可撤性モジュール回路）であり得る。

## 【 0 0 7 0 】

（組み合わせ周波数波形および電流密度パターン）

アンテナが種々の共振周波数の調波によって駆動されるときに、アンテナによってもたらされる電流密度パターンは、アンテナの長さに沿ったエネルギー沈着の異なるパターン

50

を形成する。アンテナは、単一周波数のエネルギーによって駆動されるとき、アンテナに沿った1つ以上の点において、または「ホットスポット」の位置が相対的に最大もしくは最大の電流密度と関連する周囲媒体において、「ホットスポット」を形成する。「ホットスポット」の位置は、アンテナが、1次、3次、または5次の調波によってアンテナが駆動されるか否かに依存し、概して適所に固定され、適切なコンピュータシミュレーションモデルにより予測可能および/または計算され得る。

【0071】

2つ以上の波形の組み合わせによって形成される合成電流密度波形は、過渡的な合成電流密度波形の電流密度パターン（すなわち、任意の時点における2つ以上の波形の間の関係に基づく電流密度変化）をもたらす。したがって、最大電流密度の位置および最大電流密度に関連する「ホットスポット」の位置は一定ではなく、2つ以上の波のこの関係に基づいて変化し得る。加えて、合成電流密度波形および関連の電流密度パターンは、複数の相対的な最大電流密度最大値について非単調であることから、複数の「ホットスポット」がもたらされ、その各々は、相対的に最大または最大の電流密度に関連する。

10

【0072】

図6A - 図6Bは、合成電流密度波形330a - 1の電流密度パターンの変化をさらに示す。図6Aは、2つの波形300および $3_{t_h}310$ のプロットであり、ここで、 $3_{t_h}310$ は、300の3分の1の調波であり、300および $3_{t_h}310$ は、相互に「同相」である。プロットにおいて、時間は、300波形の「位相角」において表され、大きさは正規化されている。

20

【0073】

図6は、複数の瞬間時点における図6Aからの2つの波形300および $3_{t_h}310$ と、合成電流密度波形330a - 1の電流密度パターンとを示す。時間間隔は、 $30^\circ$ 単位でシフトされ、それによって、2つの波形300a - 1、310a - 1、および合成電流密度波形330a - 1の瞬間電流密度パターンの変化を示す。図6Bにおけるプロット毎に、アンテナ「給電点」は、 $x = 1.5$ にあると想定することができる。プロットは、アンテナの「端部」が0および3にあるように、共振周波数に正規化される。アンテナ「端部」における電流は、ゼロの大きさによって理想化される。本実施形態は、平衡型ダイポールアンテナを示すが、本明細書において示す実施形態は、例えば、不平衡型ダイポールアンテナおよび単極アンテナ等の、他の型のアンテナと使用してもよい。

30

【0074】

$0^\circ$ （位相0）では、波形300aおよび $3_{t_h}310a$ の両方は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、結果的に、合成電流密度波形330aも、アンテナに沿って「ゼロ」の電力を呈する。

【0075】

$30^\circ$ （位相30）では、300bおよび $3_{t_h}310b$ から生成された合成電流密度波形330bは、3つの相対的な電流密度最大値をもたらす。波形 $3_{t_h}310b$ は、そのピーク（給電点）にあり、波形300bは、そのピークの半分であり、電流はダイポール長さに沿って分布している。

【0076】

$60^\circ$ （位相60）では、波形 $3_{t_h}310c$ は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形330cは、波形300cに等しい。

40

【0077】

$90^\circ$ （位相90）では、波形300bおよび $3_{t_h}310d$ から生成された合成電流密度波形330dは、2つの相対的な電流密度最大値をもたらす。両方の相対的な電流密度最大値の電流の方向は、右側である。両方の波形300dおよび $3_{t_h}310d$ はピークにあり、 $180^\circ$ 異相であることから、給電点において相殺するが、ダイポールに沿って給電点から離れる方向には相殺しない。

【0078】

$120^\circ$ （位相120）では、波形 $3_{t_h}310e$ は、アンテナに沿って「ゼロ」電

50

流を呈し、合成電流密度波形 330 e は、波形 300 e に等しい。

【0079】

150° (位相 150) では、300 f および  $3_{t h} 310 f$  から生成された合成電流密度波形 330 f は、3つの相対的な電流密度最大値をもたらす。

【0080】

180° (位相 180) では、波形 300 g および  $3_{t h} 310 g$  の両方は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、結果的に、合成電流密度波形 330 g も、アンテナに沿って「ゼロ」の電力を呈する。

【0081】

210° (位相 210) では、300 h および  $3_{t h} 310 h$  から生成された合成電流密度波形 330 h は、3つの相対的な電流密度最大値をもたらす。

10

【0082】

240° (位相 240) では、波形  $3_{t h} 310 i$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 330 i は、波形 300 i に等しい。

【0083】

270° (位相 270) では、波形 300 j および  $3_{t h} 310 j$  から生成された合成電流密度波形 330 j は、2つの相対的な電流密度最大値をもたらす。両方の相対的な電流密度最大値の電流の方向は、左側である。

【0084】

300° (位相 300) では、波形  $3_{t h} 310 k$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 330 k は、波形 300 k に等しい。

20

【0085】

330° (位相 330) では、波形  $3_{t h} 310 l$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 330 l は、波形 300 l に等しい。

【0086】

矢印 A で示すように、サイクルは、繰返しサイクルであり、位相 0 における電流密度パターンが、図 6 B に示す位相 330 プロットに続く 360° 位相角プロットと同じものを表す。

【0087】

30° 間隔の 0° から 330°、つまりそれぞれ位相 0 から位相 330 のサイクル全体における種々の瞬間時点での電流密度パターンを検証および比較することによって、合成電流密度波形 330 a - 1 による駆動時にアンテナにより生成される電流密度が一時的であることが示される。より具体的には、「ホットスポット」、つまりアンテナの長さに沿って合成電流密度波形 330 a - 1 により生成される最大電流密度位置における集中エネルギーの範囲は、絶え間なく位置を変更する。例えば、プロットの位相 30、位相 150、位相 210、および位相 330 では、最大電流密度は、アンテナの給電点に隣接し、相対的な最大電流密度は、アンテナの端部に隣接し、プロット位相 90 および位相 270 では、アンテナは、給電点においてゼロ電流を呈する。

30

【0088】

加えて、図 6 B に示すように、種々の 30° 間隔において、相対的な最大電流密度領域の数、および関連する「ホットスポット」の数は、一定ではない。例えば、合成電流密度波形 330 a - 1 は、プロット位相 30、位相 90、位相 150、位相 210、位相 270、および位相 330 において、3つの相対的または最大電流密度領域を生成する。合成電流密度波形 330 a - 1 は、プロット位相 60、位相 120、位相 240、および位相 300 において 1つだけ相対的な最大電流密度を生成し、プロット位相 0 および位相 180 に示すように、合成電流密度波形がアンテナに沿って「ゼロ」電流を呈する場合に電流密度領域を生成しない。

40

【0089】

したがって、合成電流密度波形 330 a - 1 の電流密度パターンは、合成電流密度波形 330 a - 1 を組み合わせおよび形成する 2つ以上の波形 300 a - 1、310 a - 1 の

50

関係に基づいて、波形サイクル中に形状および大きさを変更する。絶えず変化する電流密度によって、周囲媒体へのエネルギーの可変の分布および支出がもたらされる。したがって、合成電流密度波形 330 a - 1 によって駆動されるアンテナによる周囲媒体において生成される切除領域は、この一時的な電流密度に関連した形状を形成する。切除領域の形状は、上述の最大電流密度領域および相対的な最大電流密度領域からの特徴を呈し得る。

【0090】

アンテナ領域に沿った最大電流密度のシフト位置の結果、周囲媒体においてアンテナによってもたらされる切除領域は、不規則な形状を呈し得る。切除領域は、図 6 B に示すプロットのうちの 1 つ以上からの特徴に類似する特徴を呈し得る。例えば、切除領域は、プロット位相 30、位相 90、位相 150、位相 210、位相 270、および位相 330 に示す相対的電流密度領域によって生成されるアンテナの端部に隣接する 1 つ以上の特徴を含み得る。切除領域は、アンテナの近位端および遠位端間の 1 つ以上の特徴ならびにプロット位相 30、位相 60、位相 120、位相 150、位相 210、位相 240、位相 300、および位相 330 に示すような給電点（アンテナの中心部分）に隣接する相対的電流密度領域間の 1 つ以上の特徴を含み得る。

10

【0091】

本開示の別の実施形態では、合成電流密度波形 330 a - 1 により形成される切除領域の近似は、合成電流密度波形 330 a - 1 のいくつかの瞬間時点における周囲媒体へのエネルギー寄与を判断するアルゴリズムによって推定され得る。合成電流密度波形 300 a - 1 の電流密度の大きさは、位相 90 および位相 270 において最大であるため、周囲媒体に寄与するエネルギーは、この時間中に最大値であり得る。これにより、位相 90 および位相 270 における電流密度パターンに関連するアルゴリズムによって近似化される切除領域の一般的な全体形状がもたらされ得る。アルゴリズムによって近似化される切除領域は、種々の他の位相角中に生成される追加の特徴を含んでもよく、例えば、給電点（またはアンテナの中心）に隣接する追加の特徴は、異なる位相角において、種々の他の電流密度パターンによって生成され得る。

20

【0092】

図 7 は、図 5 のマイクロ波エネルギー発生回路 150 によって駆動される図 3 の半波長ダイポールアンテナ 216 による、図 6 B からの瞬間電流密度パターンのさらなる図である。半波長ダイポールアンテナ 216 は、物理的長さ約  $\lambda/2$  または共振をもたらす他の適切な長さを有し得る。図 7 は、波長  $\lambda = 300$  を有する図 6 A からのマイクロ波信号、波長  $\lambda = 310$  を有するマイクロ波信号、ならびに波長  $\lambda = 300$  および  $\lambda = 310$  を有するマイクロ波信号を組み合わせることによって形成される合成電流密度波形 330 d に関する、アンテナ 216 に沿った瞬間最大電流密度のグラフを含む。

30

【0093】

電流密度 300 d は、マイクロ波波形による駆動時にアンテナによって周囲媒体において生成される電流密度であって、図 5 の信号混合器 158 のポート A に提供される電流密度を示す。同様に、 $\lambda = 310$  電流密度 310 d は、マイクロ波波形による駆動時にアンテナによって周囲媒体において生成される電流密度であって、図 5 の信号混合器 158 のポート B に提供される電流密度を示す。図 5 の信号混合器 158 のポート C に提供される合成電流密度波形は、 $\lambda = 300$  d 波形と  $\lambda = 310$  d 波形との和であり、信号混合器 158 によって生成され、ポート C に提供される。図 7 では、種々の波形を有するマイクロ波アンテナの駆動時に生成される最大瞬間電流密度 300 d、310 d、および 330 d は概して、マイクロ波波形間の相対的強度レベルを近似化するようにスケールされる。

40

【0094】

ポート A およびポート B における波形は、同相であり、1 : 1 の強度レベルを有する。ポート C における波形の合成電流密度の大きさは、330 d と示され、以下に等しい。

【0095】

$$A b s ( \quad + \quad \lambda = 310 )$$

より具体的には、図 7 における波形は、波形  $\lambda = 300$  および波形  $\lambda = 310$  が最大

50

値である瞬間時点における各波形の電流密度を示し、図7Bからのプロット位相90の図をさらに示す。合成電流密度波形300dは、近位放射部分216aの中間点に近位の点において、および遠位放射部分216bの中間点に遠位の点において最大である。電流密度は、アンテナ216の遠位端および近位端において、ならびにアンテナ216の中間点において最小である。

#### 【0096】

図7における瞬間合成電流密度波形330dは、最大値であり得るが、図6A - 図6Bに示すように、また本明細書において論じられるように、最大合成電流密度は、単一の瞬間時点に生成されるだけであり、合成電流密度波形は、経時的に多数の付加的な形状を呈し、その結果、最大合成電流密度波形330dに類似し得るが、他の特徴も呈し得る切除領域がもたらされる。したがって、本明細書に示す電流密度および瞬間電流密度は、2つ以上のマイクロ波周波数を組み合わせる相乗効果を論証するように提供される。合成電流密度波形から生成される電流密度は、組織に伝達されるエネルギーの最大時に、可能性のある切除領域の一般的な形状を反映し得る。本明細書に示す電流密度のうちの1つをもたらすアンテナから形成される切除領域の実際のサイズおよび形状は、いくつかの要因に依存し、この要因には、合成電流密度波形の可変電流密度、周囲媒体の特性、媒体へのエネルギー送達速度、および媒体へ送達される総エネルギーが含まれるが、これらに限定されない。加えて、本明細書に含まれる図面は、単一のマイクロ波周波数におけるエネルギーを有する信号によって生成される電流密度と、2つ以上のマイクロ波周波数の組み合わせから生成される合成電流密度波形の電流密度との比較を提供する。

#### 【0097】

本開示のさらに別の実施形態では、組み合わせマイクロ波信号を生成するように組み合わせられるマイクロ波信号の1つ以上は、相互に移相される。例えば、図8Aは、2つの波形400および $3_{rd}410$ のプロットであり、ここで、 $3_{rd}410$ は、400の3分の1の調波であり、400および $3_{rd}410$ は、相互に異相である。波形400は、400の時間スケールに対して $30^\circ$ だけ波形 $3_{rd}410$ に先行する(または、 $3_{rd}410$ の時間スケールに対して $90^\circ$ 遅れる)。プロットにおいて、時間は、400波形の時間スケールまたは「位相角」で表され、波形の大きさは正規化されている。

#### 【0098】

図8Bは、複数の瞬間時点における図8Aからの2つの波形400および $3_{th}410$ と、合成電流密度波形430a-1の電流密度パターンとを示す。時間間隔は、 $30^\circ$ 単位でシフトされ、それによって、2つの波形400a-1、410a-1、および合成電流密度パターン波形430a-1の瞬間電流密度パターンの変化を示す。図8Bにおけるプロット毎に、アンテナ「給電点」は、 $x = 1.5$ にあると想定することが可能である。プロットは、アンテナの「端部」が0および3にあるように、共振周波数に正規化される。アンテナ「端部」における電流は、ゼロの大きさによって理想化される。本実施形態は、平衡型ダイポールアンテナを示すが、本明細書において示す実施形態は、例えば、不平衡型ダイポールアンテナおよび単極アンテナ等の、他の型のアンテナと使用してもよい。

#### 【0099】

$0^\circ$ (位相0)では、波形400aは、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、波形 $3_{rd}410a$ は最大値である。合成電流密度波形430aは、波形 $3_{rd}410a$ によって生成される電流密度パターンに等しい。

#### 【0100】

$30^\circ$ (位相30)では、波形 $3_{rd}410b$ は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、波形400bは、絶対ピークの約半分に増加している。合成電流密度波形430bは、ダイポールに沿って正弦波的に分布している。

#### 【0101】

$60^\circ$ (位相60)では、波形 $3_{th}410c$ は、最大値であり、波形400cは

10

20

30

40

50

、反対方向における最大値に接近している。波形 400c および波形  $_{3th}310c$  について生成される電流密度は、アンテナの端部において付加的であり、給電点近傍で相殺する。したがって、結果として生じる電流密度パターン 430c は、アンテナの端部において大きく、給電点における電流は小さい。

【0102】

90° (位相90) では、波形  $_{3th}410d$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 430d は、波形 400d に等しく、これは、最大値であり、ダイポールに沿って正弦波的に分布している。

【0103】

120° (位相120) では、波形  $_{3th}410e$  は、最大値であり、波形 400e は、最大値より若干小さい。合成電流密度波形 430e は、給電点において最大値であり、波形 400e および  $_{3th}410e$  の個々よりも大きい。

10

【0104】

150° (位相150) では、波形  $_{3th}410f$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 430f は、波形 400f に等しく、これは、ピークの半分未満に減衰し、ゼロに接近し、およびダイポールに沿って正弦波的に分布している。

【0105】

180° (位相180) では、波形 400g は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 400g は、波形  $_{3th}410g$  に等しく、これは、最大であることから、給電点ならびにアンテナの遠位端および近位端において電流密度ピークを形成する。

20

【0106】

210° (位相210) では、波形  $_{3th}410h$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 430h は、波形 400h に等しく、これは、反対方向における最大値に増加し、ダイポールに沿って正弦波的に分布している。

【0107】

240° (位相240) では、波形  $_{3th}410i$  は、最大値であり、波形 400i は、反対方向における最大値に接近している。波形 400i および波形  $_{3th}410i$  について生成される電流密度は、アンテナの端部において付加的であり、給電点において反対である。結果として生じる電流密度パターン 430i は、アンテナの端部において大きく、給電点における電流は小さい。

30

【0108】

270° (位相270) では、波形  $_{3th}410j$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 430j は、波形 400j に等しく、これは、最大値であり、ダイポールに沿って正弦波的に分布している。

【0109】

300° (位相300) では、波形  $_{3th}410k$  は、最大値であり、波形 400k は、最大値より若干小さい。合成電流密度波形 430k は、給電点において最大値であり、波形 400k および  $_{3th}410k$  の個々よりも大きい。

【0110】

330° (位相0) では、波形  $_{3th}410l$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 430l は波形 400l に等しい。

40

【0111】

矢印Aで示すように、周期は、繰り返し周期であり、位相0プロットにおける電流密度パターンが、図8Bに示す位相330プロットに続き得る360°位相角プロットと同じものを表す。

【0112】

0°から330° (それぞれ、位相0から位相330) の周期全体における種々の瞬間時点での電流密度パターンを検証および比較することによって、2つのマイクロ波周波数の波形による駆動時に、アンテナによって生成される合成電流密度波形 330a-1 が一

50

時的であることが示される。より具体的には、合成電流密度波形 430 a - 1 において、潜在的「ホットスポット」の位置、つまりアンテナの長さに沿った最大電流密度の位置は、常に変化する位置である。例えば、図 8 B の位相 120 および位相 300 では、最大電流密度は、アンテナの給電点に隣接し、位相 60 および位相 240 では、最大電流密度は、アンテナの遠位端および近位端に隣接する。

#### 【 0 1 1 3 】

加えて、図 8 B に示すように、種々の 30° 間隔において、相対的最大電流密度領域の数、および関連する「ホットスポット」の数は、変化する。例えば、合成電流密度波形 430 a - 1 は、0° の位相角（位相 0）において、3つの相対的最大電流密度領域を生成し、30° の位相角（位相 30）において、1つの相対的最大電流密度領域を生成し、60° の位相角（位相 60）において、2つの相対的最大電流密度領域を生成する。合成電流密度波形 430 a - 1 は、30°、90°、150°、210°、270°、および 330° の位相角、それぞれ、位相 30、位相 90、位相 150、位相 210、位相 300° におけるプロットにおいて1つの相対的最大電流密度領域を生成する。

10

#### 【 0 1 1 4 】

図 6 A および 8 A を参照すると、一方の波形の他方の波形に対する移相によって、図 6 B および 8 B に示すように、極めて異なる合成電流密度パターンがもたらされる。したがって、合成電流密度波形 330 a - 1、430 a - 1 は、2つの波形 300 および 310、400 および 410 のそれぞれの特性（すなわち、周波数、大きさ、エネルギー含量）ならびに2つの波形 300 および 310、400 および 410 それぞれの位相関係に依存する。

20

#### 【 0 1 1 5 】

図 6 B の合成電流密度波形 330 a - 1 と、図 8 B の合成電流密度波形 440 a - 1 との比較によって、波形 300、310、400、410 を相互に移相する効果が示される。例えば、図 6 A および 8 A では、波形 300 は、90° および 270° において絶対最大値である。図 6 A では、波形  $_{3 t h} 300$  の相対的最大値は、波形 330 の相対的最大値と同相であることから、結果的に、図 6 B に示すように、独特の組の瞬間電流密度がもたらされる。反対に、図 8 B では、波形  $_{3 t h} 400$  の相対的最大値は、波形 430 の相対的最大値と異相であることから、結果的に、図 8 B に示すように、独特の組の瞬間電流密度がもたらされる。各例において、合成電流密度波形を生成するように組み合わせられる2つの波形 300、310 および 400、410 は、周波数の大きさが同一であるが、相互に移相されている。この移相によって、新しくかつ独特の特徴を有する合成電流密度波形 330 a - 1、430 a - 1 がもたらされ、また、合成電流密度波形 330 a - 1、430 a - 1 の新しくかつ独特の特徴に関連する切除領域がもたらされ得る（すなわち、合成電流密度波形 330 a - 1、430 a - 1 により駆動されるアンテナによって周囲媒体において生成される切除領域は、この一時的な電流密度に関連する形状を形成するため、切除領域の形状は、各電流密度領域からの特徴を呈し得る）。

30

#### 【 0 1 1 6 】

アンテナ領域に沿った経時的な最大電流密度のシフト位置の結果、周囲媒体においてアンテナによってもたらされる切除領域は、不規則な形状を有する。切除領域は、図 6 B に示すプロットのうちの1つ以上からの特徴に類似する特徴を呈し得る。例えば、切除領域は、プロット位相 0、位相 60、位相 120、位相 180、位相 240、および位相 300 に示す相対的電流密度領域によって生成されるアンテナの端部に隣接する1つ以上の特徴を含み得る。切除領域は、アンテナの近位端および遠位端間の1つ以上の特徴ならびにプロット位相 0、位相 120、位相 180、および位相 300 に示すような給電点に隣接する相対的電流密度領域間の1つ以上の特徴を含み得る。

40

#### 【 0 1 1 7 】

代替として、合成電流密度波形 400 a - 1 によって形成される切除領域の近似は、合成電流密度波形の各相の間のエネルギー寄与によって推定され得る。合成電流密度波形の電流密度の大きさは、位相 120° および位相 300°（位相 120、位相 300 参照）

50

において最大値であるため、周囲媒体に寄与するエネルギーは、この瞬間時点の間に最大であり得る。これにより、これらの位相角における電流密度パターンによって関連する切除領域の一般的な全体形状がもたらされ得る。切除領域は、上述のように、種々の他の位相角中に生成される追加の特徴を含み得る。

【0118】

本開示のさらに別の実施形態では、マイクロ波信号間の移相は、組織へのエネルギーの深い侵入を提供する合成電流密度波形をもたらし得る。例えば、図9Aは、2つの波形500および $\theta_{th} 510$ のプロットであり、ここで、 $\theta_{th} 510$ は、500の3分の1の調波であり、500および $\theta_{th} 510$ は、相互に異相である。波形500は、500の時間スケールに対して $60^\circ$ だけ波形 $\theta_{th} 510$ に先行する（または、 $\theta_{th} 510$ の時間スケールに対して $180^\circ$ 遅れる）。プロットにおいて、時間は、波形500の時間スケールまたは「位相角」で表され、波形500、510の大きさは正規化されている。

10

【0119】

図9Bは、複数の瞬間時点における図9Aからの2つの波形500および $\theta_{th} 510$ と、合成電流密度波形530a-530lの電流密度パターンとを示す。時間間隔は、 $30^\circ$ 単位でシフトされ、それによって、2つの波形500a-500l、510a-500l、および合成電流密度波形530a-500lの瞬間電流密度パターンの変化を示す。図9Bにおけるプロット毎に、アンテナ「給電点」は、 $x = 1.5$ にあると想定することが可能である。プロットは、アンテナの「端部」が0および3にあるように、共振周波数に正規化される。アンテナ「端部」における電流は、ゼロの大きさによって理想化される。本実施形態は、平衡型ダイポールアンテナを示すが、本明細書において示す実施形態は、例えば、不平衡型ダイポールアンテナおよび単極アンテナ等の、他の型のアンテナと使用してもよい。

20

【0120】

$0^\circ$ （位相0）では、波形500aは、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、波形 $\theta_{th} 510a$ は最大値である。合成電流密度波形530aは、波形 $\theta_{th} 510a$ によって生成される電流密度パターンに等しい。

【0121】

$30^\circ$ （位相30）では、波形 $\theta_{th} 510b$ は、最大値であり、波形500bは、反対方向における絶対ピークの約半分に増加している。合成電流密度波形530bは、アンテナ給電点に隣接して最大電流密度と、アンテナの端部に隣接して相対的最大電流密度とを含む。

30

【0122】

$60^\circ$ （位相60）では、波形 $\theta_{th} 510c$ は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形530cは、波形500cに等しく、これは、最大値に接近している。

【0123】

$90^\circ$ （位相90）では、波形500dおよび $\theta_{th} 510d$ は、最大値であり、合成電流密度波形530dは、給電点において最大電流密度を生成し、波形500dおよび $\theta_{th} 510d$ の個々の電流密度の約2倍に等しい。

40

【0124】

$120^\circ$ （位相120）では、波形 $\theta_{th} 510e$ は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形530eは、波形500eに等しく、これは、最大値から減少している。

【0125】

$150^\circ$ （位相150）では、波形 $\theta_{th} 510f$ は、最大値であり、波形500fは、反対方向の絶対ピークの約半分に減少している。合成電流密度波形530fは、アンテナの各端部に隣接して最大電流密度と、アンテナ給電点において相対的最大電流密度とを含む。

50

## 【0126】

180° (位相180)では、波形 500gは、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、波形  ${}_{3th}510g$  は、最大値である。合成電流密度波形 530gは、波形  ${}_{3th}510g$  によって生成される電流密度パターンに等しい。

## 【0127】

210° (位相210)では、波形  ${}_{3th}510h$  は、最大値であり、波形 500hは、反対方向の絶対ピークの約半分に減少している。合成電流密度波形 530hは、アンテナの各端部に隣接して最大電流密度と、アンテナ給電点において相対的最大電流密度とを含む。

## 【0128】

240° (位相240)では、波形  ${}_{3th}510i$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 530iは、波形 500iと同じであり、これは最大値に減少している。

## 【0129】

270° (位相270)では、波形 500jおよび  ${}_{3th}510j$  は、最大値であり、合成電流密度波形 530dは、給電点において最大電流密度を生成し、波形 500および  ${}_{3th}510d$  の個々の電流密度の約2倍に等しい。電流は、大きさにおいて同じであり、プロット位相90における合成電流密度波形 530dにより生成される電流とは反対である。

## 【0130】

300° (位相300)では、波形  ${}_{3th}510k$  は、アンテナに沿って「ゼロ」電流を呈し、合成電流密度波形 530kは波形 500kに等しく、これは、最大値から減少している。

## 【0131】

[0014] 330° (位相0)では、波形  ${}_{3th}510l$  は、最大値であり、波形 500lは、反対方向における絶対ピークの約半分に減少している。合成電流密度波形 530lは、アンテナの各端部に隣接して最大電流密度と、アンテナ給電点において相対的最大電流密度とを含む。

## 【0132】

矢印Aで示すように、サイクルは、繰返しサイクルであり、位相0プロットにおける電流密度パターンが、図9Bに示す位相330プロットに続く360°位相角プロットと同じものを表す。

## 【0133】

図6A、図8A、および図9Aを参照すると、一方の波形の他方の波形に対する移相によって、組織へのエネルギーへの深い侵入がもたらされ得る。一般に、図6Aおよび図8Aにおけるプロットは、アンテナの給電点および端部の両方においてエネルギー侵入を提供し、一方、図9Aのプロットは、給電点において最大エネルギー侵入を提供する。例えば、図9Aに示すように、波形 500および  ${}_{3th}510$  の両方は、90°および270°において、同一の方向に最大の大きさにある。90°および270°、位相90、位相270における図9Bの電流密度波形プロットは、合成電流密度波形 530d、530jが、組織への最大エネルギー侵入を提供することをさらに示す。

## 【0134】

図5のマイクロ波エネルギー発生回路150は、種々の周波数および/または位相の組み合わせを有する第1および第2のマイクロ波信号を組み合わせ、上述のような、所望の合成電流密度波形を生成し得る。図10 - 図16は、特定の周波数および位相の組み合わせをさらに示す。図10 - 図16の各々は、結果として生じる波形を生成するように組み合わせられる第1および第2のマイクロ波信号が最大である瞬間電流密度パターンのプロットを含む。また、合成電流密度波形は、瞬間電流密度波形であり、図6Aおよび図6B、図8Aおよび図8B、ならびに図9Aおよび図9Bに示すように、単に、可変電流密度波形の例示的な例である。

10

20

30

40

50

## 【0135】

図10は、ポートAに供給される波長 300 を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長  $s_{th} 332$  を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形 332 とに関する電流密度プロットを示す。ポートAおよびポートBにおける波形は、同相であり、1:1の強度レベルを有する。合成電流密度の大きさは336として示され、以下に等しい。

## 【0136】

$$Abs( + s_{th} )$$

電流密度は、近位放射部分 216 a の中間点近傍および遠位放射部分 216 b の中間点近傍において最大値である。加えて、第2の相対的電流密度最大値は、アンテナ 216 の遠位端の近位、およびアンテナ 216 の近位端の遠位に位置する。電流密度は、アンテナ 216 の中間点、アンテナ 216 の終点、ならびに遠位および近位放射部分 216 a、216 b の両方における最大電流密度と相対最大電流密度とのうちの各々の間のほぼ中間において最低値である。

10

## 【0137】

波形 300 と組み合わせたときに、より高い周波数の波形  $s_{th} 320$  は、近位アンテナ部分 216 a の近位端に隣接して、および遠位アンテナ部分 216 b の遠位端に隣接して相対的相対最大電流密度部分を提供する。より高い周波数波形  $s_{th}$  は、さらにアンテナの端部側に相対的相対最大電流密度部分を配置する。

## 【0138】

図11は、ポートAに供給される波長 300 を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長  $s_{th} 322$  を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形 336 とに関する電流密度プロットを示す。波形 300 は、位相角において  $36^\circ$  ( $s_{th}$  位相角において  $180^\circ$ ) だけ  $s_{th} 322$  波形に先行する。ポートAおよびポートBは、 $36^\circ$  度移相され、1:1の強度レベルを有する。合成電流密度の大きさは、336として示され、以下に等しい。

20

## 【0139】

$$Abs( + s_{th} @ 180^\circ )$$

合成電流密度波形 336 は、中間点において「ゼロ」電流を呈し、最大電流密度部分および相対的相対最大電流密度部分は、アンテナ 216 の近位端および遠位端 216 a、216 b 側にある。

30

## 【0140】

図12は、ポートAに供給される波長  $3rd 310$  を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長  $s_{th} 320$  を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形 340 とに関する電流密度プロットを示す。ポートAおよびポートBにおける波形は、同相であり、1:1の強度レベルを有する。 $300$  波形の電流密度は、参照のために提供される。ポートCにおける波形の合成電流密度 340 の大きさは、以下に等しい。

## 【0141】

$$Abs( 3rd + s_{th} )$$

合成電流密度波形 340 は、中間点において「ゼロ」電流を呈し、最大電流密度部分は、アンテナ 216 の近位端および遠位端 216 a、216 b に隣接する。2つの相対的電流密度最大値は、給電点と最大電流密度部分との間に位置する。電流密度は、アンテナ 216 の遠位端および近位端、アンテナ 216 の中間点、ならびに遠位および近位放射部分 216 a、216 b の中間点近傍において最大値である。一般に、電流密度は、アンテナ 216 の遠位端および近位端側に集中する。

40

## 【0142】

図13は、ポートAに供給される波長  $3rd 312$  を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長  $s_{th} 320$  を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形 342 とに関する電流密度プロットを示す。ポートAおよびポートBにおける波形は、同相であり、3:1の強度レベルを有する。波長 300 を有するマイクロ波波形は、参照のた

50

めに提供される。ポートCにおける波形の合成電流密度の大きさは、342と示され、以下に等しい。

【0143】

$$Abs[(\lambda_{3rd} * 3) + \lambda_{5th}]$$

合成電流密度波形は、アンテナ216の近位端および遠位端216a、216b近傍で最大である。また、相対的最大電流密度は、アンテナ216の中間点付近に中心がある。電流密度は、アンテナ216の近位端および遠位端216a、216bにおいて、ならびに給電点と最大電流密度部分との間の中間において最小値である。一般に、電流密度342は、アンテナ216の遠位端近傍、アンテナ216の近位端近傍、およびアンテナ216の中間点付近に集中する。

10

【0144】

図13に示す合成電流密度波形342は、マイクロ波加熱および伝導加熱の両方により切除領域を有利に生成する波形に関する例を提供する。マイクロ波加熱は、電流密度パターン340を生成し、近位端および遠位端216a、216b側にエネルギー送達が集中する。給電点、つまり最大電流密度領域間の中間における組織部分は、マイクロ波加熱から、ならびに給電点の近位および遠位における最大電流密度領域から伝導されるエネルギーからエネルギーを受ける。

【0145】

図14は、ポートAに供給される波長 $\lambda_{3rd}$ 310を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長 $\lambda_{5th}$ 322を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形344とに関する電流密度プロットを示す。ポートAおよびポートBにおける波形は、 $\lambda_{5th}$ のスケールにおいて180°移相され、1:1の強度レベルを有する。波長300を有するマイクロ波波形は、参照のために提供される。ポートCにおける波形の合成電流密度の大きさは、344と示され、以下に等しい。

20

【0146】

$$Abs(\lambda_{3rd} + \lambda_{5th} @ 180^\circ)$$

電流密度は、アンテナ216の中間点において最大であり、 $\lambda_{3rd}$ 310波形および $\lambda_{5th}$ 波形322の電流密度は、最大値である。第1の対の相対的電流密度最大値は、近位および遠位放射部分216a、216bの中間点近傍に位置し、それよりも小さい第2の対の相対的電流密度最大値は、アンテナ216の近位端および遠位端付近にある。電流密度は、最大電流密度と第1の対の相対的電流密度最大値との間、ならびに第1の対の相対的電流密度最大値と第2の対の相対的電流密度最大値との間において最小値である。一般に、合成電流密度波形344は、波形300の最大電流密度をさらに越える。したがって、 $\lambda_{3rd}$ 310 +  $\lambda_{5th}$ @180°の波形344および波形300は、サイズおよび形状が類似した切除領域をもたらす得る。

30

【0147】

図15は、ポートAに供給される波長 $\lambda_{3rd}$ 314を有するマイクロ波信号と、ポートBに供給される波長 $\lambda_{5th}$ 322を有するマイクロ波信号と、合成電流密度波形346とに関する電流密度プロットを示す。ポートAおよびポートBにおける波形は、 $\lambda_{5th}$ のスケールにおいて180°移相され、1:1の強度レベルを有する。波長300を有するマイクロ波波形は、参照のために提供される。ポートCにおける波形の合成電流密度の大きさは、346と示され、以下に等しい。

40

【0148】

$$Abs((\lambda_{3rd} * 3) + \lambda_{5th} @ 180^\circ)$$

電流密度は、アンテナの中間点において最大であり、対の相対的電流密度最大値は、近位および遠位放射部分216a、216bの中間点近傍に位置する。電流密度は、最大電流密度と相対的電流密度最大値の各々との間において最小値である。一般に、電流密度346の大きさは、波長300を有するマイクロ波波形の電流密度にまで拡大し、それを越える。したがって、 $\lambda_{3rd} * 3 + \lambda_{5th}$ @180°の波形は、波形300よりも大きいサイズでない場合、サイズおよび形状が類似した切除領域をもたらす得る。

50

【0149】

図10 - 図15に示すように、また上述のように、種々の周波数、位相関係、および強度におけるマイクロ波波形を組み合わせることによって、複雑な合成電流密度波形が生成される。したがって、上文に提供される図面および波形は、例証目的であり、限定するものとして解釈されるべきではない。

【0150】

本開示のさらに別の実施形態では、他の組織および/またはエネルギー特性も用いて、例えば、組織温度、周囲媒体に供給される電力、および周囲媒体から反射される電力等のマイクロ波信号の特性を判断または選択してもよい。具体的には、マイクロ波発生器は、測定値に基づいて、エネルギー送達の1つ以上の特性を動的に調整し得る。代替として、図5におけるプロセッサ151は、複数の過去に入力したエネルギー送達パラメータの組み合わせと、結果として生じる電流密度パターンとを格納してもよく、エネルギー送達パラメータの組み合わせの1つ以上は、切除領域をもたらしように選択され得る。

10

【0151】

本開示のいくつかの実施形態について、図面において図示し、および/または本明細書において説明したが、当技術分野が可能にする幅広い対象範囲において、本開示が解釈されること、ならびに本明細書が同様に解釈されることを意図することから、本開示がその実施形態に限定されることは意図されない。ゆえに、上記説明は、限定するものとして解釈されるべきではなく、単に、特定の実施形態の例示として解釈されるべきである。当業者は、本明細書に添付される請求項の範囲および精神内における他の修正を想定するであらう。

20

【図1】

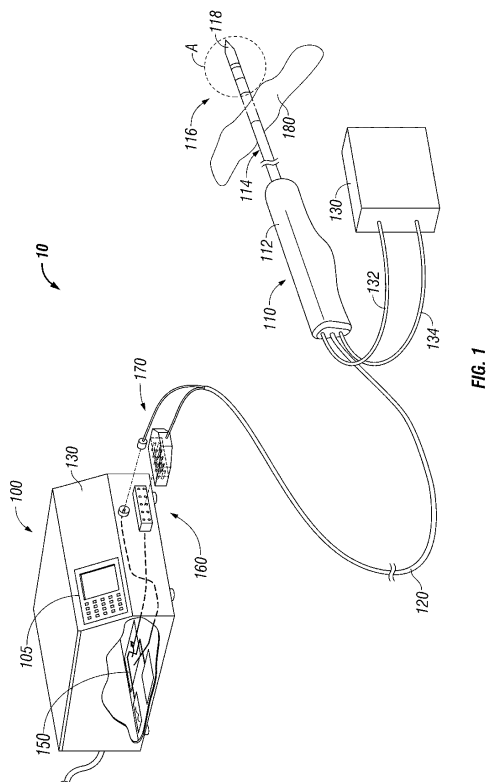


FIG. 1

【図2】

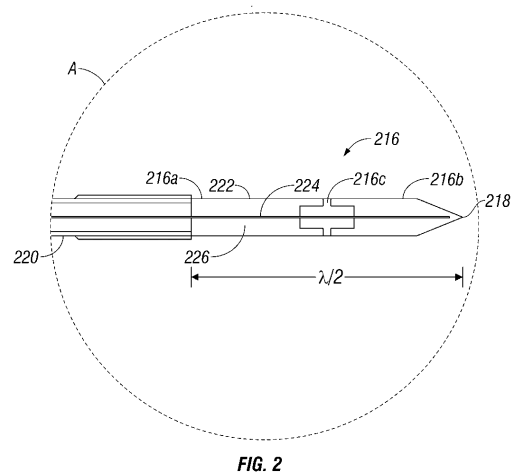
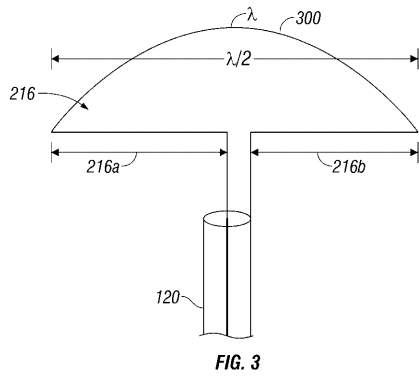
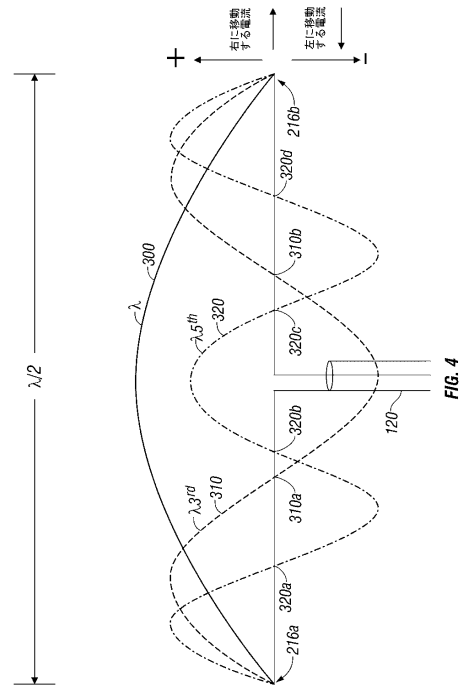


FIG. 2

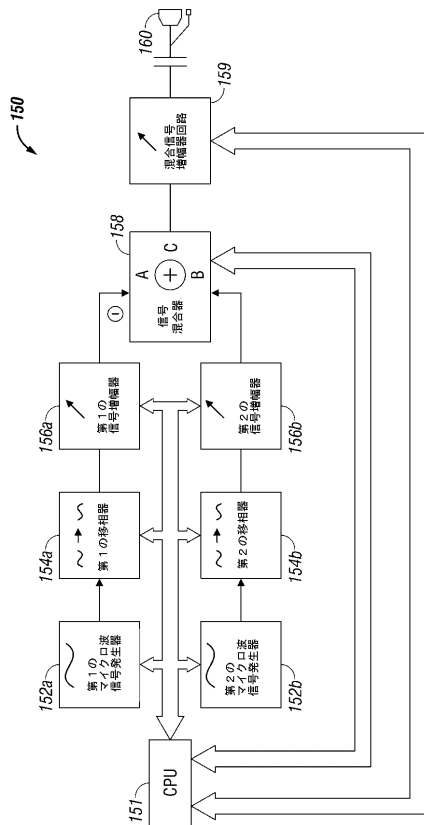
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 A 】

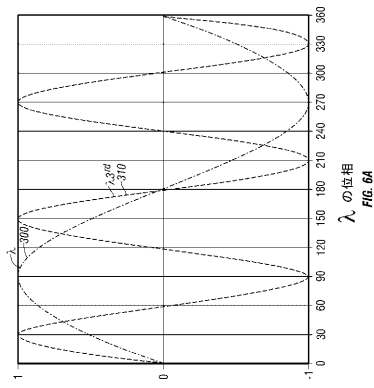


FIG. 5

【 図 6 B 】

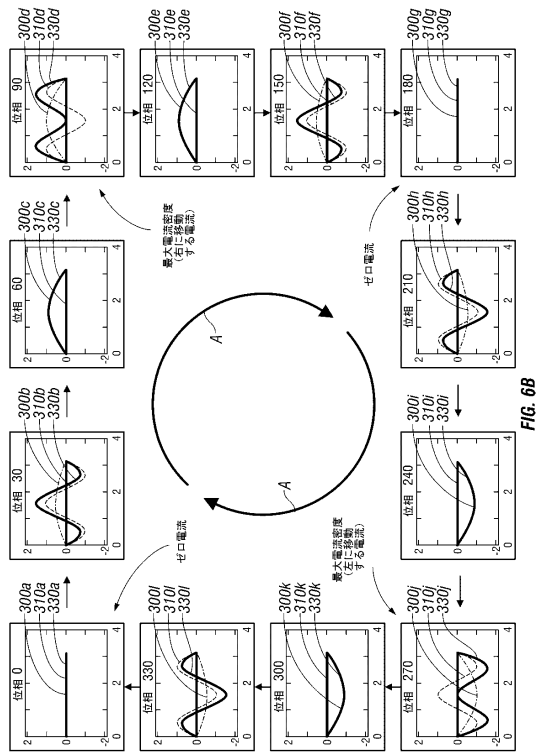


FIG. 6B

【 図 7 】

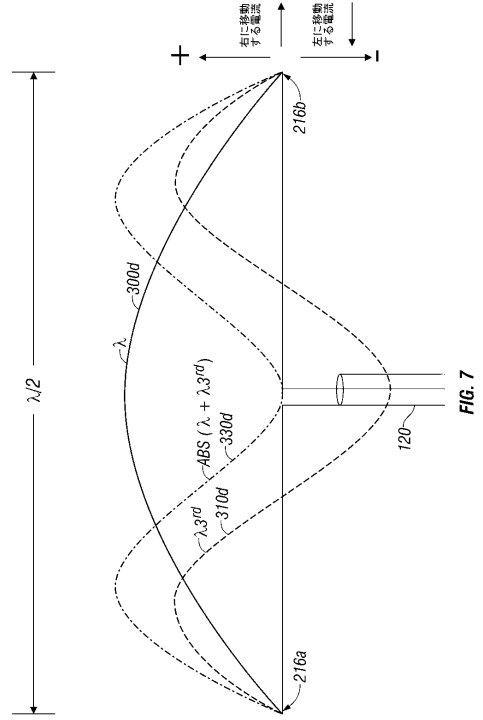


FIG. 7

【 図 8 A 】

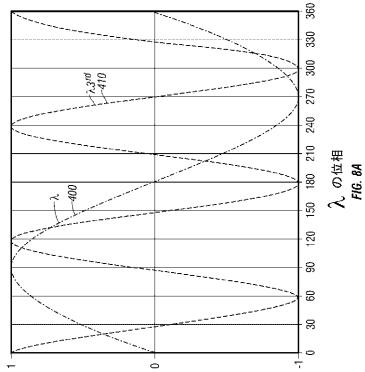


FIG. 8A

【 図 8 B 】

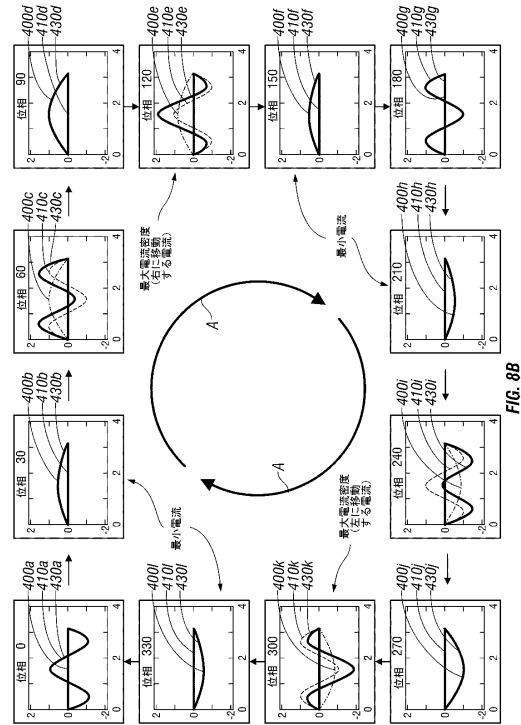
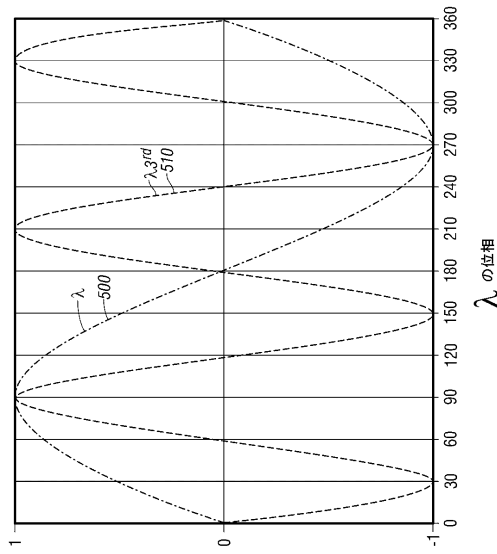
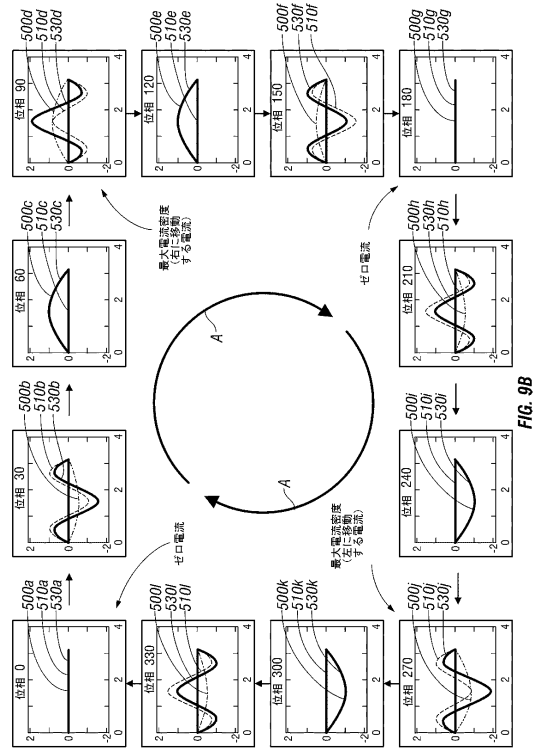


FIG. 8B

【図 9 A】



【図 9 B】



【図 10】

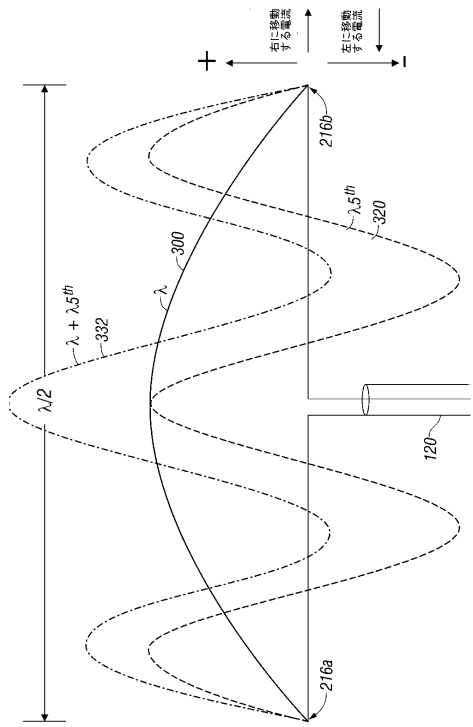


FIG. 10

【図 11】

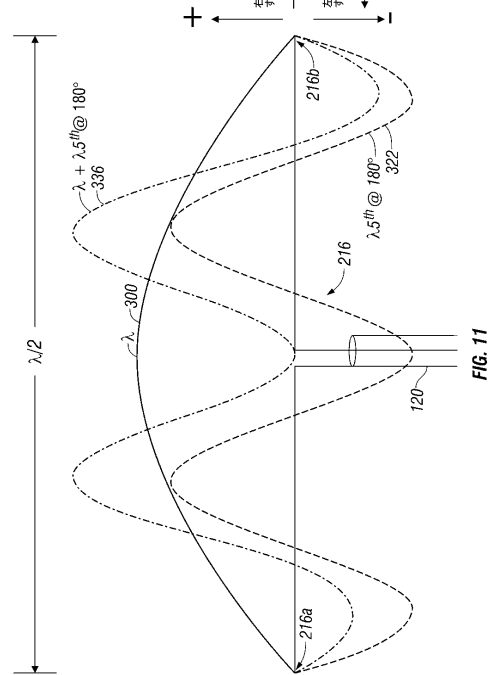


FIG. 11

【 図 1 2 】

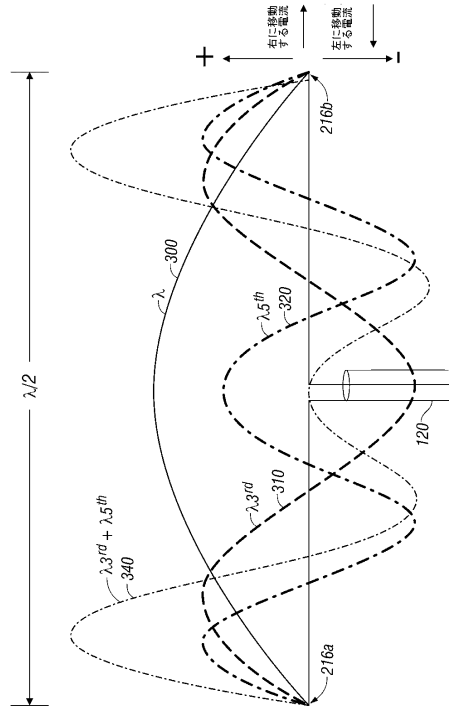


FIG. 12

【 図 1 3 】

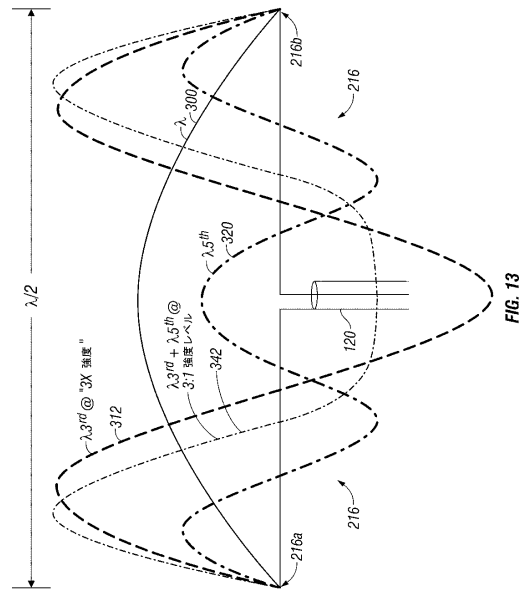


FIG. 13

【 図 1 4 】

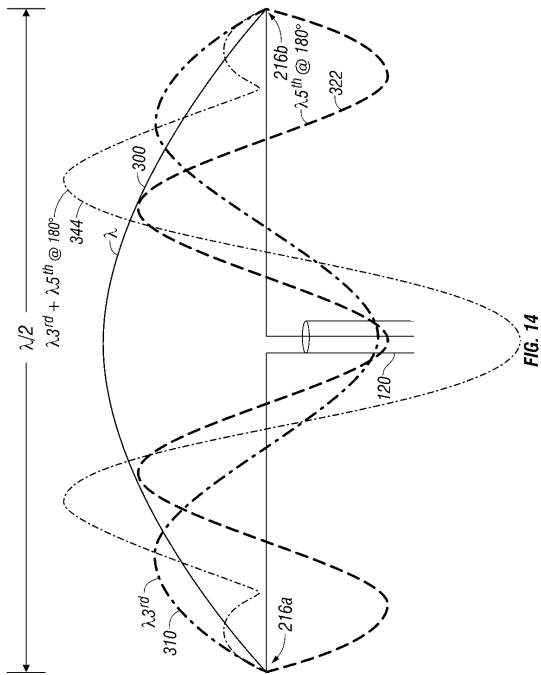


FIG. 14

【 図 1 5 】

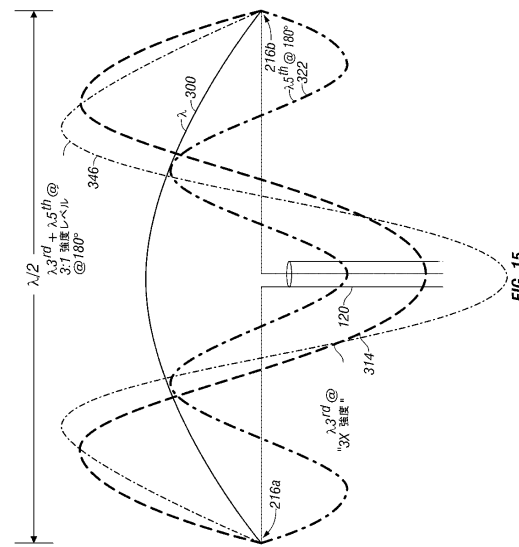


FIG. 15

---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2001-231870(JP,A)  
特表平6-503028(JP,A)  
特表2005-507736(JP,A)  
米国特許出願公開第2005/0205566(US,A1)  
特開2009-18167(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
A61B 18/18