(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7640657号
(P7640657)

(45)発行日　令和7年3月5日(2025.3.5)

(24)登録日　令和7年2月25日(2025.2.25)

(51)国際特許分類

Ｂ６４Ｄ	***15/12***	***(2006.01)***	Ｂ６４Ｄ	15/12
Ｂ６４Ｃ	***1/00***	***(2006.01)***	Ｂ６４Ｃ	1/00　　Ｂ

請求項の数　15　外国語出願　（全69頁）

(21)出願番号　特願2023-203737(P2023-203737)
(22)出願日　令和5年12月1日(2023.12.1)
(62)分割の表示　特願2021-535480(P2021-535480)の分割
原出願日　令和1年8月27日(2019.8.27)
(65)公開番号　特開2024-20603(P2024-20603A)
(43)公開日　令和6年2月14日(2024.2.14)
審査請求日　令和5年12月26日(2023.12.26)
(31)優先権主張番号　62/723,270
(32)優先日　平成30年8月27日(2018.8.27)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　521085618
ディ－アイス テクノロジーズ インコーポレイテッド
ＤＥ－ＩＣＥ ＴＥＣＨＮＯＬＯＧＩＥＳ，ＩＮＣ．
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ０２１４３ サマービル デイン ストリート ２８
(74)代理人　100147485
弁理士　杉村 憲司
(74)代理人　230118913
弁護士　杉村 光嗣
(74)代理人　100213333
弁理士　鹿山 昌代
(72)発明者　アレクサンドル ブラティアヌ－バデア
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　除氷システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
航空機の外皮を加熱するためのシステムであり、該システムは、
互いに間隔を置いて航空機の外皮に取り付けられた２つ以上の結合ストリップを含み、複数の結合ストリップの各結合ストリップが、それぞれのコネクタに結合された入力端部、終端部、および前記航空機の外皮表面に沿って延在する多層構造を含み、
前記多層構造は、
前記航空機の外皮上の第１の誘電体層と、
前記第１の誘電体層上の導電層と、
前記導電層上の第２の誘電体層と、
前記第２の誘電体層上の導電性シールド層と、
を含み、
前記複数の結合ストリップの各結合ストリップにおける前記入力端部で、前記導電層は前記それぞれのコネクタの第１の電気供給端子に接続され、前記結合ストリップの前記終端部では、前記導電層は開回路であり、
前記複数の結合ストリップの各結合ストリップにおける前記入力端部で、前記それぞれのコネクタの第２の電気供給端子は前記航空機の外皮に接続される、
システム。
【請求項２】
前記２つ以上の結合ストリップは、前記航空機の翼に沿って翼幅方向に配向する、

請求項１に記載のシステム。
【請求項３】
各結合ストリップの幅は、結合ストリップ間の間隔より小さく、各結合ストリップの長さは、結合ストリップ間の間隔より大きい、
請求項１に記載のシステム。
【請求項４】
前記導電層は、前記航空機の外皮より低い電気抵抗を有する、
請求項１に記載のシステム。
【請求項５】
前記導電層は、銅を含み、
前記航空機の外皮は、銅より大きい電気抵抗を有する金属を含む、
請求項４に記載のシステム。
【請求項６】
前記複数の結合ストリップに電流を１ｋＨｚ～４５０ＭＨｚのＡＣ周波数で供給するように構成された電源と、
をさらに備え、
前記２つ以上の結合ストリップの各結合ストリップにおける前記導電層は、前記終端部とは反対側の前記入力端部で前記電源と電気的に接続される、
請求項１に記載のシステム。
【請求項７】
前記複数の結合ストリップのうちの少なくとも１つにおける前記導電層は、前記導電層のセグメントが互いに並んで位置するように１回以上折り曲げられている、
請求項１に記載のシステム。
【請求項８】
前記複数の結合ストリップの各結合ストリップにおける前記入力端部で前記第１の電気供給端子を介して前記導電層と電気的に接続され、且つ、各結合ストリップにおける前記入力端部で前記第２の電気供給端子を介して前記航空機の外皮と電気的に接続される電力制御システムと、
をさらに備え、
前記電力制御システムは、前記複数の結合ストリップおよび前記航空機の外皮に、ＡＣ電流を供給するように構成される、
請求項１に記載のシステム。
【請求項９】
動作中に、前記複数の結合ストリップにおける前記終端部で、電流はゼロである、
請求項８に記載のシステム。
【請求項１０】
航空機の外皮を加熱するためのシステムであり、該システムは、
互いに間隔を置いて航空機の外皮に取り付けられた２つ以上の結合ストリップを含み、複数の結合ストリップの各結合ストリップが、入力端部、終端部、および前記航空機の外皮表面に沿って延在する多層構造を含み、
前記多層構造は、
前記航空機の外皮上の第１の誘電体層と、
前記第１の誘電体層上の導電層と、
前記導電層上の第２の誘電体層と、
前記第２の誘電体層上の導電性シールド層と、
を含み、
前記結合ストリップの前記終端部では、前記導電層は開回路であり、
前記複数の結合ストリップの各結合ストリップにおける前記入力端部で前記導電層と電気的に接続され、且つ、各結合ストリップにおける前記入力端部で前記航空機の外皮と電気的に接続される電力制御システムと、

をさらに備え、
前記電力制御システムは、前記複数の結合ストリップおよび前記航空機の外皮に、ＡＣ電流を供給するように構成され、
前記電力制御システムは、コネクタ内にインピーダンス調整要素を含む該コネクタによって、前記２つ以上の結合ストリップのうちの第１の結合ストリップと結合される、
システム。
【請求項１１】
前記電力制御システムは、複数のコネクタと結合され、
各コネクタは、
前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記導電層と接続される第１の端子と、
前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記航空機の外皮と接続される第２の端子と、
を備え、
前記複数のコネクタのうちの少なくとも１つのコネクタは、
前記電力制御システムと電気的に接続される第１の同軸入力コネクタと、
前記複数のコネクタのうちの別のコネクタと接続される第２の同軸入力コネクタと、
前記第１の同軸入力コネクタの端子と、前記第２の同軸入力コネクタの端子と、前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記導電層と接続される前記第１の端子と、の間の電気的接続を提供する第１の配線と、
前記電力制御システムと、前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記航空機の外皮と接続される前記第２の端子と、の間の電気的接続を提供する第２の配線と、
前記第１の配線と前記第２の配線との間に接続される抵抗素子と、
を有する、
請求項１０に記載のシステム。
【請求項１２】
前記電力制御システムは、複数のコネクタと結合され、
各コネクタは、
前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記導電層と接続される第１の端子と、
前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記航空機の外皮と接続される第２の端子と、
を備え、
前記複数のコネクタのうちの少なくとも１つのコネクタは、
前記電力制御システムと電気的に接続される第１の同軸入力コネクタと、
前記第１の同軸入力コネクタの端子と、前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記導電層と接続される前記第１の端子と、の間の電気的接続を提供する第１の配線と、
前記電力制御システムと、前記複数の結合ストリップのそれぞれの結合ストリップにおける前記入力端部で前記航空機の外皮と接続される前記第２の端子と、の間の電気的接続を提供する第２の配線と、
前記第１の配線と前記第２の配線との間に接続される抵抗素子と、
を有する、
請求項１０に記載のシステム。
【請求項１３】
各結合ストリップ内で、前記導電性シールド層の幅は、前記導電層の幅より大きい、
請求項１に記載のシステム。
【請求項１４】
前記複数の結合ストリップの各結合ストリップは、翼の前端から前記翼の後端へ向かっ

て延びている、
請求項１に記載のシステム。
【請求項１５】
前記複数の結合ストリップは、前記翼の基部から前記翼の先端部へ向かう方向に沿って間隔をあけて配置されている、
請求項１４に記載のシステム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
この出願は、２０１８年８月２７日に出願された米国特許出願第６２／７２３，２７０号の優先権を主張し、その内容は、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。
【０００２】
本発明は、導電性材料の加熱システムに関するものである。
【背景技術】
【０００３】
車、航空機、衛星などの多くの導電性表面は、毎日の使用中に低温や凍結状態に遭遇する。 これらの構造物の導電性表面に氷や水が蓄積すると、非効率的または危険な動作状態が発生する可能性がある。たとえば、航空機の翼に氷が蓄積すると、揚力が低下し、抗力が増加する可能性がある。
【０００４】
これらの構造物の多くは、加熱システムがないか、かさばる電子機器やその他の機器の使用を必要とする加熱システムを備えている。このようなかさばるデバイスの使用は業界にとって課題になっている。
【発明の概要】
【０００５】
本発明は、導電性表面を加熱するための技術を開示する。これらの技術は、一般に、高周波交流（「ＡＣ」）信号（たとえば、１ｋＨｚ以上）を使用して、導電性バルク媒体（たとえば、導電性材料）の目標領域の電流密度を成形し、媒体にジュール熱を生じさせる。
【０００６】
ジュール熱は、オーム加熱または抵抗加熱とも呼ばれ、導体に電流を流すことで熱を発生させるプロセスである。導電性媒体により生成される熱の量は、媒体を通過する電流の量と媒体の電気抵抗に基づく。その結果、加熱は、電流、電圧、抵抗、またはそれらの組み合わせを調整することによって制御（例えば、増減）することができる。
【０００７】
所定の導体の抵抗は、電流が流れ得る導体内の体積を制限し、電流が流れる長さを増加させることによって増加させることができる。本発明の実施形態は、例えば表皮効果と近接効果を利用して、導電性媒体（例えば、バルク媒体、導体）内の電流を成形する（例えば、収縮、延長など）メカニズムを操作することによって、バルク媒体内に熱を発生するように構成することができる。どちらの効果も、加熱される導電性媒体に高周波ＡＣ電流を流すことに依存している。表皮効果は、電流密度が導体の表面近くで増加し、導体内の深いところほど減少するように交流電流は導体内に分布するという傾向を利用して電流の流れを抑制する。近接効果を使用すると、導体を流れる既存の電流の近くに別のＡＣ電流経路を配置することにより、導体を流れる電流をさらに抑制することができる。近接効果は、電流経路を長くする機能もある。
【０００８】
例えば、本発明の実施形態は、電流経路に沿った電流の流れを抑制することによって、バルク媒体を通る電流経路に沿ったバルク媒体の抵抗を増加させるように構成される。結果として、本実施形態は、導電性媒体に増加した加熱性能を提供すると同時に、熱を生成

するために必要とされる電流を低減することができる。つまり、特定の電流経路に沿った導電性媒体の実効抵抗を増加させることにより、媒体内でジュール熱を生成するために必要とされる電流を、そうでない場合よりも、少なくすることができる。

【０００９】

一般に、第１の態様では、バルク媒体を加熱するためのシステムは、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に結合された２つ以上の電極と、電極に結合された電力制御システムを含む。電力制御システムが、バルク媒体内の電流の密度を成形することによって、電極間の電流経路に沿ってバルク媒体の実効抵抗を生成するように構成される。この態様では、電力制御システムは、電流経路に沿って電流の表皮深さを調整することによってバルク媒体の深さ内の電流の密度を成形し、電流の近接効果を調整することによって、電流経路を横切る方向の電流の密度を成形する。

【００１０】

第２の一般的な態様は、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に結合された２つ以上の電極と、電極に結合された電力制御システムとを含む、バルク媒体を加熱するシステムで具体化することができる。電力制御システムが、電極間の電流経路に沿って電流の密度を成形し、それにより、バルク媒体内の電流経路に沿って、バルク媒体の直流（ＤＣ）に対する抵抗よりも大きい実効抵抗を生成することによってバルク媒体を加熱するように構成される。この態様では、電力制御システムが、電流の表皮深さを調整することによって、バルク媒体の深さ内の電流の密度を成形するとともに、電流の近接効果を調整することによって、電流経路を横切る方向の電流の密度を成形する。

【００１１】

第３の一般的な態様は、バルク媒体に結合されるように構成された２つ以上の電極と、電極に結合された電力制御システムとを含むシステムで具体化することができる。電力制御システムが、電極間のバルク媒体を通る電流経路に沿った電流の密度を成形し、それによりバルク媒体のＤＣ電流に対する抵抗より大きな実効抵抗を電流経路に沿って生成することによってバルク媒体を加熱するように構成される。本態様では、電力制御システムは、電流の表皮深さを調整することによってバルク媒体の深さ内の電流の密度を成形するとともに、電流の近接効果を調整することによって電流経路の一部を横切る方向の電流密度を成形する。

【００１２】

第４の一般的な態様は、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に結合された２つ以上の電極と、電極に結合された電力制御システムとを含むシステムで具体化することができる。電力制御システムが、１ｋＨｚより大きく３００ＧＨｚより低い周波数で電極間のバルク媒体を通る電流経路に沿ってＡＣ電流信号を生成するとともに、バルク媒体の表面に近接して、バルク媒体を通る電流経路に沿って位置する第２の電流経路を生成するように構成される。

【００１３】

第５の一般的な態様は、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に結合された２つ以上の電極と、電極に結合され、バルク媒体を通る電流経路に沿ってＡＣ電流信号を生成してバルク媒体を加熱するように構成された電力制御システムと、加熱制御システムと電極との間に結合され、加熱制御システムのインピーダンスをバルク媒体のインピーダンスに対応するように調整するよう構成されたインピーダンス調整ネットワーク（ＩＡＮ）と、を含む加熱システムで具体化される。

【００１４】

第６の一般的な態様は、互いに間隔を置いてバルク媒体に結合された２つ以上の電極を含む加熱システムで具体化することができ、２つ以上の電極のそれぞれは、少なくともバルク媒体と同程度の導電性である材料を含み、電極とバルク媒体との接触抵抗が低減する方法でバルク媒体に結合され、電極に結合するように構成された電力制御システムは、電極間の電流経路に沿って電流の密度を成形し、それにより、バルク媒体内の電流経路に沿って、バルク媒体の直流（ＤＣ）に対する抵抗よりも大きい実効抵抗を生成することによ

ってバルク媒体を加熱するように構成される。この態様の加熱システムは、電流経路に沿って電流の表皮深さを調整することにより電流の密度を成形する。

【００１５】

第７の一般的な態様は、互いに間隔を置いて配置され、航空機の一部に結合された２つ以上の電極を含む航空機の除氷システムで具体化することができる。電力制御システムは、電極間のバルク媒体を通る電流経路に沿って電流の密度を成形することによってバルク媒体を加熱するように構成され、電極間の航空機の一部を通る電流経路に沿って１ＭＨｚ～５０ＭＨｚの周波数でＡＣ電流信号を生成し、この周波数によって、電流経路に沿う電流の表皮深さを調整することにより、電流の密度を第1の方向に成形せしめるとともに、航空機の一部を通る電流経路の少なくとも一部に沿って、航空機の一部の表面の１０ｃｍ以内の近さに位置する第２の電流経路を提供し、第２の電流経路の航空機の一部の表面への近接によって、電流経路の一部に沿った電流の近接効果を調整することにより、電流の密度を第2の異なる方向に成形せしめる。

【００１６】

第８の一般的な態様は、バルク媒体の外面を加熱するためのシステムで具体化することができる。このシステムは、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に取り付けられた２つ以上の結合ストリップを含む。各結合ストリップは、バルク媒体の表面に沿って延びる多層構造を有し、バルク媒体と相まって送電線を形成する。多層構造は、バルク媒体上の第１の誘電体層、第１の誘電体層上の導電層、導電層上の第２の誘電体層、および第２の誘電体層上の導電性シールド層を含む。電力制御システムは、各結合ストリップの導電層およびバルク媒体に結合されている。電力制御システムは、結合ストリップに電流を供給することによってバルク媒体の表面を加熱するように構成されている。さまざまな実施形態では、バルク媒体は、航空機の外皮、風力タービンのブレード、建物の屋根、または線路とすることができる。

【００１７】

第９の一般的な態様は、非導電性材料から作られた構造物の外面を加熱するためのシステムで具体化することができる。この構造物は、それに埋め込まれたバルク導電性材料を含む。このシステムは、互いに間隔を置いて配置され、構造物に取り付けられた２つ以上の結合ストリップを含む。各結合ストリップは、構造体に沿って延びる多層構造を有し、構造物内に埋め込まれたバルク導電性材料と相まって送電線を形成する。多層構造は、バルク導電性材料を覆う導電層、およびバルク導電性材料と第１の導電層との間の第１の誘電体層を含む。電力制御システムは、各結合ストリップの導電層および構造物に結合される。電力制御システムは、結合ストリップに電流を供給することによって構造物の表面を加熱するように構成される。さまざまな実施形態では、構造物は航空機の外皮、風力タービンのブレード、建物の屋根、または線路とすることができる。

【００１８】

第１０の一般的な態様は、バルク媒体加熱システムを設置する方法で具体化することができる。この方法は、結合ストリップを取得するステップを含み、各結合ストリップは、第１の誘電体層、第１の誘電体層を覆う導電層、該導電層を覆う導電性シールド層、および前記導電層と前記導電性シールド層との間の第２の誘電体層を含む多層構造を含む。この方法は、各結合ストリップをバルク媒体の表面に間隔を置いて取り付け、各結合ストリップの第１の誘電体層をバルク媒体と導電層との間に位置させるステップを含む。この方法は、各結合ストリップの導電層を、結合ストリップに電流を供給するように構成された電力制御システムに結合するステップを含む。さまざまな実施形態において、バルク媒体は、航空機の外皮、風力タービンのブレード、建物の屋根、または線路を含む。

【００１９】

本明細書に記載されている主題は、以下の利点のうちの１つまたは複数を実現するように実施することができる。導体を加熱するために、より軽量で小型の電気システムを使用することができる。さらに、加熱を目標領域に局所化することができ、加熱システム回路の過熱を生じない。本加熱システムは、例えば、バルク媒体に取り付けられた加熱要素ま

たは加熱層で熱を発生させるのではなく、バルク媒体（例えば、航空機の翼）自体で直接熱を発生させることによって、より効率的であり得る。本システムはまた、加熱に使用する電流と電圧が少なくて済み、安全性と信頼性が向上する可能性がある。一部の実施形態では、構成要素のストレスも軽減され得る。本システムは、設置または改良変更がより簡単、高速、または安価になり得る。本システムは、より安価になり、またメインテナンスも容易になり得る。本システムは、既存のシステムに後付けする場合に、非侵襲的であり得る。本システムはより速い除氷を可能にする。

【００２０】

本明細書の主題の１つまたは複数の実施形態の詳細は、添付の図面および以下の説明に記載されている。主題の他の特徴、態様、および利点は、この説明、図面、および特許請求の範囲から明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【００２１】

【図１】バルク媒体を加熱するための例示的な構成の概略図である。

【図２】図２Ａ～２Ｂは、表皮効果を利用して電流密度をバルク導体の第１の方向に集中させてバルク媒体を加熱する例示的な構成を示す概略図である。

【図３】表皮効果による電流密度の集中の増加を印加ＡＣ電流の関数として示すプロットである。

【図４】図４Ａ～Ｄは、近接効果を利用して電流密度をバルク導体の第２の方向に集中させてバルク媒体を加熱する例示的な構成を示す概略図である。

【図５】図５Ａ～Ｂは、近接効果による導体間の距離の関数としての、第２の導体に近接するバルク導体の電流密度の集中の増加を示すシミュレーション図である。

【図６】図６Ａは、電極のアレイを使用してバルク媒体を加熱するための例示的な構成の概略図である。図６Ｂ～６Ｄは、様々な電極配置を使用してバルク媒体を加熱するための例示的な構成の概略図である。

【図７】標準電力変換（「ＴＳＰ」）およびＡＣ生成（「ＡＣＧ」）メインサブユニットを含む、例示的な信号変換ユニット（「ＳＴＵ」）の概略図である。

【図８】ＴＳＰ、ＡＣＧ、および制御メインサブユニットを含む例示的なＳＴＵの概略図である。

【図９】図９Ａは、フライバックコンバータおよびコモンモードチョークを含む例示的なＴＳＰサブユニットの概略図であり、図９Ｂは、例示的なフライバックコンバータの概略図である。

【図１０】図１０Ａは、デュアルＭＯＳＦＥＴトランジスタ、温度制御水晶発振器（「ＴＣＸＯ」）、およびゲートドライバを備えたクラスＤ増幅器を含む、例示的なＡＣＧサブユニットの概略図である。図１０Ｂは、例示的なクラスＤスイッチモード増幅器の概略図である。図１０Ｃは、デュアルＭＯＳＦＥＴトランジスタ、ＴＣＸＯ、ゲートドライバ、および低電力変換段（「ＬＰＣ」）を備えたクラスＤ増幅器を含む、例示的なＡＣＧサブユニットの概略図である。

【図１１】マイクロコントローラおよびＬＰＣを含む例示的な制御サブユニットの概略図である。

【図１２】電源と負荷の間のインピーダンス調整ネットワークの図である。

【図１３】図１３Ａ～Ｄは、例示的なインピーダンス調整ネットワークのビルディングブロックの概略図である。

【図１４】パッシブ調整サブユニットを含む例示的な調整ネットワークユニットの概略図である。

【図１５】図１５Ａは、アクティブ調整サブユニットおよび制御サブユニットを含む、例示的な調整ネットワークユニットの概略図である。図１５Ｂは、アクティブ調整サブユニット、ＬＰＣ、および制御サブユニットを含む、例示的な調整ネットワークユニットの概略図である。

【図１６】例示的な加熱システムにおけるケーブル段の概略図である。

【図１７】加熱システム用の例示的な電極の概略図である。
【図１８Ａ】電極とバルク媒体との間の例示的なロウ付け接合部の概略図である。
【図１８Ｂ】電極とバルク媒体との間の例示的なリベットファスナー取り付けの概略図である。
【図１８Ｃ】電極とバルク媒体との間の例示的なエアシールテープ取り付けの概略図である。
【図１８Ｄ】電極とバルク媒体との間の例示的な組み合わせ取り付けの概略図である。
【図１９】本開示の実施によるバルク媒体に高周波加熱信号を提供するための例示的な結合ストリップの断面図である。
【図２０】航空機の翼に配置された図１９の結合ストリップの例示的なレイアウトを示す。
【図２１】結合ストリップ内の導電層の様々な構成を説明するためのいくつかの例示的な結合ストリップの上面図を示す。
【図２２Ａ】例示的な結合ストリップにより航空機の外皮で生成される模擬電流密度と、結合ストリップと航空機の外皮との間の電界密度のプロットを示す。
【図２２Ｂ】図２２Ａに示される航空機の外皮で生成される模擬電流密度のプロットを示す。
【図２３】結合ストリップ内のいくつかの例示的な導電層配置のレイアウト図を示す。
【図２４Ａ】図２３のレイアウトＡによる結合ストリップのＡ－Ａ線上の断面図を示す。
【図２４Ｂ】図２３のレイアウトＢによる結合ストリップのＢ－Ｂ線上の断面図を示す。
【図２４Ｃ】図２３のレイアウトＣによる結合ストリップのＣ－Ｃ線上の断面図を示す。
【図２５Ａ】結合ストリップをバルク媒体に取り付けるための例示的な構成の断面図を示す。
【図２５Ｂ】結合ストリップをバルク媒体に取り付けるための別の例示的な構成の断面図を示す。
【図２６Ａ】バルク媒体に設置する前の両面接着剤底層を備えた結合ストリップの断面図である。
【図２６Ｂ】バルク媒体上に設置された図２６Ａの結合ストリップの断面図である。
【図２７】図２７Ａ～２７Ｆは、埋め込まれた結合ストリップの様々な実施形態の断面図を示す。
【図２８】結合ストリップコネクタの実施形態を示す図である。
【図２９】結合ストリップコネクタの別の実施形態を示す図である。
【図３０】本開示の実施による結合ストリップを利用する第１の例示的なバルク媒体加熱システムのブロック図である。
【図３１】本開示の実施形態による結合ストリップを利用する第２の例示的なバルク媒体加熱システムのブロック図である。
【図３２】本開示の実施による結合ストリップを利用する第３の例示的なバルク媒体加熱システムのブロック図である。さまざまな図における同じ参照番号および名称は類似の要素を示すものである。
【発明を実施するための形態】
【００２２】
本発明の加熱システムは、ＡＣ電流を使用して導電材料（例えば、アルミニウム、炭素繊維複合材）の実効電気抵抗を増加させてそれらをより容易に加熱するものである。一般に、導電材料で発生した熱は、導電材料の表面に形成された氷を溶かすために使用することができる。この熱は、導電材料を高温に保ち、表面への蒸気の堆積を防ぐために、または表面での水の凍結を防ぐために、ならびに着氷性降雨（例えば、雪、凍雨、霧、氷晶雨）が表面に着氷するのを防ぐために使用することができる。例えば、導電材料で発生した熱は、導電材料全体に伝導（例えば、広がる）ことができる。さらに、発生した熱は、導電材料とその表面上の液体との界面を横切って対流を引き起こし、例えば、液体を加熱して凍結を防ぐことができる。
【００２３】

交流電流を利用して導電性材料の実効抵抗を増加させるいくつかの電磁効果を誘起させることができ、それにより、導電材料のジュール熱を利用して熱発生を促進することができる。このような効果には、表皮効果、近接効果、誘導、渦電流、ヒステリシス損失、および誘電損失が含まれる。導体内の電流の周波数が十分に高い値に設定されている場合、表皮効果により、電流の大部分が導電材料の幾何学的厚さよりも大幅に薄い導電性材料の表皮部を通過する。さらに、特定のデバイス幾何構造を使用して、導電材料内に近接効果を生じさせることができ、この効果は電流密度の幅をさらに抑制し、それにより導電性材料内の電流経路に沿った実効抵抗をさらに増加する。これらの2つの効果は、総合すれば、導電性材料の電気抵抗を増加させてジュール熱を発生させるために使用することができる。

【００２４】

たとえば、ジュール熱は一般に、導体に電流を流すことによって生成される熱を指す。特定の通電導体で発生する熱は、材料の抵抗と電流の振幅の２乗の二乗平均平方根の積：

【数１】

$$P \propto I^2 R$$

に比例する。

【００２５】

発熱体からの熱出力は、一般に、導体を通過する電流を増加させることによって、および比較的高い抵抗の発熱体を用いることによって増加する。しかしながら、本開示の実施形態は、特定の電磁現象（例えば、表皮効果および近接効果）を利用して、バルク媒体内の局所電流の電流密度を収縮させることによってジュール熱を発生させる。この電流密度の収縮により、バルク媒体内の電流経路に沿った実効抵抗が増加する。個別の効果は、材料や形状によって異なり得るが、バルク媒体を通る電流経路に沿った特定の長さに対する実効抵抗は、一般に次のように表すことができる。

【数２】

$$R_{eff} \propto \rho \frac{l}{A_{eff}},$$

ここで、ρは電流が流れる材料の抵抗率を表し、ｌは電流経路の長さを表し、A_{eff}は電流密度の収縮した断面積を表す。本開示の実施形態は、電磁現象を利用してA_{eff}を電流の経路に沿ったバルク媒体の断面積よりも小さい断面積に低減し、それにより、バルク媒体の実効抵抗をＤＣ電流に対するバルク媒体の実効抵抗よりも増加させる。

【００２６】

本開示のいくつかの実施形態は、これらの電磁現象を使用して、バルク媒体を通る電流経路の長さを増加させることができる。例えば、図４Ｄを参照して以下で説明されるように、本明細書に記載の技術を使用して、バルク媒体に取り付けられた２つの電極の間の電流経路を非直行経路（例えば、蛇行経路）に沿って「誘導」することができる。非直行経路は、例えば、近接効果などの電磁効果がない場合に２つの電極間を通る電流により生成される一般に実質的に直線の経路よりも長い有効長（l_{eff}）を有する電流経路を生成することができる。したがって、本明細書に記載のシステムは、電流経路長ｌを、本明細書に記載の様々なシステムおよび導体配置のない場合に電流が取る直行経路よりも長い有効長（l_{eff}）に増加させることができる。したがって、そのような実施形態は、バル

ク媒体を流れる電流の有効断面積（Ａｅｆｆ）を収縮することと、電流がバルク媒体を通過する有効長（ｌｅｆｆ）を増加させることの両方によって、実効抵抗（Ｒｅｆｆ）を増加させることができ、これにより、バルク媒体の実効抵抗をＤＣ電流に対するバルク媒体の実効抵抗よりもさらに増加させることができる。このような実施形態では、実効抵抗は一般に次のように表すことができる。

【数３】

$$R_{eff} \propto \rho \frac{l_{eff}}{A_{eff}}.$$

このような技術を使用することにより、本開示の実施形態は、導電性バルク材料（例えば、アルミニウム、銅、鋼、およびそれらの合金）に高い局所抵抗を生成することができる。

【００２７】

本明細書で使用される表皮効果は、一般に、交流電流が導体内に不均一に分布して電流密度が導体の表面近くで大きくなり、導体の表面までの距離が増加するにつれて減少する傾向を指す。表皮効果の強さは、電流の周波数と電流を運ぶ材料の導電率とともに増加する。本開示のいくつかの実施形態は、電流がより高いＡＣ周波数で導体の外面（例えば、「表皮厚さ」）でより多く流れるように、表皮効果を調整することができる。

【００２８】

一般に、導体の表皮効果は次の式で表すことができる。

【数４】

$$J = J_S e^{-(1+j)d/\delta} \text{ with } \delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} \sqrt{\sqrt{1+(\rho\omega\varepsilon)^2} + \rho\omega\varepsilon}$$

ここで、Ｊは電流密度、Ｊｓは表面電流密度、ｄは電流密度が計算される点の深さ、δは表皮の厚さ、ρは導体の抵抗率、ωは電流の角周波数、μは導体の透磁率、εは導体の誘電率である。底面半径Ｒの円筒形導体の場合、電流密度はさらに次のように導き出すことができる。

【数５】

$$J = J_S \frac{J_0\left(\sqrt{\frac{-j\omega\mu}{\rho}}(R-d)\right)}{J_0\left(\sqrt{\frac{-j\omega\mu}{\rho}}R\right)}$$

ここで、Ｊ０は第一種の0次のベッセル関数である。

【００２９】

表面電流が流れる無限に長く幅の広い長方形のプレートの場合、表皮効果は次の式で表すことができる。

【数６】

$$J = J_S \frac{sh(\sqrt{j\omega\sigma\mu}d)}{sh(\sqrt{j\omega\sigma\mu}e)}$$

ここで、J_Sは強制表面電流、σはプレートの導電率、eはプレートの厚さ、shは双曲正弦関数である。例えば、図３に示され、以下で詳細に説明される図表は、表皮効果によって引き起こされる円筒導体内の材料の深さ（例えば、表皮深さ）内の電流密度収縮の一例を示す。上で詳述したように、実効断面積のこのような収縮は、導体の実効抵抗を増加させる。

【００３０】

例えば、図３に示され、以下で詳細に説明される図表は、表皮効果によって引き起こされる、材料の深さ（例えば、表皮深さ）内の電流密度収縮の一例を示す。

【００３１】

本明細書で使用される近接効果は、一般に、第１の電流経路（例えば、導体）を流れるＡＣ電流が、近くの第２の電流経路を流れるＡＣ電流の電流密度に及ぼす影響を指す。例えば、図５Ａ～５Ｂに示され、以下で詳細に説明されるように、第１の電流経路のＡＣ電流は、第２の電流経路のＡＣ電流の密度を第１の電流経路の周囲に「集中」または収縮させる。本開示の実施形態において、例えば、バルク媒体を通過する電流の密度は、バルク媒体を通過する電流の近くにＡＣ電流を運ぶ別の導体が配置されると、ＡＣ電流を運ぶ別の導体に向かって「引っ張られる」。近接効果によって引き起こされる電流密度の収縮（例えば、集中）の程度および方向は、いくつかの変数、例えば、２つ以上のＡＣ電流経路間の距離、個々の電流経路を流れる電流の相対的な進行方向、電流経路のＡＣ電流の周波数、および電流経路の個々の電流の大きさなどに依存する。

【００３２】

明確のために、本開示の加熱システムは、飛行機の外表面のための除氷および防氷システムの例示的な状況に関連して説明される。しかしながら、本開示の加熱システムは、他の状況、例えば他の航空機、無人機、風力タービン、極低温動作装置、ヒートポンプ、自動車、無線塔、鉄道線路の表面、有人または無人の軍用車両、屋根、または氷または水形成の抑制の恩恵を受ける他の導電性表面などを加熱するのに使用することができるが、これらに限定されない。この加熱システムは、除氷または防氷に使用することができる。いくつかの実施形態では、この加熱システムは、例えば、非導電材料の上または内部に導電層を加えることによって低導電材料を加熱するために使用することができる。このような実施形態は、道路（私道など）、建築材料、屋根、床、またはその他の低または非導電材料の表面を加熱するために使用できる。

【００３３】

本明細書で使用される除氷とは、一般に、表面からの雪、氷、または霜（「氷」と総称する）の除去を指す。いくつかの実施形態では、加熱システムは、導電性表面上の既存の氷の一部を溶かすことができればよい。その後、氷は（たとえば、溶融過程が始まり、氷と表面の結合が壊れると表面から滑り落ちることによって）表面から除去される。

【００３４】

本明細書で使用される防氷は、一般に、雪、氷、または霜（「氷」と総称する）の形成または表面への付着の防止を指す。いくつかの実施形態では、加熱システムは、（例えば、雪、霜、凍雨、氷晶雨などの着氷性降雨から）表面に氷が形成されるのを防ぎ、氷の堆積または形成を防ぐのに十分高い表面温度を維持する。

【００３５】

図１は、バルク媒体を加熱するための例示的な加熱システム１００のブロック図を示す。加熱システム１００は、電極１１６および１１８に結合された電力制御システム１０４を含む。電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２の目標領域（例えば、航空機の翼

の一部）に結合される。電力制御システム１０４は、ワイヤ（またはパスまたはケーブル）１０６、バルク媒体１０２、および最後にワイヤ（またはリターンパス）１０８を介する閉開路を横切って交流（ＡＣ電流）（例えば、周波数１ｋＨｚ以上）を発生する。ワイヤを流れる電流１１２の方向は、破線の矢印で示されている。

【００３６】

いくつかの実施形態では、加熱システム１００は、電力制御システム１０４と、電極１１６および１１８と、専用ケーブル（例えば、ワイヤ１０８および１０６）とを含むことができるが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、加熱システムは、電極１１６および１１８に結合されるように構成されている。いくつかの実施形態では、加熱システムは、特殊なケーブル（例えば、１０８または１１６）に結合されるように構成されている。いくつかの実施形態では、電力制御システム１０４は、信号発生ユニット、電源、信号変換ユニット、インピーダンス調整ネットワーク、制御ユニット、およびセンサを含むことができ、以下で詳細に説明される特定の構成を有するが、これに限定されない。以下に詳述するように、いくつかの実施形態では、インピーダンス調整ネットワークはインピーダンス整合ネットワークである。

【００３７】

いくつかの実施形態では、電極１１６および１１８は接触電極である。例えば、電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２に物理的に接続して電力制御システム１０４からの電流をバルク媒体に伝導する。いくつかの実施形態では、電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２に結合することができるが、バルク媒体１０２から電気的に絶縁することもできる。例えば、そのような実施形態では、電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２に近接配置された誘導コイルの入力および出力としてバルク媒体１０２に電流を磁気的に誘導することができる。

【００３８】

電力制御システム１０４は、表皮効果を調整することによって電極１１６と１１８との間のｚ方向の電流の流れを収縮するのに十分な高周波（例えば、１ｋＨｚ以上）の電流を供給してバルク媒体１０２に高い抵抗を生じさせることができる。電力制御システム１０４は、１ｋＨｚ～３００ＧＨｚの周波数のＡＣ電流を提供することができる。いくつかの実施形態では、いくつかの実施形態では、電流周波数は１００ｋＨｚ～４５０ＭＨｚである。いくつかの実施形態では、電流周波数は１ＭＨｚ～５０ＭＨｚ、１００ＭＨｚ～１５０ＭＨｚ、２００ＭＨｚ～３００ＭＨｚ、４００ ＭＨｚ～ ５００ＭＨｚ、または８００ＭＨｚ～１ＧＨｚの範囲である。

【００３９】

いくつかの実施形態では、リターン経路１０８は、バルク媒体１０２の表面に近接して配置される。バルク媒体の表面へのリターン経路１０８の近接配置は、電極１１６および１１８間を流れる電流の近接効果を調整するために使用することができ、それにより、電流をさらに抑制し、バルク媒体内の加熱を増加させることができる。近接効果を利用して電極１１６と１１８との間を流れる電流を成形するために、加熱システムの回路自体からのリターン電流経路１０８を使用する必要はない。いくつかの実施形態では、別の電流経路１２２（例えば、異なる回路から）をバルク媒体１０２に近接配置（例えば、距離１２０ａ）することができる。例えば、バルク媒体１０２からの電流経路１０８または１２２の距離１２０または１２０ａが十分に小さい場合、近接効果を使用して、バルク媒体を通る電流をさらに抑制することができる。

【００４０】

例えば、バルク媒体と経路１０８（または１２２）との間の距離１２０（または１２０ａ）は、近接効果を生成するために、１ｍ未満、または５０ｃｍ未満、または１０ｃｍ未満にすることができる。設計上の制約を十分に考慮してより近い距離が可能である場合、（たとえば、飛行機の翼がバルク媒体である場合、この場合には飛行機のリブまたはスパーがリターン経路１０８／１２２の邪魔にならない）、距離１２０（または１２０ａ）は２５ｃｍ未満または１０ｃｍ未満にすることができる。

【００４１】
バルク媒体１０２は、アルミニウム、金属合金、炭素繊維複合材、銅、銀、チタン、または鋼などの材料を含み得るが、これらに限定されない。たとえば、バルク媒体は、胴体、翼、下部構造、尾翼など、航空機の機体の任意の部分（たとえば、飛行機の「表皮」としても知られる、航空機の最外殻または表面）とすることができます。
【００４２】
電極（１１６および１１８）は、アルミニウム、銀、銅、それらの合金、または他の導電性材料などを含み得るが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、電極材料は、少なくともバルク媒体１０２と同程度の導電性である。いくつかの実施形態では、電極１１６および１１８は、電極のアレイに配置することができる。電極はバルク媒体に、様々な方法で、例えば、媒体の上面または下面に結合する、または媒体内に埋め込むことができる。
【００４３】
加熱システム１００は、媒体を流れる電流の密度を成形することによって、バルク媒体１０２を通る実効抵抗を生成するように構成される。言い換えれば、飛行機の用途では、飛行機の既存の機体を加熱システムの電気回路の一部として使用する。加熱システム１００は、表皮効果、近接効果、またはそれらの組み合わせを調整することによって電流の密度を成形し、電極１１６と１１８との間の電流経路に沿ったバルク媒体１０２の実効抵抗を増加させる。場合によっては、近接効果を利用して、例えば、図４Ｄに見られるように、バルク媒体の所望の区分を加熱するように電流経路を向けることもできる。バルク媒体の所望の加熱区分は、「目標加熱場所」または「目標場所」と呼ばれ得る。
【００４４】
いくつかの実施形態では、周波数１ｋＨｚ以上の交流電流を飛行機の機体に直接流すことができる。その結果、電流が流れる表面近くの機体の部分でジュール熱が発生する。さらに、電流により生成された熱は、伝導によってバルク媒体１０２全体に広がる。
【００４５】
図２Ａ～２Ｂを参照すると、加熱システム１００は、表皮効果を利用して媒体の目標領域１０２を通る電流密度を成形する。図１と同様に、ＡＣ電流（方向２１２）が、バルク媒体１０２の目標領域を通して電極１１６および１１８間に供給される。図２Ａは、表皮効果のない場合（例えば、１ｋＨｚ未満の電流周波数の場合）にバルク媒体１０２の目標領域を通る電流密度２０２のプロファイル（例えば、側面図）を示す概略図である。電流はｙ方向（２１２）に流れ、電流の大部分が矢印で示される媒体１０２の容積内を流れる。例えば、電流は、約２ｍｍの深さ２０６、例えば、バルク媒体のほぼ全体の厚さを有する。このように、図２Ａは、表皮効果による電流密度の成形がほとんどまたは全くないシステム１００の動作を示している。
【００４６】
図２Ｂは、電極間に高周波ＡＣ電流（例えば、１ｋＨｚ以上）を印加した結果として生じる電流密度２０２のプロファイルの概略図である。図２Ｂは、表皮効果により電流密度を整形するシステム１００の動作を示している。例えば、加熱システム１００を高周波で動作させることによって生じる表皮効果のために、バルク媒体１０２を流れる電流密度２０２の深さがｚ方向に収縮され、バルク媒体１０２の表面近くの狭い領域になる。さらに、バルク媒体１０２の電流の流れ領域の実効抵抗が十分に増加するため、この領域でジュール熱を得ることができ、回路の残部（例えば、ワイヤ、電源、インバータ、調整ネットワーク、電極）を過熱することはない。目標領域のＡＣ電流に対するバルク媒体の実効抵抗は、DC電流に対するバルク媒体の抵抗よりも大きくすることができる。たとえば、実効抵抗は、DC電流に対するバルク媒体の抵抗よりも2桁以上大きくすることができる。
【００４７】
図３は、印加ＡＣ電流の関数としての、表皮効果による材料の深さ（ｘ軸、１に正規化されている）への電流密度の集中（ｙ軸、１に正規化されている）を示すプロットである。電流密度は、媒体の厚さ（z方向）に沿って指数関数的に減衰する。周波数が１ｋＨｚ

から１０ＭＨｚに増加するにつれて、電流密度はバルク媒体の表面近くにさらに集中する。したがって、周波数が高いほど、減衰が顕著になる。言い換えれば、表皮効果は電流がバルク媒体の表面近くの薄い層を通過するように電流密度を収縮する。その上、ジュール熱がこの層で発生する。

【００４８】

図４Ａは、近接効果を利用して電流密度をさらに収縮するためのシステム４００の側面図である。図１と同様に、電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２（例えば、機体上の目標領域）に取り付けられ、ＡＣ信号（例えば、１ｋＨｚ以上）を通過させて、媒体を通る方向４１２の電流密度（または経路）４１０を生成する。リターン経路１０８は、媒体内の現在の経路（または密度）４１０から距離１２０内に配置され、方向４１２とは異なる方向１１２を有する。いくつかの実施形態では、リターン経路１０８は、バルク媒体１０２から電気的に絶縁される。経路１０８は、バルク媒体１０２から距離１２０内に配置されたワイヤまたはケーブルであり得る。リターン経路１０８は、システム４００の回路を完成させるワイヤまたはケーブルであり得る。

【００４９】

リターン経路１０８が電流経路４１０に十分に近い（例えば、５０ｃｍ未満）場合、リターン経路１０８のＡＣ電流は、電流経路４１０内の電流を電流経路４１０内の電流の流れを横切る方向に収縮する。換言すれば、リターン経路１０８を電流経路４１０に十分に近づけて配置することにより、電流経路４１０内の電流の流れの断面積が収縮される。例えば、図４Ａ～４Ｃを参照すると、電流は、電極１１６と１１８との間で２つの方向（例えば、図示されているようにｘ方向およびｚ方向）に収縮される。例えば、図４Ｄに示されるように、近接効果は、電流の流れの方向に応じて、ｘ方向またはｙ方向のいずれかに電流密度４１０を収縮させる。たとえば、電流がx方向に流れる場合、近接効果は電流をy方向に収縮する。例えば、近接効果は主として電流の流れの方向を横切る方向に電流を収縮させるが、表皮効果は主に電流密度をバルク媒体の深さ内で（例えば、図２Ａおよび２Ｂに示されるようにｚ方向に）収縮させる。場合によっては、近接効果をバルク媒体１０２の深さ（例えば、ｚ方向）の電流密度の収縮に加えることもでき、例えば、表皮効果と近接効果の両方を利用する実施形態において、表皮効果を高めることもできる。いくつかの実施形態では、近接効果を使用して、バルク媒体を通る電流の流れの方向（例えば、電流がバルク媒体１０２を通る経路）を規定することもできる。

【００５０】

図４Ｂ～Ｃは、上から見たシステム４００の例示的な概略図である。電極１１６および１１８は、バルク媒体の目標領域１０２に取り付けられ、ＡＣ信号（例えば、１ｋＨｚ以上）を通過させて、媒体を通る方向４１２の電流密度（または電流経路）４１０を生成する。リターン経路１０８は、バルク媒体１０２内の電流経路（または密度）４１０とは異なるｘｙ平面（点線）に配置される。いくつかの実施形態では、リターン経路１０８内の電流は、方向４１２とは異なる方向１１２にある。例えば、いくつかの実施形態では、リターン経路１０８の電流の方向１１２は、電流経路４１０の電流の方向４１２と反対である。電流経路４１２とリターン経路１０８の間隔が十分に小さい場合（例えば、５０ｃｍ未満）、電極１１６と１１８との間でバルク媒体１０２内を流れる電流は、図４Ｃに示されるように、近接効果によりリターン経路ワイヤの近くに密集する（例えば、ｙおよびｚ方向に収縮する）。リターン経路１０８のバルク媒体１０２からの離間距離が大きいほど、図４Ｂに示されるように、バルク媒体１０２内でより少ない電流経路４１２が収縮されることになる。

【００５１】

図４Ｄは、上から見たシステム４５０の別の実施形態の例示的な概略図である。前のシステム１００と同様に、電極１１６および１１８は、バルク媒体１０２の目標領域に取り付けられている。リターン経路１０８は、バルク媒体１０２に近接して、バルク媒体１０２内の電流経路４１０とは異なるｘｙ平面に配置される。図示の実施形態は、電流４１０がバルク媒体１０２を流れる経路を整形するためにどのようにリターン経路１０８（また

は別の別個の電流経路）を使用し得るかを示す。例えば、第２の電流経路（例えば、リターン経路１０８のような電流搬送ワイヤまたはケーブル）をバルク媒体１０２に近接配置することによって、近接効果を利用して、電流の流れの方向を横切る電流密度の幅を収縮すること、およびバルク媒体１０２内の電流経路４１０を成形することの両方を行うことができる。図４Ｄはまた、近接効果は、電流密度を電流経路４１０に沿って、電流の流れの方向を横切る方向に収縮することを示している。例えば、図４Ｄにおいて、電流経路４１０に沿った電流密度は、経路４１０の各セグメントにおける電流の流れの方向に実質的に垂直な方向に収縮され、バルク媒体１０２内の電流経路４１０は、リターン経路１０８の形状に従って一致する。より具体的には、電流経路４１０のセクションＡにおいて、電流はｘ方向に沿って流れるように案内され、電流密度はｙ方向およびｚ方向に収縮される。電流経路４１０のセクションＢにおいて、電流はｙ方向に沿って流れるように案内され、電流密度はｘ方向およびｚ方向に収縮される。

【００５２】

図４Ｄに示されるように、近接効果によって電流経路をより複雑な形状に成形する能力はいくつかの利点をもたらす。第１に、このような経路形状は実効電流経路長ｌを増加させるために使用することができる。上記のように、経路長が長くなると抵抗が大きくなり、ジュール熱が大きくなる。第２に、このような電流経路の形状は、電流を加熱のための戦略的な場所に向けるように構成することができる。第３に、このような電流経路の形状を使用して、電流経路の鋭い角に加熱が増加した領域（例えば、ホットスポット）を生成することができる。

【００５３】

近接効果と表皮効果の組み合わせによって、目標領域のＡＣ電流に対するバルク媒体の実効抵抗をＤＣ電流に対するバルク媒体の抵抗よりも大きくすることができる。たとえば、実効抵抗は、ＤＣ電流に対するバルク媒体の抵抗よりも２桁以上大きくすることができる。

【００５４】

図５Ａ～Ｂは、導体間の距離１２０の関数として、近接効果による第２の導体／経路１０８の近くのバルク導体目標領域１０２における電流密度の集中の増加を示すシミュレーション図である。バルク導体と第２の経路の電流は、距離１２０が減少すると近接効果を引き起こすのに十分である（たとえば、１ｋＨｚ以上、または１０ＭＨｚ）。例えば、距離１２０が２０ｃｍである場合、電流密度４１０は、図５Ａに示されるように、ｘ-ｙ平面においてほぼ均一のままである。図５Ｂに示されるように、距離１２０が２ｃｍに減少すると、近接効果によってｘ-ｚ平面内でリターン経路１０８の周りに電流４１０の「密集」または「収縮」が生じる。これは、電流４１０の大部分がバルク導体に沿った狭いストリップに密集し、第２の導体（１０８）の経路（例えば、リターン経路、または他の電流搬送ワイヤ）をたどることによって実現される。言い換えれば、電流４１０は、バルク媒体全体に均一に広がるのではなく、最小のインダクタンスの経路をたどる。

【００５５】

いくつかの実施形態では、図１のパス１２２と同様に、近接効果を引き起こすためにリターン経路１０８以外のワイヤを使用する。その場合、そのワイヤの電流振動は、経路１０６および１０８と同じシステム（例えば、電力制御システム１０４）によって駆動してもよいし、しなくてもよい。その場合、ワイヤ１２２の近接効果は、バルク導体内の電流経路４１２からワイヤ１１２までの距離に依存する。リターン経路１０８と同様に、ワイヤ１２２は、経路４１２に十分に近い（例えば、５０ｃｍ未満）必要がある。

【００５６】

一般に、電力制御システム１０４は、電極（例えば、１１６および１１８）および専用の導体（例えば、専用ワイヤまたは専用ケーブル）を介してバルク媒体１０２に電流を供給して、閉路を形成する（図１参照）。これらの3つの構成要素については、以下でさらに詳しく説明する。

【００５７】

いくつかの実施形態では、電極１１６および１１８は、図６Ａに示されるように、入力電極および出力電極のアレイを含む。電極システム６００は、電極アレイ１１６を形成する３つの入力電極１１６（１）～（３）と、電極アレイ１１８を形成する３つの出力電極１１８（１）～（３）を含み、バルク媒体内に隣接する電流経路４１０をもたらす。上で詳述したように、リターンワイヤ１０８の電流１１２による近接効果は、バルク媒体の電流密度４１０を収縮する。

【００５８】

一般に、バルク媒体１０２の目標領域において所望の加熱を達成するために、様々な電極形状を使用することができる。例えば、図６Ｂに示されるように、システム６１０は、バルク媒体の目標領域１０２に電流を供給するために使用される２つの電極配置１１６および１１８を示す（入力／出力ワイヤ１０６および１０８を備えている）。電極配置１１６および１１８は、図６Ａに示されるような１つ以上の電極のアレイとしてよい。図６Ｃ～Ｄは、例えば航空機の翼の目標領域１２０を加熱するための他の電極構成６２０および６３０のそれぞれの概略図である。１１６、１１８、および６４０によって示される電極配置は、図６Ａに示されるような単一の電極、または１つ以上の電極のアレイとしてもよい。電極の形状と設計の詳細は以下のとおりである。

【００５９】

いくつかの実施形態では、バルク媒体は飛行機の外皮であり、加熱の目標領域としては、翼、胴体、垂直尾翼、水平尾翼、窓、ウィングレット、風防、操縦翼面（フラップ、アイレロン、ラダー、エレベーター、エアブレーキなど）、ノーズ/ノーズコーン、着陸ギア、着陸ギアブレーキ、着陸ギアドア、エンジンおよびエンジンナセル、ＡＣインレットおよびアウトレット、燃料タンクベント、ピトットヘッド、静ポート、その他のアンテナ、センサ、外部ライト、燃料タンク通気口、サービスパネルなどが含まれるが、これらに限定されない。言い換えれば、提案された技術は、場合によっては、図６Ａ－６Ｄに示される構成のうちの１つまたは複数において、機体の内側に電極を配置することを含み得る。いくつかの実施形態では、加熱システム１００は、目標領域の一部でジュール熱を生成し、その後、材料内の伝導により更なる熱拡散をもたらすことができる。

【００６０】

一般に、電力制御システム１０４は、高周波（例えば、１ｋＨｚ以上）の交流電気信号（ＡＣ）を生成し、それをバルク媒体の上述の目標領域１０２を通して送るように設計された信号生成システムを含む。目標領域のインピーダンスが低い（場合によっては１Ωよりはるかに低い）いくつかの実施形態では、信号生成システムは、目標領域でジュール熱を生成するために、目的の電流レベルを生成し維持するように構成される。場合によっては、システムの他の部分（信号を伝送する導体やワイヤなど）のインピーダンスがゼロを超えるため、これらの部分を流れる大電流によって、目標領域の外側で望ましくないジュール熱が発生する。そのため、一部の実施形態では、信号生成システムは高電流が目標領域の近くにのみ供給されるように設計される。

【００６１】

いくつかの実施形態では、信号生成システムの要素／ユニットの一部またはすべて、ならびにそれらを接続する導電要素／ケーブルは、高電流および高周波数の電磁信号を送るときに通常発生する望ましくない電力損失を可能な限り低減するように設計される。

【００６２】

いくつかの実施形態では、信号生成システムは、既存の電源（例えば、航空機上の既存の電気バス）から電力を受け取ることができる。一部の実施形態では、システムは、システムの一部である専用のバッテリーまたは専用の電源を使用する。例えば、そのような専用の電源には、燃料ベースの発電機、太陽光発電ベースの発電機、風力発電ベースの発電機、ガス発電ベースの発電機などが含まれ得るが、これらに限定されない。信号生成システムは、電源（例えば、既存の電気バス、専用のバッテリー、専用の電源）と目標領域との間の回路内に配置することができる。

【００６３】

さらに、いくつかの実施形態では、信号生成システムは、独立したユニットとして存在する、および／または信号生成システムの一部である他のユニットの組み合わせ内に埋め込まれる制御回路およびデバイスを含むことができる。

【００６４】

いくつかの実施形態では、加熱システム１００は、いくつかの別個の目標領域を加熱するために使用される。このような場合、加熱システムの各要素またはユニット（たとえば、信号変換ユニット、インピーダンス調整ネットワークなど）は、システム全体に集中化するか、目標領域または目標領域のグループごとに１つ以上の個別のユニットとして分散させることができる。集中化または分散構成は、数ある基準のうち特に、システム機能、エネルギー効率、コスト、規制順守、重量、サイズ、および複雑さなど改善するために使用することができる。例えば、いくつかの実施形態では、信号変換ユニットは集中化されるが、インピーダンス調整ネットワークは、目標領域ごとに１つ以上のユニットに分散される。いくつかの実施形態では、信号変換ユニットは、集中型ＴＳＰ（「標準電力への変換」）サブユニットとして部分的にのみ集中化されるが、ＡＣＧ（「ＡＣ生成」）サブユニットは、目標領域または目標領域のグループごとに１つ以上のサブユニットとして分散される。いくつかの実施形態では、信号変換ユニットは完全に分散され、その各サブユニットは、目標領域または目標領域のグループごとに１つ以上のサブユニットに分散される。

【００６５】

いくつかの実施形態では、電力制御システム１０４は、加熱／除氷／防氷動作が完了するまで、連続的に目標領域１０２に電力を送る。いくつかの実施形態では、システムは、導電材料１０２において所望の発発生および熱分布を達成するために、改善された／効率的な方法で（例えば、制御ユニットを使用して）電源をオンおよびオフにすることができる。例えば、システムがオンの場合、熱は目標領域の特定の場所で生成され、目標領域全体に伝導され、目標領域の残りの部分に「拡散」する。システムがオフの間、生成された熱は目標領域内で伝導し続ける。

【００６６】

いくつかの実施形態では、システムは、オン状態に対して異なる電力レベルを有し、改善された方法でオフ状態と異なる電力レベルを周期的に繰り返すことができる。いくつかの実施形態では、1ステップの電力増分または減分ではなく、電力のスムーズな増減によって特定の電力レベルに到達させることができる。このようなパルス電力システムのパターンは、システムの構築時に完全に事前に規定するか、またはシステムの制御ユニットの一部を形成するフィードバックループに基づいて変化させて、動的に改善することができる。

【００６７】

加熱システムが複数の目標領域を含むいくつかの実施形態では、上記のパルス電力パターンをすべての目標領域にわたって非同期的に使用できるため、すべての目標領域を、全体平均と全体瞬時電力レベルの両方を設定しきい値以下に維持しながら、必要な時間量で加熱することができる。例えば、両翼、胴体、および水平および垂直尾翼を加熱する航空機の除氷システムの場合、このような段階的電力パターンは、システムが一度に１つの目標領域に対してのみターンオンされるように設計することができる。いくつかの実施形態では、段階的電力パターンは、左翼、胴体、右翼、垂直尾翼、水平尾翼の順にシステムをパワーオンする。

【００６８】

いくつかの実施形態では、所望の熱、平均電力、瞬間電力レベル、ならびに許容可能な熱分布を達成するために、改善されたタイミングを各段階で使用することができる。いくつかの実施形態では、上記のパターンと同様に、目標領域の任意のサブセットを特定の時間に加熱することができる。

【００６９】

いくつかの実施形態では、加熱システムの設計の一部として言及されている１つまたは

複数のユニットまたは要素はエンクロージャを有している。このようなエンクロージャは、単一のユニット用またはユニットの任意の組み合わせ用に設計され得る。いくつかの実施形態では、エンクロージャは環境認定基準に準拠して設計される。例えば、エンクロージャは、不燃性、降水からの保護、外部の衝撃や振動からの保護を提供する取り付けおよび構造、電気絶縁、外部電磁波妨害（「ＥＭＩ」）からの保護、封入回路のＥＭＩ放射のシールド、およびサーマルリリーフなどの基準に準拠して設計することができる。

【００７０】

いくつかの実施形態では、いくつかのエンクロージャは、加熱された物体（例えば、バルク導電材料）の構造をヒートシンクとして使用するように設計することができる。例えば、１つまたは複数の加熱システムのユニットは、それが配置されるバルク媒体に対して高い熱伝導率を有するように取り付けられた金属または導電性構造内に収容することができる。この取り付けの可能な利点の１つは、バルク媒体を加熱すると同時に、電子機器に必要な冷却を提供することにある。この設計のもう1つの可能な利点は、損失を分散するために別個のヒートシンクを設ける必要がなくなることにより、加熱システム（またはデバイス）の重量が減少することにある。いくつかの実施形態では、目標領域を加熱システムユニットのヒートシンクの一部として使用することができる。この使用により、加熱システムの回路が必然的に熱損失を生じ、それが目標領域に伝導されてそれらを加熱し得るため、加熱システムの効率が向上し得る。

【００７１】

いくつかの実施形態では、エンクロージャをバルク媒体に取り付けるために複数の接着剤または取り付けタイプを使用することができる。たとえば、そのケーシングを所定の位置に保持するために、主に機械的剛性保持のために使用される接着剤を使用することができ、エンクロージャのヒートシンク機能のために低い熱インピーダンス経路を提供する別の接着剤（または界面剤）を使用することもできる。

【００７２】

いくつかの実施形態では、１つまたは複数の加熱システムのユニットは、ユニットの回路、周囲のケーブル、他のユニット、または目標領域で測定される１つ以上の測定値、例えば電圧、電流、温度、順方向電力、および反射電力など、を検出するように構成することができるが、それらに限定されない。いくつかの実施形態では、そのような測定値を使用して、ユニットの動作状態を監視し、それらの動作を、改善のために、例えばスイッチングおよび調整可能部のオン/オフスイッチング、出力レベル、およびインサーキット制御などを（フィードバックメカニズムを使用して）制御することができる（ダイナミック調整ネットワーク内のスイッチングおよび調整可能部の制御の詳細については下記参照）。制御されるパラメータには、負荷への電力および/または負荷への電流、調整ネットワークの電圧制御、およびその他の関連信号が含まれる。

【００７３】

いくつかの実施形態では、上記のフィードバックループの一部として使用される測定値は、目標領域またはその近くに設置し得る特定の氷センサを含むこともできる。そのようなセンサは、例えば、除氷完了状態について加熱システムおよび／またはユーザに通知するために使用することができ、除氷および防氷動作段階で電力レベルを調整するための入力として使用することができる。いくつかの実施形態では、氷センサをシステム内の障害やサービス要求を判別するために使用することもできる。

【００７４】

いくつかの実施形態では、加熱システムは、ユーザ（航空機の除氷システムの場合にはパイロットまたは副操縦士であり得る）および/またはシステムのセンサからの入力を受け取り、および他のすべてのユニットに制御信号を出力するプロトコルコンバータ制御ユニット（または「制御ユニット」または「制御サブユニット」）を含むことができる。いくつかの実施形態では、ユーザからの入力は、オン／オフ状態、除氷／防氷／オフ状態、目標領域の目標温度、および目標領域の目標出力を含むことができるが、これらに限定されない。いくつかの実施形態では、センサからの入力は、電圧、電流、温度、順方向電力

および反射電力、インピーダンス、および氷センサ、スクワットスイッチ、さまざまな航空機ロジックユニットからのデータ、航空電子機器からの情報並びに他の情報などが含まれるが、それらに限定されない。いくつかの実施形態では、プロトコルコンバータユニットはシステム全体に集中配置される。いくつかの実施形態では、目標領域または目標領域のグループごとに1つのプロトコルコンバータ制御ユニットが分散配置される。

【００７５】

いくつかの実施形態では、ユーザ入力は、有線（たとえば、ＡＲＩＮＣ　４２９などのデータ転送標準）を使用して、または無線（たとえば、低エネルギーＢｌｕｅｔｏｏｔｈまたはＷｉ－Ｆｉ接続）を使用して制御ユニットに送信することができる。いくつかの実施形態では、ユーザの入力デバイスは、加熱されるシステムに統合する（たとえば、航空機の除氷システムのコックピットの画面上のコントロールに統合する）か、またはタッチスクリーンタブレット（たとえば、コックピットに取り付けられた別のタブレット、または航空機の除氷システムの場合にはパイロットのタッチスクリーンタブレットに設置された専用アプリケーション）などの別個のデバイスとすることができる。

【００７６】

いくつかの実施形態では、電力制御システム１０４は、バルク媒体に電流を発生させるために、既存の電気バスまたは専用のバッテリーまたは加熱システムの任意の他の電源からの信号を所望の高周波ＡＣ波形に変換する信号変換ユニット（「ＳＴＵ」）または回路を含む。たとえば、航空機のアプリケーションでは、信号変換ユニットは飛行機の電気バスから利用可能なＤＣ電力を受け取り、目的の高周波ＡＣ信号に変換することができる。別の航空機の例では、信号変換ユニットは、航空機の電気バスから利用可能な電力をＡＣ信号の形で受け取り、所望の高周波ＡＣ信号に変換することができる。いくつかの実施形態では、信号変換ユニットは、専用のバッテリーまたは任意の専用の電源（例えば、加熱システムの一部を形成する）から利用可能なＤＣ電力を取り、所望の高周波ＡＣ信号に変換することができる。いくつかの実施形態では、専用のバッテリーまたは電源を、信号変換ユニットと同じエンクロージャおよび／または回路基板内に内蔵することができる。

【００７７】

図７は、電力制御システム１０４のための例示的な信号変換ユニット（「ＳＴＵ」）７００の概略図であり、標準電力への変換（「ＴＳＰ」）７１０およびＡＣ生成（「ＡＣＧ」）７２０の主要サブユニットを含み、これらのサブユニットは、デバイス１００の残部の他の回路７３０に前置される。電力制御システム１０４は、図７に示されるように、既存の電源から電力を引き出すことができる。

【００７８】

図８は、電力制御システム１０４のための例示的な信号変換ユニット（「ＳＴＵ」）８００の概略図であり、ＴＳＰ８１０、ＡＣＧ８２０、および制御サブユニット８３０を含む。

【００７９】

いくつかの実施形態では、ＴＳＰは既存の電源または加熱システムのバッテリーから電力を引き出し、ＡＣＧの動作の改善ならびに信号変換ユニットの電力伝送効率の改善のために、その電力を２５０ＶＤＣなどの標準入力に変換する。

【００８０】

いくつかの実施形態では、既存の電気バスが電力を４００Ｈｚ、１１５ＶＡＣ信号の形でＴＳＰに供給する場合に、ＴＳＰは、出力側にコモンモードチョークなどのフィルタを備えたフライバックコンバータを含み、電磁干渉の到達またはＡＣＧの損傷を防ぐことができる。図９Ａは、フライバックコンバータ９１０およびコモンモードチョーク９２０を含む、例示的なＴＳＰサブユニット９００の概略図である。図９Ｂは、例示的なフライバックコンバータ９１０の概略図である。

【００８１】

いくつかの実施形態では、ＴＳＰは、既存の電源からのＡＣ電力を任意のＤＣ電圧に変換するブリッジ整流器である。いくつかの実施形態では、ＴＳＰはバッテリーまたは既存

の電源（たとえば、航空機の一般的な２８ＶＤＣ）からＤＣ電力を引き出し、それを異なるＤＣ電圧またはＡＣ電圧に変換する。たとえば、ＤＣ－ＤＣ変換は、加熱システムの制御ユニットおよび要素に電力を供給するのに有用であり、その場合には、可能な電圧レベルとして、±３．３Ｖ、±５Ｖ、および/または±１２Ｖが含まれる。最後に、いくつかの実施形態では、電源に応じて力率補正（「ＰＦＣ」）段をＴＳＰの設計に含めることができる。いくつかの実施形態では、ＰＦＣは、必要とされるかもしれない電源の非線形負荷を補正するのに役立ち得る。アクティブおよびパッシブの両方のＰＦＣ段が使用可能である。

【００８２】

いくつかの実施形態では、ＡＣＧはＴＳＰからの入力電力を使用して、それを目的の高周波ＡＣ信号に変換する。いくつかの実施形態では、ＡＣＧは、信号変換ユニットの電力伝達効率を改善するように設計されている。いくつかの実施形態では、ＡＣＧは、電力増幅器またはＡＣまたはＲＦ発生器または発振器を含む。

【００８３】

いくつかの実施形態では、電力増幅器の主電力増幅段は、「線形」または「スイッチング」のいずれかである。これら２つのアーキテクチャ間の関連するトレードオフには、効率、電力処理、および線形性が含まれ得る。線形増幅器の例には、クラスＡ、クラスＢ、およびクラスＣが含まれる。スイッチングアンプの例には、Ｃｌａｓｓ－Ｄ、Ｃｌａｓｓ－Ｅ、およびＣｌａｓｓ－Ｆが含まれる。いくつかの実施形態では、線形増幅器は、スイッチング増幅器と比較して、高い線形性および低い効率を有する。効率が低いと、熱管理が難しくなる、高規格のコンポーネントが必要になる、などの問題が発生する可能性がある。線形性が低いと、高調波成分が増加し、規制順守、効率の低下、物理的および電気的レイアウト設計の困難など、の問題が発生する可能性がある。

【００８４】

いくつかの実施形態では、ＡＣＧはフルブリッジクラスD増幅器を含む。例えば、増幅器の設計は、ゲートドライバで給電されるデュアルＭＯＳＦＥＴトランジスタと所望の周波数を発生する温度補償水晶発振器（「ＴＣＸＯ」）を使用する。図１０Ａは、デュアルＭＯＳＦＥＴトランジスタ、温度制御水晶発振器（「ＴＣＸＯ」）１０２０、およびゲートドライバ１０３０を備えたクラスＤ増幅器１０１０を含む、例示的なＡＣＧサブユニット１０００の概略図である。図１０Ｂは、デュアルＭＯＳＦＥＴを使用する例示的なクラスＤ増幅器の理論的概略図である。いくつかの実施形態では、フルブリッジアーキテクチャは、ハーフブリッジアーキテクチャと比較して、差動（平衡）駆動機能を提供するとともに、所定の負荷の下で所定のバス電圧レベルに対して４倍の電力出力を提供することができる。差動駆動は、期待ウィング構造により提供される平衡負荷状態の下での排出ガスコンプライアンスにも適切であり得る。さらに、いくつかの実施形態では、クラスDアーキテクチャは、他のスイッチングアーキテクチャよりも高いスイッチ利用率を有し得る。

【００８５】

いくつかの実施形態では、Ｃｌａｓｓ－Ｄアーキテクチャ内において、単一周波数ドライブの下で出力パラメータを改善するために、多くの入力パラメータを変更することができる。入力パラメータの例には、デッドタイムが含まれる。出力パラメータの例には、効率、ピーク成分ストレスなどが含まれる。

【００８６】

いくつかの実施形態では、クラスDアーキテクチャは、高いスイッチ利用率を有し、シリコンベースコンポーネントの実装を完成し、それらを潜在的なＡＳＩＣ開発に適したものとすることができる。このような開発では、すべての制御コンポーネントとパワーエレクトロニクスを同じダイまたはＭＣＰ（マルチチップパッケージ）のいずれかに登載するＳｏＣ（システムオンチップ）の実装が可能である。いくつかの実施形態では、クラスDアーキテクチャは、航空機の所定の機能部のさまざまな分散場所に装着されたＳｏＣおよびサポート回路を収容する分散モジュールを有する。

【００８７】

他の実施形態では、シングルスイッチアーキテクチャ、例えばクラスＥまたはクラスＦなどの他のスイッチモード設計が利用される。いくつかの実施形態では、このようなアーキテクチャは、より高いスイッチング周波数実装の可能性があり、ハイサイドゲートドライバが困難または非実用的になり得る。いくつかの実施形態では、高い周波数でのＣｌａｓｓ－Ｄ実装の潜在的な制限のために、周波数の増加につれて、Ｃｌａｓｓ－Ｄ実装の代わりにシングルスイッチアーキテクチャを使用することができる。

【００８８】

いくつかの実施形態では、高調波低減および高調波除去技術をスイッチモード増幅器とともに使用して、一部のスイッチングアーキテクチャに固有の非線形歪みによる悪影響を軽減することができる。たとえば、ベース波形のデューティサイクルの変更、パルスのブランキング、およびその他の手法を使用して、信号生成中に高調波を除去することができる。

【００８９】

いくつかの実施形態では、ＡＣＧはシリコンＭＯＳＦＥＴなどのトランジスタを含む。いくつかの実施形態では、トランジスタは窒化ガリウム（ＧａＮ）ＭＯＳＦＥＴである。特定の実施形態では、ＧａＮトランジスタは、オン抵抗、ターンオンゲート電荷、逆回復電荷などの有利な特性を有する。いくつかの実施形態では、ＧａＮはより高い周波数に適している。

【００９０】

いくつかの実施形態では、ＴＳＰは、既存の電源から電力を引き出し、ＡＣＧを駆動するゲートドライバまたは水晶発振器などの要素に適した電力入力信号に変換するために、リニアレギュレータなどの低電力変換（「ＬＰＣ」）段をさらに含む。図１０Ｃは、例示的なＡＣＧサブユニット１０５０の概略図であり、デュアルＭＯＳＦＥＴトランジスタを備えたクラスＤ増幅器１０１０、温度制御水晶発振器（「ＴＣＸＯ」）１０２０、ゲートドライバ１０３０、およびＬＰＣ１０５０を含む。

【００９１】

いくつかの実施形態では、ＡＣ生成サブユニットは目標領域の近くに配置される。この設計の考えられる利点は、ＡＣ生成サブユニットから調整ネットワークを介して目標領域に交流電流を流すときに発生する損失とエミッションを制限することにある。いくつかの実施形態では、ＴＳＰサブユニットは、ＡＣ生成ユニットの近く、または既存の電源または専用のバッテリーの近くに配置することができる。ＴＳＰがＡＣＧに近いと、ＡＣＧと統合できるため、システム内のモジュールの数とその複雑さを軽減できる可能性がある。ＴＳＰが既存の電源または専用のバッテリーに近い場合、電源またはバッテリーからＡＣＧへの電力伝送を改善（効率を向上しＥＭＩを低減）するように設計することができる。たとえば、既存の電源が４００Ｈｚ、１１５ＶＡＣ電圧の形で電力を供給する場合、ＴＳＰにＡＣ－ＤＣコンバーターを含め、電源電圧を２５０ＶＤＣに変換して、ＡＣ電流によって引き起こされるＥＭＩを低減するとともに、電圧を上げ、ＴＳＰからＡＣＧに流れる電流を減らすことによって効率を高めることができる。

【００９２】

いくつかの実施形態では、制御サブユニットは、デバイス（加熱システム）が開発されている用途で入手可能な関連データの入力に基づいて、信号変換ユニットのステータス、例えばオン/オフモード、電力出力、周波数、およびその他のパラメータなどの、を制御し、ＴＳＰやＡＣＧのドライバなどの他の信号変換サブユニットに制御信号を出力する。航空機用の除氷および防氷加熱システムの例では、いくつかの実施形態では、データ入力として、コックピットスイッチからの手動パイロット入力、機内外の温度センサからの温度、スクワットスイッチからのホイールオンウェイト状態、さまざまな航空機論理ユニット、アビオニクスからの情報、デバイス（加熱システム）自体からのフィードバック情報、およびその他のデータが含まれる。いくつかの実施形態では、制御サブユニットは、リニアレギュレータなどの低電力変換（ＬＰＣ）段で給電されるマイクロコントローラスーパーバイザを含み、既存の電源から電力を引き出し、それを適切な電力入力信号に変換し

、制御信号をＴＳＰとＡＣＧに出力する。図１１は、マイクロコントローラ１１１０および低電力変換ステージ（ＬＰＣ）１１２０を含む例示的な制御サブユニット１１００の概略図である。

【００９３】

いくつかの実施形態では、例えば、航空機に後付けされた除氷加熱システムの場合、信号変換ユニットは、利用可能な電気バスの近くの中央の場所に設置することができる。これにより、設置の複雑さ、労働時間、およびユニットのコストを削減できる。いくつかの実施形態では、信号変換ユニットは分散化され、目標領域の近くに設置される。これにより、ＡＣ信号が移動しなければならない信号変換ユニットと目標領域の間を長さが短縮され、信号の電磁干渉（「ＥＭＩ」）シールドおよびそのようなＡＣ信号を伝送するためのケーブル要件に関連するコストを削減することができる。

【００９４】

いくつかの実施形態では、加熱システムは、加熱システムの出力インピーダンスを所望のレベルに調整するように構成されたインピーダンス調整ネットワーク（「ＩＡＮ」）を有する。例えば、ＩＡＮは、加熱システムの出力インピーダンスを加熱されるバルク媒体の入力インピーダンスに対応するように調整するよう構成することができる。例えば、ＩＡＮは、加熱システムの出力とバルク媒体の入力との間のインピーダンスを互いに所望の範囲内に調整するように構成することができる。いくつかの実施形態では、インピーダンス調整ネットワークは、加熱システムの出力インピーダンスをバルク媒体のインピーダンスに十分に整合するように調整するよう構成される。言い換えると、整合ネットワークは、ＳＴＵ（「ソース」）の出力インピーダンスを、妥当な工学的許容範囲内で目標領域（「負荷」）のインピーダンスに一致するように構成される。いくつかの実施形態では、ソースインピーダンスと負荷インピーダンスを整合させることは、加熱システムのソースインピーダンスを、バルク媒体のインピーダンスの複素共役になるように調整することを含む。いくつかの実施形態では、インピーダンス調整ネットワークは、加熱システムの出力インピーダンスが、加熱されるバルク媒体のインピーダンスの１０から３０％以内になるように調整される。

【００９５】

図１２は、ソース１２１０と負荷１２２０との間の調整ネットワーク１２００の概念図である。図１２は、ＳＴＵの出力にインピーダンス調整された入力ポートを介してＳＴＵ（「ソース」）から入力電力を受け取り、目標領域に対応するようにインピーダンス調整された出力ポートを介して目標領域（「負荷」）に電力を出力する調整ネットワークを示す。

【００９６】

一般に、ＡＣ信号では、ソースの出力インピーダンスが負荷のインピーダンスに対応していない場合、ソースから負荷に送信された信号の一部は、負荷を通過するのではなく、ソースに反射して戻る。いくつかの実施形態では、インピーダンス調整ネットワークは、信号反射および電圧定在波の増大を抑制することによって、いくつかの利点、例えば、

・加熱システムの端子電圧およびアーク放電のリスクの低減
・加熱システムの効率の改善
・ＳＴＵから必要とされる総出力電力の低減、よってＳＴＵのサイズ、重量、およびコストの低減
・システムコンポーネントへのストレスの軽減
・信頼性の向上
・ケーブルおよびバルク媒体の温度勾配の低減

などを達成することができる。

【００９７】

いくつかの実施形態では、ＳＴＵの出力インピーダンスは目標領域のインピーダンスよりも高くなる。その場合、調整ネットワークは、ＳＴＵからの比較的高い電圧および低い電流の電力を、目標領域に供給される比較的低い電圧および高い電流の電力に変換する。

これらの実施形態では、これは、大電流が調整ネットワークの後、従って目標領域の近くでのみ供給されることを意味し、ＳＧＵの残部でのジュール損失を低減し、加熱システムの総合効率を向上する。

【００９８】

さまざまな実施形態では、調整ネットワークは集中配置しても、目標領域全体に分散配置してもよい。調整ネットワークを分散配することで、ケーブルをフィルタとして機能させながら、特定のコンポーネントに対するピーク電圧、ピーク電流、および/または温度の影響を潜在的に下げることができる。分散配置はシステム設計にモジュール性を付加することもでき、これにより、部品の保守性/交換を改善することができる。さらに、分散配置は、システムを敏感な機器や燃料タンクなどの危険な領域を避けて配置することができる。

【００９９】

さらに、いくつかの実施形態では、追加の容量性部品を含め、ネットワーク内の対称中間点を接地することによって調整ネットワークを平衡させることができる。完全な差動ソースによって駆動されると、このネットワークは平衡動作して高い同相信号除去比と優れたノイズ耐性が可能になる。いくつかの実施形態では、そのような平衡は達成されず、調整ネットワークのリターン経路は回路の接地で終端する。

【０１００】

一般に、いくつかの実施形態では、調整ネットワークは、特定のビルディングブロック構成に配置された受動電子部品を含むことができる。たとえば、これらのビルディングブロック構成は、変圧器、Lネットワーク、πネットワーク、Tネットワーク、およびその他の構成を含み得る。図１３Ａ～Ｄは、例示的なインピーダンス調整ネットワークのビルディングブロックの概略図である。

【０１０１】

いくつかの実施形態では、加熱システムの調整ネットワークは受動調整サブユニットを含む。図１４は、受動調整サブユニット１４１０を含む例示的な調整ネットワークユニット１４００の概略図である。いくつかの実施形態では、受動調整サブユニットは、上記の１つまたは複数のビルディングブロック構成、および他の構成を一緒に含むことができる。いくつかの実施形態では、受動調整サブユニットの受動電子部品としては、例えばネットワークの効率を向上させるために、高い品質係数を有するものが選択される。

【０１０２】

いくつかの実施形態では、加熱システムの調整ネットワークは、高品質係数（ｈｉｇｈ－Ｑ）または低品質係数（ｌｏｗ－Ｑ）を持つように設計することができる。高Q調整ネットワークは、高調波信号成分を除去するために使用することができる。高調波成分は線形増幅器の場合よりも高くなる可能性があるため、スイッチング増幅器の設計ではフィルタリングの方が有利であり得る。ただし、高Qネットワークは、部品の公差、外部状態での動作変動、アセンブリの変動、およびシステム内の他の変動に対してより敏感であり得る。したがって、高Ｑシステムは、システムの実装中に実際的な問題を引き起こす可能性がある。たとえば、航空機の翼の除氷システムの場合、システムがＨｉｇｈ－Ｑの場合、インピーダンス調整ネットワークは、小さな摂動（フラップの動きなど）が原因で調子が狂う可能性があり、故障のリスクを生じる。高調波成分を基本駆動周波数外に下げることは、規制証明にとっても、実際の設計上の懸念、例えば、設計内に漂遊信号が含まれること、構成要素に過度のストレスがかかること（ピークまたは時間平均定格内）、制御アルゴリズムの不安定性など、にとっても有益であり得る。場合によっては、動的調整要素を使用することによって、これらの感度の懸念を緩和または除去することさえできる。

【０１０３】

いくつかの実施形態では、加熱システムの調整ネットワークの設計は、送電線の調整概念に基づくことができる。たとえば、調整ネットワークの入力および/または出力でのケーブル接続は、調整ネットワークの一部と見なすことができる。いくつかの実施形態では、適切なケーブル材料、フォームファクタ、寸法、および長さを選択することにより、適

切なインピーダンス調整を実現することができる。

【０１０４】

いくつかの実施形態では、加熱システムの調整ネットワークは、アクティブ調整サブユニットと制御サブユニットを含む動的調整ネットワークである。図１５Ａは、アクティブ調整サブユニット１５１０および制御サブユニット１５２０を含む例示的な調整ネットワークユニット１５００の概略図である。いくつかの実施形態では、アクティブ調整サブユニットは、制御サブユニットによって制御される１つまたは複数の調整ネットワーク構成を含む。いくつかの実施形態では、アクティブ調整ネットワークサブユニットの受動電子部品は、例えばネットワークの効率を向上させるために、高い品質係数を有するものが選択される。いくつかの実施形態では、制御サブユニットは、目標領域との間で送受信される信号から入力データ（順方向電力、反射電力、電圧定在波比など）を受信し、アクティブ調整ネットワークサブユニットを動的に制御して、インピーダンス調整をリアルタイムで調整する。例えば、このような制御は、アクティブ調整ネットワークサブユニットの設計に含まれる調整要素を介して実現することができる。例えば、動的調整要素は、調整可能なコンデンサおよび／または調整可能なインダクタを含み得る。さらに、調整可能な要素の例には、ＰＩＮダイオード、ＢＳＴコンデンサ、ＤＴＣ（ディスクリート調整コンデンサ）、バラクタダイオード、ＭＥＭＳ、強誘電体バラクタ、強磁性コンポーネント、ＹＩＧ調整フィルタなどがある。このようなデバイスの評価中に考慮することができる評価基準の例には、動作周波数範囲、ＤＣ電圧の調整、制御信号の直線性の調整、制御の複雑さ、容量/インダクタンスの調整比、調整速度、品質係数（Ｑ）、スイッチング寿命、パッケージングコスト、電力処理、消費電力、ブレークダウン電圧、直線性、3次インターセプト（ＩＰ３）、統合機能などがある。

【０１０５】

いくつかの実施形態では、目標領域と調整ネットワーク間にフィードバックを備えた制御ユニットを使用すると、目標領域のインピーダンスまたはＳＴＵ出力インピーダンスに影響を与える可能性のある外部の変化、例えば目標領域、加熱システムの場所、システムと目標領域を取り巻く環境の温度や幾何学的構成の変化、およびその他のパラメータなど、にネットワークを適応させることができる。いくつかの実施形態では、調整ネットワークは、既存の電源から電力を引き出し、それを制御サブユニットに適した電力入力信号に変換する線形レギュレータなどの低電力変換（「ＬＰＣ」）段をさらに含む。図１５Ｂは、アクティブ調整サブユニット１５１０、低電力変換段（「ＬＰＣ」）１５６０、および制御サブユニット１５２０を含む、例示的な調整ネットワークユニット１５５０の概略図である。

【０１０６】

いくつかの実施形態では、加熱システムの使用中に可能性のある状況のスペクトルをカバーするすべての構成および環境条件に対して、目標領域に特別のインピーダンス測定を実行することができる。これらの測定により、上記の状況の全スペクトルで適切なインピーダンス調整を可能にする最も狭いインピーダンス範囲に適合した動的調整ネットワークユニットの設計が可能になり得る。いくつかの実施形態では、このような設計は、アルゴリズムの最適化またはコンピューターシミュレーションを使って実行することで、調整ネットワークの重み、複雑さ、およびコストを削減しながら、システムの効率を向上させることができる。

【０１０７】

いくつかの実施形態では、専用ケーブルを加熱システムで使用することができ、該ケーブルは、効率を改善し、目標領域に搬送される電力信号をシールドするために、各段で特別に設計または選択することができる。図１６は、例示的な加熱システムにおけるケーブル段の概略図である。さまざまな実施形態において、加熱システムのケーブルの段はカスタマイズすることができ、例えば電源１６２０とＳＴＵ１６１０の間のケーブル（ケーブル段１）１６３０、ＴＳＰ１６４０とＡＣＧ１６５０サブユニットの間のＳＴＵ内のケーブル（ケーブル段２）１６６０、ＳＴＵ１６１０と調整ネットワーク１６７０の間のケー

ブル（ケーブル段３）１６８０、および調整ネットワーク１６７０と目標領域１６９０の間のケーブル（ケーブル段４）１６９５を含むことができる。

【０１０８】

一般に、加熱システム全体の専用ケーブルの設計には、さまざまな設計上の考慮事項が関係し得る。いくつかの実施形態では、熱に関する考慮事項が関係し得る。たとえば、いくつかの実施形態では、調整ネットワークを目標領域に接続する（または目標領域の近くを通り、場合によっては調整ネットワークに戻る）ケーブルは、ケーブルから目標領域への熱の流れが増加するように固定することができる。これは、電流がケーブルを流れるときに発生する熱の一部が回収され（さもなければ失われる）、熱を発生させることを目的とした目標領域に伝達される場合に有利であり、システムの効率が向上する。

【０１０９】

いくつかの実施形態では、留め具を使用してケーブルを目標領域の近くに配線することができる。このような場合には熱接触を改善するために、熱伝導率の良い熱伝導材料を使用して、ケーブル－留め具－目標領域の界面間のエアギャップを埋めることができる。

【０１１０】

いくつかの実施形態では、ケーブルは目標領域に直接取り付けられる。このような場合には熱接触を改善するために、熱伝導率の高い接着剤を使用して、ケーブルを接触領域に取り付けることができる。さらに、熱伝導率の高い熱界面材料を使用して、ケーブルと目標領域の間に残存エアギャップの一部またはすべてを埋めることができる。

【０１１１】

いくつかの実施形態では、ケーブルが接続するユニット、目標領域、または電源に応じて、異なる形状の断面および異なるケーブルフォームファクタを使用することができる。いくつかの実施形態では、ケーブルは、保護ジャケット（電気絶縁および/または腐食、湿度、極端な温度、摩擦などの環境保護）の有無にかかわらず、主導体のみを含む。この構成は、ＤＣ信号を搬送する、または目標領域に信号を伝送するシステムの部分に有利であり得る。

【０１１２】

いくつかの実施形態では、ケーブルは同軸ケーブルである。同軸ケーブルはシールドを含み、ＡＣ信号の搬送時にＥＭＩ放射を低減し得るとともに任意の信号の搬送時にシステムの周囲のＥＭＩから保護することができる。

【０１１３】

いくつかの実施形態では、ケーブルは三軸ケーブルである。この設計は、任意の信号の搬送時に、より具体的には、例えば調整ネットワークユニットの平衡実施形態の出力の平衡信号の搬送時に、ＥＭＩの保護および絶縁に有益であり得る。

【０１１４】

いくつかの実施形態では、ケーブルは二軸ケーブルである。この設計は、3軸ケーブルによって提供される利点と同様の利点があり得る。

【０１１５】

いくつかの実施形態では、ケーブルが接続するユニット、目標領域、または電源に応じて、異なるケーブル断面形状を使用することができる。

【０１１６】

いくつかの実施形態では、ケーブルの導体の断面は円形の形状を有する。この設計は、同軸/三軸/二軸のフォームファクタの場合、製造コストが比較的低い（非反復エンジニアリングコストが低い）という利点がある。

【０１１７】

いくつかの実施形態では、ケーブルの断面は扁平および／または長方形である。たとえば、この断面は、ケーブルが目標領域に電流を供給するシステムの最終段にとって有利なケーブル形状であり得る。最終段において、長方形の形状は、ケーブル内を循環する電流に及ぼす近接効果および表皮効果の影響を軽減できるため、損失が減少し、システムの効率が向上する。さらに、この形状により、ケーブルに必要な導電性材料の総量が減少し、

システムの重量が減少する可能性があり、これは、航空機の除氷システムの場合に考慮すべき重要な事項である。

【０１１８】

いくつかの実施形態では、ケーブルにより搬送される特定の入力および出力電流と信号に応じて、またその断面形状やその他の要因に応じて、断面のサイズは、動作温度を指定の範囲（たとえば、コンプライアンスのため、およびケーブルの製造に使用される材料により決まる）に制限するためおよびその重量およびサイズを低減するために、選択することができる。

【０１１９】

いくつかの実施形態では、ケーブルが接続するユニット、目標エリア、または電源に応じて、異なるケーブルシールドタイプ（および断面形状）が使用される。

【０１２０】

いくつかの実施形態では、ケーブルはシールドを含まない。これは、ＤＣ電流が搬送される段（したがって、ＥＭＩ抑制要件が低い場合）、およびリターン電流を搬送する必要がない段（例えば、目標領域がリターン電流を搬送し、近くのケーブルが目標領域にその電流を供給する実施形態におけるシステムの後段）において有利である可能性が高い。

【０１２１】

いくつかの実施形態では、単一のシールドが使用される。これは、たとえば、ケーブルをＥＭＩ/ＥＭＣ要件やその他の環境要件に準拠させるのに１つのシールド層で十分な場合に有利である。

【０１２２】

いくつかの実施形態では、２重シールドが使用される。これは、別のシールド層を追加して、たとえば、ＥＭＩ放射をさらに減少させるとともに、ケーブルのＥＭＩ感受性を低下させることができる。

【０１２３】

いくつかの実施形態では、３重以上のシールドが使用される。これは、上記と同様の理由で追加のシールド層が追加される。

【０１２４】

いくつかの実施形態では、特定の目標領域に対して、この領域に電流を供給するケーブルが異なる可能経路をたどるようにしてもよい。

【０１２５】

いくつかの実施形態では、ケーブルは、目標領域の一方の側からもう一方の側へとほぼ直線の経路をたどるだけである。場合によっては、これらの経路は並列であってもよい。いくつかの実施形態では、ケーブルが目標領域を斜めに通過し、目標領域のさまざまな場所で互いに交差してもよい。これは、たとえば、目標領域の表面全体でより均一な熱を生成し、ケーブルが交差する所望の位置に比較的高温のスポットを生成するのに役立つ。

【０１２６】

いくつかの実施形態では、ケーブルはジグザグタイプの経路、曲がりくねった経路、または２Ｄスプライン曲線でモデル化し得る経路をたどる。この設計は、目標領域を流れる電流がたどる経路を長くすることによってシステムの有効性を高め、したがって実効抵抗をさらに高めることができる。これは、たとえば、より高い効率、より低い電流、およびシステムによるより安定したインピーダンス調整を達成するのに役立ち得る。

【０１２７】

いくつかの実施形態では、ケーブル経路の設計は、上記のオプションとその他のオプションの組み合わせに基づいている。

【０１２８】

いくつかの実施形態では、ケーブルの設計、ステージ、および目的に応じて、ケーブルの製造に異なる材料を使用することができる。

【０１２９】

局部電圧、電流、温度、電力、曲げ半径、耐久性の要件、およびその他の基準に応じて

、ケーブルの導体材料を、効率、導電率、重量、コスト、サイズ、および熱的側面が改善されるように選択することができる。

【０１３０】

いくつかの実施形態では、導体材料は、銅、銀、アルミニウム、炭素繊維複合材、チタン、またはそれらの合金からなる。いくつかの実施形態では、導体は前述の材料のいずれかで作られ、導体の表皮の導電性を改善するために銀コーティングなどの他の材料でコーティングされる。

【０１３１】

いくつかの実施形態では、導体は固体材料からなるもの、またはより線としてもよい。例えば、いくつかの実施形態では、エナメルなどの絶縁コーティングを使用することによって、より線をそれぞれ互いに絶縁することができる。たとえば、リッツ線を使用して、ケーブル内の表皮および近接効果の影響を低減することができる。

【０１３２】

いくつかの実施形態（たとえば、同軸/三軸/二軸ケーブル用）では、局部電圧、電流、温度、電力、曲げ半径、耐久性の要件、およびその他の基準に応じて、ケーブルの誘電体材料を、効率（例えば、誘電損失の低減による）、重量、コスト、柔軟性、最大電圧許容差、最大電力許容差、温度定格（ケーブルの高い温度許容および／または高い熱容量および／または低い誘電損失および／または良好な熱伝導性による）が向上するように選択することができる。

【０１３３】

いくつかの実施形態では、伝送線路調整が調整ネットワークユニット内で使用される場合、関連するケーブルは、所望のインピーダンスレベルに到達するように選択された誘電体材料を使用することもできる。例示的な材料には、ポリエチレンおよびテフロンベース材料、ならびに他の材料がある。

【０１３４】

いくつかの実施形態では、局部電圧、電流、温度、電力、曲げ半径、耐久性の要件、およびその他の基準に応じて、ケーブルのジャケット材料が、重量、コスト、柔軟性、最大電圧公差、温度定格、および近くのヒートシンク（たとえば、ヒートシンクとして使用される目標領域）への熱伝導などのパラメータが改善されるように選択される。

【０１３５】

いくつかの実施形態では、伝送線路調整が調整ネットワークの一部として使用される場合、目標インピーダンスレベルに到達するために、その誘電体に加えて、インピーダンス調整に使用されるケーブルの長さを制御することができる。たとえば、目標領域に電流を供給するケーブルは、伝送線路調整システムの一部として使用され、インピーダンス調整のために余分な長さが追加され、より小さなスペースを占めるように局所的にコイル状に巻かれる。

【０１３６】

いくつかの実施形態では、特定の留め技術を使用して、ケーブルをシステムの構造に沿って配線することができる。このような技術は、設置コストおよび時間、システムの重量（必要なワイヤの長さと留め具の重量を減らすことによる）および目標領域に近接するケーブルの所望の電磁効果および熱伝達を改善するために選択することができる。

【０１３７】

いくつかの実施形態では、留め具は、目標領域に電力を供給するケーブルと目標領域との間の距離を縮めるように選択される。この設計は、近接効果をより強力に生成し得る。いくつかの実施形態では、ケーブル－目標領域間距離を短くするために従来のケーブル留め具の設計を選択することができる。

【０１３８】

いくつかの実施形態では、留め具は、ケーブルから目標領域への熱伝導を高めるためにも使用される。

【０１３９】

いくつかの実施形態では、システムの重量とコストを低減するために留め具の材料が選択される。これは、たとえば複合材料を使用することで実現することができる。留め具が目標領域への熱伝導のためにも使用されるいくつかの実施形態では、高い熱伝導率を有する材料（たとえば、通常比較的高い熱伝導率を有する金属材料）が選択される。

【０１４０】

いくつかの実施形態では、留め具をそれらの接着領域に固定するために使用される接着剤は、目標領域への結合強度を高め、長期の結合を確実にするために選択される。接着剤の強度は、結合領域が比較的小さく、結合領域に比較的強い機械的制約が生じる場合に有利である。さらに、締結具がケーブルから目標領域への熱伝導のために使用されるいくつかの実施形態では、熱伝導率の増加のために接着剤も選択される。

【０１４１】

最後に、留め具がケーブルから目標領域への熱伝導のために使用されるいくつかの実施形態では、ケーブルから目標領域への熱の流れを改善するために、ケーブルと留め具と目標領域との間の領域の空隙が十分に熱伝導性の熱界面材料で埋められる。

【０１４２】

いくつかの実施形態では、ケーブルは、バルク媒体などの周囲の構造に接着剤で直接取り付けられ、ケーブルからケーブルが取り付けられた構造へのより良い熱伝達を可能にする。接着剤は、止め具に使用される基準と同様の基準に基づいて選択される。

【０１４３】

いくつかの実施形態では、ケーブルアセンブリの設計は、所定のケーブル経路を２つ以上の別個のブランチのセットに分割することを含む。これは、たとえば、1つの調整ネットワークが複数の目標領域のセットに電流を送る実施形態に有益である。このような実施形態では、1つのケーブルを調整ネットワークの唯一の出力とすることができ、そのケーブルが複数の目標領域に至るように、そのケーブルをそれぞれの目標領域に電流を供給する別々のブランチに分割することができる。いくつかの実施形態では、このような分割は、所定の導体より線をいくつかのより小さなより線に分割するか、分割ケーブルがより線導体を有する場合にはより線のサブセットを別々のブランチのそれぞれに送るか、または電力分割器を使用することによって達成することができる。電力分割器は、ケーブルが分割されて成るブランチのそれぞれに流れる電流、電圧、および電力の量を制御するのに有用である。

【０１４４】

同様に、いくつかの実施形態では、２つ以上のケーブルを少数のケーブルに融合し、融合したすべてのケーブルからの信号を蓄積することができる。このような融合は、所定の導体より線を他のより線に融合するか、異なるより線のサブセットを新しいより線ケーブルに再グループ化するか、またはパワーコンバイナ（たとえば、電力分割器と同じデバイスであるが、逆方向に使用される）を使用することによって実現できる。パワーコンバイナは、ケーブルが結合される各ブランチに流れる電流、電圧、および電力の量を制御するのに役立つ。

【０１４５】

いくつかの実施形態では、加熱システムの各ケーブル段は、独自のケーブル設計上の考慮事項を有する。

【０１４６】

いくつかの実施形態では、電源からＴＳＰサブユニットへの効率的な電力伝送を可能にするためにケーブル段１が選択されている。電源がＤＣ電流を出力するいくつかの実施形態では、ケーブル段１は、適合材料で絶縁された撚り銅線を含み、ＴＳＰサブユニットに供給される電力、電圧、および電流に適した総等価ゲージを有する。電源が４００Ｈｚ、１１５ＶＡＣ信号を出力するいくつかの実施形態では、ケーブル段１は、適合材料で絶縁され且つＴＳＰサブユニットに供給される電力、電圧、および電流に適した総等価ゲージを有する銅撚り線を含む。

【０１４７】

いくつかの実施形態では、ＴＳＰからＡＣＧサブユニットへの効率的な電力伝送を可能にするためにケーブル段２が選択されている。ＴＳＰが２５０ＶＤＣ信号の形で電力を出力するいくつかの実施形態では、ケーブル段２は、適合材料で絶縁され且つＴＳＰサブユニットに供給される電力、電圧、および電流に適した総等価ゲージを有する銅撚り線を含む。

【０１４８】

いくつかの実施形態は、ＳＴＵの出力から調整ネットワークへの高周波ＡＣ電力信号の効率的な電力伝送を可能にするためにケーブル段３が選択され、カスタマイズされる。たとえば、このケーブルは、信号の高周波によって引き起こされる抵抗および電磁損失を低減し、信号の完全性を変える可能性がある外部干渉をシールドし、周囲の機器および材料に影響を与える可能性のあるケーブルからの信号漏洩を防ぐように設計することができる。いくつかの実施形態では、ケーブル段３は、カスタマイズされた同軸ケーブルの形式の高出力、高周波伝送ラインである。いくつかの実施形態では、この同軸ケーブルは、調整ネットワークの入力信号を搬送するコア導体であって、低い抵抗損で電力を搬送するのに十分な外径の撚り銅線よりなるコア導体と、電気絶縁を高めるためおよび高電圧および高温度範囲を維持するために選択されたコアを囲む誘電体と、低い抵抗損で電力を搬送するのに十分な大きさの同等のゲージを有する撚および編組銅で作られたＡＣＧへの信号のリターン経路を提供するシールド導体と、高電圧および高温度範囲を維持するために選択された導電性シールドを絶縁する第１ケーシングと、電導性シールドと同様の外部シールドであるが電流を直接流さず、外部干渉からケーブルを保護し、漏洩を防ぐために使用される外部シールドと、最後に、外部シールドを絶縁する第１ケーシングと同様の第２ケーシングとで作られる。

【０１４９】

いくつかの実施形態では、調整ネットワークから目標領域への高周波大電流のＡＣ電力信号の効率的な伝送を可能にするためにケーブル段４が選択され、カスタマイズされる。いくつかの実施形態では、このケーブルは、調整ネットワークと目標領域の間のインピーダンスを調整し、信号の高周波によって引き起こされる抵抗損失と電磁損失を低減し、信号の完全性を変える可能性のある外部干渉をシールドし、周囲の機器や材料に影響を与える可能性のあるケーブルからの信号漏洩を防止するように設計される。いくつかの実施形態では、ケーブル段４は、カスタマイズされた同軸ケーブルの形式の高電力、高周波および高電流の伝送線路であり、大電流性能を改善し、抵抗損失をさらに減らすために、より大きな導体ゲージおよび直径と、同じ導体の追加の銀コーティングを使用することを除いて、上述したケーブル段3の実施形態と同様である。いくつかの実施形態では、ケーブル段４は、リッツ線の設計に基づいてさらにカスタマイズされる。このような設計の目的は、個別に絶縁され（たとえば、エナメルコーティングを用いて）、完全に対称に撚り合わされるか編まれたブランドから表皮よりも薄い厚さの導体を製造することによって、ケーブルの近接および表皮効果による損失を減らすためである。

【０１５０】

一般に、電極は電流を通す材料を含み、電流をバルク媒体の目標領域に入れたり出したりする。いくつかの実施形態では、電極をバルク媒体に接続するためにコネクタが使用される。コネクタとは、電極をバルク媒体に接続する取付け具を指す。いくつかの実施形態では、電極およびコネクタは、電極とバルク媒体との間の接触抵抗を低減するように設計されている。言い換えると、電極は、所定のリターン経路に対して目標領域の両端間に発生する電位差を滑らかにするように設計されている。この接触抵抗が２つの電極間の目標領域の抵抗よりも高い場合、目標領域に沿ってよりも接触点でより多くの熱が発生し、ほかはすべて等しくなり、加熱システムの加熱効率が低下する。いくつかの実施形態では、同様の理由で、電極およびコネクタは、電極と加熱システムのワイヤ（またはケーブル）との間の接触抵抗を低減するように設計される。いくつかの実施形態では、電極およびコネクタはまた、電磁損失（例えば、電磁放射）を低減するように設計される。

【０１５１】

いくつかの実施形態では、上記の目標の1つ以上を達成するための電極設計の考慮事項として、（１）高い導電性を有する電極材料を選択すること、および（２）電極とバルク媒体との間、および電極とワイヤとの間の「実」接触面積を大きくすることが含まれる。「実」接触面積は電流が1つの材料から別の材料に流れる微細な金属間または材料間の接触を指し、しばしば「aスポット」と呼ばれている。いくつかの実施形態では、コネクタもこれらの目標を達成するように設計される。

【０１５２】

いくつかの実施形態では、電極の材料は、銀、銅、アルミニウム、炭素繊維複合材、チタン、またはそれらの合金を含むことができる。

【０１５３】

いくつかの実施形態では、電極は、バルク媒体に電流を伝送するために使用されるケーブルの一部である。

【０１５４】

いくつかの実施形態では、電極の形状は、特定の目標領域に適合するように、および／または電極とバルク媒体との間の接触抵抗を低減するように、および／または電磁損失を低減するように設計される。

【０１５５】

いくつかの実施形態では、電極は円形である。

【０１５６】

いくつかの実施形態では、電極は、バルク媒体に電流を伝送するために使用されるケーブルの端の形状である。

【０１５７】

いくつかの実施形態では、ライン電極（例えば、長さが幅よりも大きい長方形の電極）が使用される。

【０１５８】

いくつかの実施形態では、薄い厚さ（第３の空間次元）を有する２Ｄスプライン曲線の形状の電極が使用される。

【０１５９】

いくつかの実施形態では、ケーブル導体をコネクタプレートと目標領域との間に挟むことによって目標領域に接続することができる。例えば、目標領域と接触するコネクタプレートの側面の一部をミル加工することができる。ケーブルの導体をこのミル加工された部分に設置することによってケーブル導体を目標領域に接続することができる。この構成により、電極コネクタプレートをケーブル導体の下にクランプまたは接着することができ、目標領域との適切な結合を確保するために接続を曲げる必要がない。

【０１６０】

一般に、電極とコネクタのさまざまな実施と設計上の考慮事項が検討されている。

【０１６１】

図１７は、加熱システム１００用の例示的な円形スタッド電極１７００の写真である。電極は、導電材料（例えば、アルミニウム）で作られたディスク１７１０に結合された円形接地スタッドを含み、その上に、ねじ付き導電部１７２０（例えば、アルミニウム）が取り付けられている。

【０１６２】

いくつかの実施形態では、電極１７００を介して目標領域に接続されるケーブルの導体は、ねじ付き導電部１７２０の周りに巻き付けられ、平らに置かれ、ねじ付き導電部とディスクの両方の表面積のかなりの部分を覆う。いくつかの実施形態では、ナットおよびワッシャーをねじ付き導電部１７２０に使用して、導体をディスク１７１０に押し付け、より高い接触面積およびより低い接触抵抗を保証することができる。

【０１６３】

いくつかの実施形態では、ワッシャー、ケーブル、およびディスク１７１０の間のエアギャップは、電気および／または熱伝導性の熱界面材料で満たされ、ケーブルからスタッ

ド１７００への熱および／または電気伝導率の向上が保証される。
【０１６４】
いくつかの実施形態では、円形スタッド電極１７００は、ケーブルから目標領域へ熱および電気信号を伝導するのに十分な電気的および熱的伝導性の特別に選択された接着剤によって目標領域に取り付けられる。いくつかの実施形態では、接着剤はまた、ナットおよびワッシャーにより生じるトルクに耐えるのに十分な強さも有する。
【０１６５】
いくつかの実施形態では、コネクタは、電極とバルク媒体との間にかなりの圧縮強度が与えられるように、バルク媒体および電極に取り付けられたＵ字形の固定具である。
【０１６６】
いくつかの実施形態では、電極およびコネクタの材料は、それらの重量を減らすように選択することができる。いくつかの実施形態では、電極の材料は、その重量を減らすことに加えて、材料を通る電気および／または熱伝導性を改善するように選択される。改善された伝導性は、ケーブルから目標領域へ流れる電流が電極を通過する電極設計（例えば、円形スタッド、ワンプレート設計）にとって有利であり得る。
【０１６７】
いくつかの実施形態では、コネクタと電極の設計の一部として特定のエンクロージャが含まれる。たとえば、このようなエンクロージャは、熱緩和および/または絶縁、電気絶縁、ＥＭＩシールド、腐食保護、耐震および耐衝撃性、耐久性、外部汚染および沈殿物からの保護などの基準を含む環境条件のために選択できる。
【０１６８】
一般に、電極および／またはコネクタとバルク媒体との間の様々な接着構成（およびそれらの組み合わせ）が考えられている。いくつかの実施形態では、それらの構成は、電極とバルク媒体との間の接触抵抗を低減し、および／または電磁損失を低減する。
【０１６９】
いくつかの実施形態では、電極は、ロウ付け接合を使用してバルク媒体に接続される。図１８Ａは、電極１８０２と、大きなバルク媒体１８０６の一部であるバルク媒体の目標領域１０２との間の例示的なロウ付け接合取付け１８００の概略図である。ロウ付け接合部１８０４を生成するためにロウ付け材料が使用される。例えば、低温ロウ付け溶加材（例えば、ＡＬ８０２）を使用して電極を目標領域にロウ付けし、低抵抗の接点を生成することができる。いくつかの実施形態では、酸化（ロウ付け部位での酸化アルミニウム層の形成）を軽減するために、溶加材はフラックスでコーティングされる。フラックスは、高温で酸化物を溶解し、溶加材が表面を濡らすまで表面が再酸化するのを防ぐ材料である。
【０１７０】
いくつかの実施形態では、電極と目標領域は一緒に加圧および加温下で覆われる。 例えば、いくつかの実施形態では、電極と目標領域との間に圧縮力が加えられる。 理論に拘束されることを望まなければ、圧縮力は、以下の式に従って、電極とバルク媒体との間の接触抵抗を減少させ得る。
【数７】

$$R = \rho\sqrt{\frac{\pi H}{4F}}$$

ここで、ρは接点材料の電気抵抗率、Ｈは接点表面の溶加材のビッカース硬度、およびＦは圧縮または接触力である。
【０１７１】

いくつかの実施形態では、機械的締結コネクタを使用して圧縮力を加えて電極とバルク媒体を接続することができる。図１８Ｂは、電極１８０２と大きなバルク媒体１８０６の一部である目標領域１０２との間の例示的な取付け構成１８２０の概略図である。中実リベット１８２２を使って圧縮力を加えて電極を目標領域に接続する。

【０１７２】

いくつかの実施形態では、真空テープまたは類似の物を使って電極と目標領域との間の接続を加圧密閉することができる。図１８Ｃは、電極１８０２と大きなバルク媒体１８０６の一部である目標領域１０２との間の例示的な取付け構成１８４０の概略図である。電極と目標領域を接続するためにエアシールテープ１８４２が使用される。エアシールが完了した後、吸引装置を使用して電極と目標領域の間に真空を生成し、それによって2つを一緒に圧着することができる。

【０１７３】

いくつかの実施形態では、圧縮力は、電極と目標領域を挟むクランプ、例えばＣクランプを使用して加えることができ、それらの界面での圧力を増加させることができる。

【０１７４】

いくつかの実施形態では、圧縮力は、磁石または磁化表面を使用して加えることができる。いくつかの実施形態では、電極の面または目標領域の面のいずれかが磁化され、磁石と電極および／または接触領域との間の引力が可能になり、所望の圧縮力がもたらされる。いくつかの実施形態では、２つ以上の磁石が使用され、電極および目標領域がそれらの間に挟まれ、磁石間の引力が可能になり、所望の圧縮力がもたらされる。いくつかの実施形態では、電極の面と目標領域の面の両方が磁化され、電極と目標領域との間の引力が可能になり、所望の圧縮力がもたらされる。

【０１７５】

いくつかの実施形態では、圧縮力は、目標領域上またはその近くの表面に接着する外部または内部の圧縮固定コネクタによって加えられ、接着強度を所望の圧縮力に変換する。いくつかの実施形態では、接着剤（例えば、硬化性接着剤）を固定具コネクタと組み合わせて使用することができる。

【０１７６】

いくつかの実施形態では、前述の方法の１つまたは代替技術を使用して、電極を部分的にまたは全体的にバルク媒体に埋め込むことができる。

【０１７７】

いくつかの実施形態では、電極と目標領域との間に導電性材料（例えば、グラフェン）が配置される。

【０１７８】

いくつかの実施形態では、電極を目標領域に接続するために使用されるコネクタ材料は、強度を高めるために選択された接着剤であり、目標領域への長期の結合を確実にする。接着剤の強度は、結合領域が比較的小さく、結合領域に生じる機械的制約が比較的強い場合（例えば、Ｕ字型スタッド電極の場合）に有利であり得る。一実施形態では、電極を接着剤の塗布後に接着剤の硬化のために固定位置に保つ必要がある場合、電極を所定の位置に保つために、接着剤および機械的力を用いる内部または外部／使い捨て固定具を使用することができる。

【０１７９】

いくつかの実施形態では、電極を目標領域に接続するために使用されるコネクタ材料も、ケーブルから目標領域への電流および熱の流れを良くするために、より高い熱伝導率および／または電気伝導率が選択される。例えば、より高い伝導率は、接着剤がケーブル／電極から目標領域へ流れる電流の経路上に位置するように使用電極が取り付けられている場合に、考慮事項になり得る（例えば、使用電極が円形スタッド電極およびワンプレート設計電極の場合）。この目的のために、いくつかの実施形態では、ナノ材料（例えば、ＣＮＴ）が電極とバルク媒体との間に配置される。いくつかの実施形態では、電極の表面および電極と接触するバルク媒体の表面の部分（例えば、目標領域）を、それらの間の「実

際の」接触領域が増加するように処理することができる。

【０１８０】

いくつかの実施形態では、上述の実施形態および他の実施形態と組み合わせて、コネクタ、電極、および目標領域の一部は、電磁損失を低減または除去する材料で覆われる。

【０１８１】

いくつかの実施形態では、上記の方法の任意の組み合わせが任意の電極およびコネクタの実施形態とともに使用される。例えば、図１８Ｄは、電極１８０２とバルク媒体１８０６の目標領域１０２との間の例示的な組み合わせ取付け部１８６０の概略図である。この取付け部は、ロウ付けされた接合部１８０４と中実リベット１８２２を含む。

【０１８２】

いくつかの実施形態では、所望の電流を生成するために物理的な接触が必要とれさないために、システムにコネクタ/ケーブルが必要とされない場合がある。その場合には、いくつかの実施形態では、信号のリターン経路は、調整ネットワークに戻るワイヤの追加部分とすることができる。

【０１８３】

本明細書に記載の加熱システムの実施形態は、航空機の外皮／機体の目標領域に高周波ＡＣ電流を供給することによって（例えば、ジュール熱を発生させて）飛行機の表面から氷を溶かすための除氷／防氷装置として使用することができる。機体の目標領域で発生した熱は、機体の表面に伝導され、機体と氷の境界面を横切って氷内へ対流する。いくつかの実施形態では、氷は完全に溶ける。いくつかの実施形態では、氷の一部（機体と直接接触する層）が溶けて、氷と機体の間に水の層が形成され、氷が滑り落ちるか、機体から機械的に除去され得る。いくつかの実施形態では、氷が存在する前に加熱が生じ、氷の形成を防止する。

【０１８４】

いくつかの実施形態では、氷が溶けると、高周波ＡＣ電流が引き続き供給され、機体内でジュール熱の生成が維持され、その熱が伝導と対流によって表面上に形成された/残存する水に伝わる。

【０１８５】

図１９～図３２は、バルク媒体加熱システムのための電磁エネルギーを搬送し供給するアセンブリの例を提供する。これらのアセンブリ（本明細書では「結合ストリップ」と称する）は、それらが取り付けられたバルク導電媒体と相まって伝送線路と同様に機能するように構成される。例えば、いくつかの実施形態では、結合ストリップの設計によって、バルク媒体自体が、伝送線路を流れる電流と同様に電流を伝導する。結合ストリップは、線路からのＡＣ信号をバルク媒体に電磁的に結合することができ、それにより、バルク媒体内に対応する電流信号を生成する。したがって、事実上、結合ストリップの設計は、バルク媒体を（結合ストリップとの組み合わせで）伝送線路としても動作させるもの、あるいはバルク媒体と結合ストリップが相まって伝送線路のように動作するシステムを形成するものということができ、そのようなものとして分析および設計することができる。

【０１８６】

例えば、上記のように、本開示の実施形態は、導電性媒体（例えば、バルク媒体、導体）内の電流を成形する（例えば、収縮、延長など）ためのメカニズムを、たとえば、表皮効果と近接効果を使って操作することによって、バルク媒体内で熱を生成するように構成することができる。どちらの効果も、加熱すべき導電性媒体に高周波ＡＣ電流を流すことに依存する。表皮効果は、交流電流（「ＡＣ」）は電流密度が導体の表面近くで最大になり、導体の深さが深くなるにつれて減少するように導体内に分布する傾向を利用して電流の流れを抑制する。近接効果は、導体に流れる既存の電流の近くに別のＡＣ電流経路を配置することにより、導体に流れる電流をさらに抑制するために使用することができる。近接効果は、電流経路を長くするようにも作用し得る。結合ストリップは、上記のシステムとプロセスに加えて、そのような効果を生成および制御するために使用することができる。たとえば、結合ストリップは、上記のさまざまな電力制御システムで使用することがで

きる。

【０１８７】

図１９は、例示的な結合ストリップ１９００の断面図である。結合ストリップ１９００は、航空機の外皮１９０２などのバルク媒体に高周波電流信号を供給してバルク媒体を加熱するために使用することができる。結合ストリップ１９００は、バルク媒体１９０２上の第１の誘電体層１９０８、第１の誘電体層１９０８上の導電層１９０４、導電層１９０４上の第２の誘電体層１９０８、および第２の誘電体層１９０８上の導電性シールド層１９０６を含む多層構造を有する。

【０１８８】

第１の誘電体層１９０８は、厚さＤ１を有する。導電層１９０４は、厚さＤ２を有する。第２の誘電体層１９０８は、厚さＤ３を有する。導電性シールド層１９０６は、厚さＤ４を有する。結合ストリップ１９００の全体の厚さはＤ５である。導電層１９０４は、銅、銅合金（例えば、真ちゅうまたは青銅）、銀、銀合金、アルミニウム、アルミニウム合金、チタン、チタン合金、クロム、ニッケル、ニッケル合金、コバルト合金、耐食鋼、グラファイト、またはそれらの組み合わせを含むがこれらに限定されない導電性材料から作ることができる。導電性シールド層１９０６は、銅、銅合金（例えば、真ちゅうまたは青銅）、銀、銀合金、アルミニウム、アルミニウム合金、チタン、チタン合金、クロム、ニッケル、ニッケル合金、コバルト基合金、耐食鋼、グラファイト、またはそれらの組み合わせを含むがこれらに限定されない導電性材料から作ることができる。いくつかの実施形態では、導電性シールド層１９０６は、金属箔（例えば、銅箔またはアルミ箔）または編組金属層として形成することができる。誘電体層１９０８は、カプトン、マイラー、ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）、ポリテトラフルオロエチレン（ＰＴＦＥ）、ゴム、またはそれらの組み合わせを含むがこれらに限定されない誘電体材料から作ることができる。

【０１８９】

いくつかの実装形態では、結合ストリップ１９００は、導電性シールド層の上に保護層を含む。例えば、保護層は、ポリウレタン、ポリフルオリド、塗料、塗料代替フィルム、シーラント、またはそれらの組み合わせの１つまたは複数の層を含むことができるが、これらに限定されない。

【０１９０】

図２０に示されるように、結合ストリップ１９００は、航空機の外皮２０００（例えば、翼）などのバルク媒体の表面に配置され、バルク媒体に電流を供給し、バルク内の電流の流れを生成および成形してバルク媒体を加熱することができる。結合ストリップ１９００は、航空機の外皮２０００の表面に沿って延在し、互いに間隔を置いて配置される。いくつかの実装形態では、１つまたは複数の結合ストリップ１９００は、結合ストリップ（例えば、導電層１９０４）の少なくとも一部をバルク媒体１９０２に導電的に結合する短絡終端を含む。例えば、結合ストリップ１９００は、上述の如き電極で終端し、そこに含まれる導電層１９０４とバルク媒体１９０２との間に閉路（例えば、短絡）を形成することができる。結合ストリップ１９００の終端は、電流が供給される端と反対側（たとえば、電源入力端の反対側）のストリップの遠端である。いくつかの実装形態では、１つまたは複数の結合ストリップ１９００は、開路で終端する。開路終端とは、結合ストリップ１９００の終端が開路のままであり、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかを介して電気的接地に接続されてないことを意味する。いくつかの実装形態では、１つまたは複数の結合ストリップ１９００は、結合ストリップ１９００とバルク媒体１９０２との間に接続されたインピーダンス調整コンポーネント（例えば、回路要素）で終端する。例えば、結合ストリップ１９００は、容量性、抵抗性、または誘導性終端で終端することができる。例えば、コンデンサ、インダクタ、または抵抗器などの回路要素は、結合ストリップ１９００の導電層１９０４とバルク媒体１９０２との間に接続することができる。

【０１９１】

図１９および図２０を参照すると、電力制御システム（例えば、上記の電力制御システム１０４）は、各結合ストリップに電流を供給するために、各結合ストリップの一端に結合される。例えば、電力制御システムからの電源ラインは、各キャリアストリップ１９００の導電層に結合することができ、バルク媒体１９０２（例えば、航空機外皮２０００）の一方または両方を電気的接地に結合することができる。

【０１９２】

電力制御システムは、各キャリアストリップ１９００にＡＣ電流を供給する。例えば、電力制御システムは、１ｋＨｚ～４５０ＭＨｚの周波数でＡＣ電流を供給することができる。いくつかの実施形態では、周波数は１ＭＨｚ～４５０ＭＨｚである。いくつかの実施形態では、周波数は１ｋＨｚ～１ＭＨｚである。電力制御システムは、各結合ストリップ１９００に０．１アンペア～２００アンペアのＡＣ電流を提供するように構成することができる。例えば、電力制御システムの電源および結合ストリップ１９００の電気的配置は、各結合ストリップ１９００に所望の量の電流（例えば、０．１アンペア～２００アンペア）を供給するように構成することができる。一つの一般的な例として、結合ストリップ１９００が互いに直列に電力制御システムに結合される場合、各結合ストリップ１９００に１００アンペアの電流を供給するために１００アンペアの電源を使用することができる。１０個の結合ストリップ１９００が互いに並列に電力制御システムに結合される場合、１００アンペアの電源を使用して、各結合ストリップ１９００に１０アンペアの電流を供給することができる。この例は、各結合ストリップのインピーダンスは同じであることに注意されたい。以下で説明するように、結合ストリップ１９００のインピーダンスは、結合ストリップ間の電流分布を特定の加熱用途に望まれるまたは必要とされるように制御するために、様々な方法で調整することができる。

【０１９３】

航空機外皮１９０２を加熱するためのＡＣ電流は、導電層１９０４を通して提供される。導電層１９０４を通して提供されるＡＣ電流は、図２２Ａ－図２２Ｂに示されるように、航空機外皮１９０２内に（例えば、電磁容量および誘導結合によって）対応する電流を生成する。図２２Ａ～図２２Ｂは、導電性バルク媒体１９０２に取り付けられた例示的な結合ストリップ１９００の動作をシミュレートする電磁有限要素解析（ＦＥＡ）の出力プロット図を示す。バルク媒体１９０２（例えば、航空機の外皮としてシミュレートされる）、導電層１９０４、および導電性シールド層１９０６は、図２２Ａに示されるプロット図に示されている。 図２２Ｂには、結合ストリップ１９００の個々の構成要素は示されておらず、結合ストリップ１９００（一般的に描かれている）およびバルク媒体１９０２のみが示されている。両プロット図に２２０６で示される領域は、背景環境（大気など）を表す。両プロット図は、バルク媒体１９０２に誘導され陰影領域２２０４で示されている電流の正規化密度（A/m^2）を示す。バルク媒体１９０２の電流密度は、バルク媒体１９２０２の表面近くの狭い領域で最大である。さらに、図２２Ａのプロット図は、結合ストリップ１９００の誘電体層内の正規化電界強度（ライトグレーのスケール領域２２０２）を示す。特に、導電性シールド層１９０６は、導電層１９０４を通過する電流によって生成される電界から周囲環境２２０６を遮蔽し、例えば、電磁放射を低減または除去し、結合ストリップ１９００を外部電磁干渉から保護する。バルク媒体１９０２は、例えば、電界を最小化または遮断してシールド層としても機能する。したがって、導電性シールド層１９０６とバルク媒体１９０２は、結合ストリップ１９００の実施形態において、電界を結合ストリップ１９００内（例えば、導電性シールド層１９０６とバルク媒体１９０２との間）に封じ込めるのに役立ち得る。この効果は、加熱システムと他の近くの電気部品との間の電磁干渉を低減または防止する。バルク媒体１９０２と組み合わせた結合ストリップ１９００の実施形態は、ストリップラインタイプの伝送線路に匹敵する動作性能を達成することができる。

【０１９４】

再び図１９を参照すると、バルク媒体へのキャリアストリップ１９００の加熱効果、および各結合ストリップ１９００のインピーダンスは、キャリアストリップの特性、例えば

、様々な層１９０４、１９０６、および１９０８の厚さ、導電層の幅、導電層のレイアウト、各層の材料（それらの誘電率と導電率特性を含む）などを変更することによって、またはインピーダンス調整要素（コンデンサ、インダクタ、抵抗など）を含めることによって、調整することができる。さらに、バルク媒体１９０２に生成される電流の加熱効果は、上記のように、バルク媒体１９０２を通過する加熱電流の近接効果および経路を調整するのにも役立つこれらの特性を変化させることによって変更することもできる。

【０１９５】

例えば、層１９０４、１９０６、１９０８のそれぞれは、一般に０．１ミルから１インチの間、またはいくつかの実施形態では、０．５ミルから１０ミルの間の範囲のそれぞれの厚さ（Ｄ１～Ｄ４）で形成することができる。いくつかの実装形態では、結合ストリップ１９００は、導電層１９０４をバルク媒体１９０２から、および導電層１９０４を導電性シールド層１９０６から、異なる距離離して形成することができる。いくつかの実装形態では、これらの距離は比率で関連付けられる。例えば、結合ストリップ１９００は、誘電体層１９０８の相対的な厚さＤ１およびＤ３が比率で関連付けられるように形成することができる。たとえば、いくつかの実施形態では、Ｄ１：Ｄ３の比率を１：１から１：５の範囲にすることができる。比率Ｄ１：Ｄ３は、例えば、所定の用途に所望の電流密度および／またはインピーダンス値を得るために、他の実施形態では１：１から５：１の範囲に逆転させることができる。一つの例示的な実施形態では、Ｄ１は３ミル、Ｄ２は１ミル、Ｄ３は３ミル、およびＤ４は１ミルである。別の例示的な実施形態では、Ｄ１は７．２ミル、Ｄ２は１．４ミル、Ｄ３は２．４ミル、Ｄ４は１．４ミルである。さらに別の例示的な実施形態では、Ｄ１は１０００ミル、Ｄ２は５０ミル、Ｄ３は５００ミル、およびＤ４は５０ミルである。さらに別の例示的な実施形態では、Ｄ１は１０ミル、Ｄ２は２．５ミル、Ｄ３は５０ミル、およびＤ４は２．５ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は２．４ミル、Ｄ２は１．４ミル、Ｄ３は７．２ミル、Ｄ４は１．４ミルである。さらに他の例では、Ｄ１は１７．６ミル、Ｄ２は９．８ミル、Ｄ３は２４．５ミル、およびＤ４は９．８ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は１００ミル、Ｄ２は２０ミル、Ｄ３は２５０ミル、およびＤ４は２０ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は５．５ミル、Ｄ２は２．５ミル、Ｄ３は９．０ミル、およびＤ４は２．５ミルである。さらに他の例では、Ｄ１は１．５インチ、Ｄ２は０．２５インチ、Ｄ３は２．２インチ、およびＤ４は０．２５インチである。さらに別の例では、Ｄ１は３．８ミル、Ｄ２は２ミル、Ｄ３は３．８ミル、およびＤ４は２ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は２．９ミル、Ｄ２は１．５ミル、Ｄ３は５．８ミル、およびＤ４は２．５ミルである。さらに他の例では、Ｄ１は５ミル、Ｄ２は２．５ミル、Ｄ３は２５ミル、およびＤ４は１．５インチである。さらに別の例では、Ｄ１は１１ミル、Ｄ２は３ミル、Ｄ３は５．５ミル、およびＤ４は３ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は２１ミル、Ｄ２は１．５ミル、Ｄ３は７ミル、およびＤ４は２．５ミルである。さらに他の例では、Ｄ１は１０ミル、Ｄ２は２．５ミル、Ｄ３は２ミル、およびＤ４は２．５インチである。さらに他の例では、Ｄ１は４．５インチ、Ｄ２は０．２５インチ、Ｄ３は１．５インチ、およびＤ４は０．２５インチである。別の例では、Ｄ１は３ミル、Ｄ２は１ミル、Ｄ３は3ミル、Ｄ４は1ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は１０．２ミル、Ｄ２は３．５ミル、Ｄ３は４０．８ミル、およびＤ４は２．５ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は４．８ミル、Ｄ２は０．５ミル、Ｄ３は１４．４ミル、およびＤ４は０．５ミルである。さらに別の例では、D1は15ミル、D2は1.4ミル、D3は3ミル、D4は1.4ミル
である。さらに別の例では、Ｄ１は１１３ミル、Ｄ２は１０ミル、Ｄ３は２８．２５ミル、およびＤ４は１０ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は１２７ミル、Ｄ２は５ミル、Ｄ３は２５４ミル、およびＤ４は１０ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は５３ミル、Ｄ２は１２ミル、Ｄ３は１５９ミル、およびＤ４は１２ミルである。さらに別の例では、D1は13ミル、D2は1.4ミル、Ｄ３は２．６ミル、Ｄ４は１．４ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は２３ミル、Ｄ２は４ミル、Ｄ３は４６ミル、およびＤ４は４ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は１１．５ミル、Ｄ２は２．８ミル、Ｄ３は５７．５ミル、および

Ｄ４は２．８ミルである。さらに別の例では、Ｄ１は１０ミル、Ｄ２は１．４ミル、Ｄ３は２．５ミル、Ｄ４は１．４ミルである。

【０１９６】

さらに、導電層１９０４の幅は、一般に、層全体で数インチまたは数ミルの範囲であり得る。図２１は、結合ストリップ１９００内の導電層１９０４の様々な構成を説明するために、いくつかの例示的な結合ストリップ（実施例１～９）の上面図を示す。図２１の結合ストリップ１９００は、例示のために、導電層１９０４の上の層（例えば、第２の誘電体層および導電性シールド層）が除去された状態で示されている。導電層１９０４の断面積は、その長さに沿って変化させることができる。例えば、導電層１９０４の幅は、結合ストリップ１９００のインピーダンスを調整し、場合によっては、バルク媒体および導電層の電流密度を調整するために、その長さに沿って変化させることができる。実施例１～９は、結合ストリップ１９００の導電層１９０４のいくつかの例示的な幅変化パターンを示す。例えば、結合ストリップ１９００を横切る導電層１９０４の幅は、最大幅と最小幅との間で変化し得る。いくつかの実施形態では、最大幅は最小幅のわずか１．５倍程度である。他の実施形態では、最大幅は最小幅の１００倍にもなる。例えば、実施例１に示される導電層１９０４の幅は、その最大位置（例えば、上端）で１．５インチであり、その最狭位置（例えば、下端）で１インチであり得る。別の例では、実施例１に示される導電層１９０４の幅は、その最大位置（例えば、上端）で１インチであり、その最狭位置（例えば、下端）で１０ミルであり得る。

【０１９７】

いくつかの実装形態では、導電層１９０４の厚さは、その長さに沿って変化し得る。例えば、導電層１９０４の幅は、結合ストリップ１９００のインピーダンスを調整するためにその長さに沿って変化し得る。いくつかの実装形態では、導電層１９０４の厚さおよび幅および材料の両方がその長さに沿って変化し得る。

【０１９８】

いくつかの実装形態では、結合ライン１９００のインピーダンスは、導電層１９０４の長さに沿った１つまたは複数の場所にインピーダンス調整コンポーネント（例えば、コンデンサ、インダクタ、および抵抗器）を含めることによって調整することができる。例えば、導電層を長さに沿っていくつかのセグメントに分割し、それらのセグメントを１つまたは複数のインピーダンス調整コンポーネントで接続することができる。例えば、図２１の結合ストリップの実施例４を参照すると、導電層１９０４は、領域２１０２で２つのセグメントに分割することができ、インピーダンス調整コンポーネント（例えば、コンデンサ、インダクタ、抵抗器、またはそれらの組み合わせ）を各セグメント間に電気的に接続することができる。あるいは、またはさらに、インピーダンス調整構成要素を、導電層１９０４とバルク媒体１９０２または導電性シールド層１９０６のいずれかとの間のシャント要素として、導電層に接続することができる。

【０１９９】

いくつかの実装形態では、導電性シールド層１９０６の幅、厚さ、または両方を、結合ストリップ１９００の長さに沿って変えることができる。いくつかの実装形態では、誘電体層１９０８の幅、厚さ、または両方を、結合ストリップ１９００の長さに沿って変えることができる。例えば、いくつかの実施形態では、導電層１９０４、誘電体層１９０８、および導電性シールド層１９０６の断面積を、ストリップ１９００の長さに沿って変えることができる。

【０２００】

図２３は、結合ストリップ１９００内の導電層１９０４のいくつかの例示的な配置のレイアウト図（レイアウトＡ－Ｅ）を示す。最初に、直線配置（図２１に示される）では、導電層１９０４は、結合ストリップの長さに沿って直線的に延びる。レイアウトＡ－Ｅは、導電層１９０４が非直線パターンまたは経路に沿って延びるように配置された結合ストリップ１９００を示す。具体的には、図２３に示される例は、様々な異なる蛇行パターンに配置された導電層１９０４を示している。図示された蛇行パターンは、導電層１９０４

のセグメントが結合ストリップ１９００の幅方向に互いに並んで位置する。そのような配置は、導電層１９０４の所望の全長を維持しながら、結合ストリップ１９００の全長を短縮することを可能にする。いくつかの用途では、異なる結合ストリップ１９００の導電層１９０４に対して比較的均一な長さを維持することは、異なる長さの結合ストリップ１９００の間で一貫したインピーダンスを維持するのに役立つ。例えば、レイアウトＡおよびＢのそれぞれにおいて、導電層１９０４は、同じ全長に形成することができる。しかしながら、レイアウトＢの結合ストリップ１９００の全長は、（例えば、図２１に示されるような）直線配置の導電層を有する結合ストリップ１９００の長さの半分に短縮することができる。同様に、レイアウトＣの結合ストリップ１９００の全長は、直線配置の導電層を備えた結合ストリップ１９００の長さの３分の１に短縮することができる。さらに、短い長さの結合ストリップ１９００は、航空機本体の空間的に制約のある場所に配置することができる。例えば、レイアウトＡ～Ｅに従って配置された導電層を有する結合ストリップ１９００は、直線導電層の配置を備えた結合ストリップ１９００が長すぎて適合し得ない翼の狭い領域（例えば、翼端）に配置することができる。

【０２０１】

各レイアウトＡ～Ｅは、入力端２３０２から終端２３０４までの非直線経路に沿って配置された導電層１９０４を有する結合ストリップ１９００を示す。レイアウトＡは、２重配置の導電性層１９０４を有する結合ストリップ１９００を示す。レイアウトＡの導電層１９０４は、例えば、入力端２３０２から終端２３０４までのＵ字形の経路に互いに並んで配置された２つのセグメントを含む。図２４Ａは、レイアウトＡによる結合ストリップ１９００のＡ-Ａ′線上の断面図を示す。

【０２０２】

レイアウトＢは、３重配置の導電層１９０４を備えた結合ストリップ１９００を示している。レイアウトＢの導電層１９０４は、例えば、入力端２３０２から終端２３０４までのＳ字形の経路に互いに並んで配置された３つのセグメントを含む。図２４Ｂは、レイアウトＢによる結合ストリップ１９００のＢ－Ｂ′線上の断面図を示す。

【０２０３】

レイアウトＣおよびＤは、４重配置の異なる導電層１９０４を備えた結合ストリップ１９００を示している。レイアウトＣおよびＤのそれぞれの導電層１９０４は、互いに並んで配置された４つのセグメントを含む。レイアウトＣでは、導電層１９０４のセグメントは、例えば、入力端２３０２から終端２３０４まで、Ｍ字形の経路（またはＷ字形の経路）に配置される。レイアウトＤでは、導電層１９０４のセグメントは、たとえば、２重配置を折り返えして並べたものとして配置される。同様の技術を３重配置の導電層１９０４にも適用してそれを折り返して並べて配置することもできる。図２４Ｃは、レイアウトＣおよびレイアウトＤによる結合ストリップ１９００のＣ－Ｃ′線上の断面図を示す。

【０２０４】

レイアウトＥは、導電層１９０４のより一般的な配置を示している。例えば、レイアウトＥは、異なる幅の複数のセグメントが互いに並んで配置されている導電層１９０４の例を示している。さらに、いくつかの実施形態では、導電層１９０４は、レイアウトＥに示されるように、セグメント間の様々な位置でセグメント間の相互接続２３０６を含むことができる。いくつかの実施形態では、結合ストリップ１９００はまた、複数の信号入力端２３０２を含み得る。

【０２０５】

図２５Ａは、結合ストリップ１９００をバルク媒体１９０２に取り付けるための例示的な構成の断面図を示す。図２５Ａは、底面取付け構成を示している。底面取付け構成では、結合ストリップ１９００の底面（例えば、底部誘電体層）とバルク媒体１９０２の表面との間に接着材２５０２が配置される。例えば、接着材は、両面接着剤の層（例えば、両面テープなど）、樹脂、またはエポキシとし得るが、これに限定されない。

【０２０６】

図２５Ｂは、結２合ストリップ１９００をバルク媒体１９０２に取り付けるための別の

例示的な構成の断面図を示す。図２５Ｂは、上面取付け構成を示している。上面取付け構成では、接着剤層２５０４が結合ストリップ１９００の上に塗布されて、結合ストリップ１９００を航空機の外皮１９０２に取り付ける。接着剤層２５０４は、例えば、接着剤塗膜、接着フィルム、またはテープとし得る。

【０２０７】

図２６Ａは、バルク媒体１９０２に設置する前の両面接着底面層を備えた結合ストリップ１９００の断面図であり、図２６Ｂは、バルク媒体１９０２上に設置された図２６Ａの結合ストリップ１９００の断面図である。底面取付け構成などのいくつかの実施形態では、結合ストリップ１９００は接着底面層２６０８を含む。接着底面層は、両面接着材（例えば、両面テープ）から形成することができる。このような実施形態では、両面接着材は、下部誘電体層（例えば、図１９の下部誘電体層１９０８）として機能することができる。いくつかの実装形態では、接着底面層２６０８は、例えば、下部誘電体層１９０８の底面に塗布された接着剤塗膜または接着フィルムとし得る。設置前に、接着底面層２６０８を有する結合ストリップ１９００は、接着底面層２６０８上にライナー２６１０を含み得る。ライナー２６１０は、例えば、剥離層とし得る。例えば、ライナー２６１０は、設置前に接着剤底層２６０８を保護し得る。設置時に、ライナー２６１０は接着剤底層２６０８から除去してその接着面を露出させ、結合ストリップ１９００をバルク媒体１９０２の表面に取り付けることができる。

【０２０８】

いくつかの実装形態では、誘電体層１９０８を導電層１９０４に取り付けるため、および／または導電性シールド層１９０６を誘電体層１９０８に取り付けるために、１つまたは複数の接着層２６０４および２６０６を含めることができる。いくつかの実施形態では、結合ストリップ１９００は、導電性シールド層１９０６の上に保護層２６０２を含む。例えば、保護層２６０２は、ポリウレタン、ポリフルオリド、塗料、塗料代替フィルム、シーラント、またはそれらの組み合わせの１つまたは複数の層を含むことができるが、これらに限定されない。

【０２０９】

いくつかの用途では、非導電性のバルク媒体を加熱する必要があり得る。そのような場合には、本明細書に記載の加熱システムおよび結合ストリップは、そのような場合に非導電性バルク媒体を加熱するように変更することができる。例えば、埋め込み層を結合ストリップ加熱システムとともに使用して、非導電性バルク媒体を加熱することができる。

【０２１０】

図２７Ａ～２７Ｆは、埋め込み結合ストリップの様々な実施形態の断面図を示す。図２７Ａは、図１９の結合ストリップ１９００と同様の結合ストリップ２７００を示す。結合ストリップ１９００と同様に、結合ストリップ２７００は、バルク媒体１９０２上の第１の誘電体層１９０８、第１の誘電体層１９０８上の導電層１９０４、導電層１９０４上の第２の誘電体層１９０８、および第２の誘電体層１９８上の導電性シールド層１９０６、および任意選択の、導電性シールド層１９０６上の保護層２７０６を含む多層構造を有する。保護層２７０６は、上述の保護層２６０２と同様である。結合ストリップ２７００は、非導電性バルク媒体２７０２の表面に取り付けられ、非導電性バルク媒体２７０２はその中に埋め込まれたバルク導電材料２７０４を含むという点で、結合ストリップ１９００とは異なる。例えば、バルク導電材料２７０４は、金属箔、金属テープとして、または非導電性バルク媒体２７０２内に埋め込まれた金属層として形成することができる。例えば、非導電性バルク媒体２７０２は、非導電性バルク媒体２７０２の層間に配置されたバルク導電材料２７０４を有する層状材料（例えば、炭素繊維複合体、ガラス繊維複合体、またはケブラー複合体）であり得る。バルク導電材料２７０４は、銅、銅合金（例、真ちゅうまたは青銅）、銀、銀合金、アルミニウム、アルミニウム合金、チタン、チタン合金、クロム、ニッケル、ニッケル合金、コバルト基合金、耐食鋼、グラファイト、またはそれらの組み合わせなどの導電層から作ることができるが、それらに限定されない。

【０２１１】

図２７Ａ～２７Ｆに示される例のそれぞれにおいて、結合ストリップ２７００の導電層１９０４を通過したＡＣ電流は、非導電性バルク媒体２７０２ではなくバルク導電材料２７０４に加熱電流を生成する。次に、バルク導電材料２７０４で生成された熱は、（例えば、熱伝導により）非導電性バルク媒体２７０２内に伝導する。いくつかの例では、非導電性バルク媒体が多少の導電性挙動を示す場合、バルク導電性材料層に加えて、非導電性部分でも熱が発生する。

【０２１２】

図２７Ｂは、保護層２７０６、導電層１９０４、および誘電体層１９０８のみを含む結合ストリップ２７００の実施形態を示す。結合ストリップ２７００は、導電層１９０４の上に保護層２７０６が配置され、誘電体層１９０８の上に導電層１９０４が配置されている。誘電体層１９０８は、埋め込みバルク導電材料２７０４から、非導電性バルク媒体２７０２の一部によって分離されている。

【０２１３】

図２７Ｃは、非導電性バルク媒体２７０２内に埋め込まれた導電層１９０４を含む結合ストリップ２７００の実施形態を示す。図２７Ｃの結合ストリップ２７００は、保護層２７０６、導電性シールド層１９０６、誘電体層１９０８、および導電層１９０４を含む。結合ストリップ２７００は、保護層２７０６、導電性シールド層１９０６、および誘電体層１９０８が導電層１９０４の上に配置されている。導電層１９０４は、非導電性バルク媒体２７０２内に埋め込まれ、非導電性バルク媒体２７０２の一部によって導電性バルク材料２７０４から離間されている。例えば、導電層１９０４とバルク導電材料２７０４は、それぞれ非導電性バルク媒体２７０２の異なる層の間に配置することができる。

【０２１４】

図２７Ｄは、図２７Ｃに示される結合ストリップ２７００の変形例を示すが、保護層２７０６、導電性シールド層１９０６、および誘電体層１９０８は存在しない。

【０２１５】

図２７Ｅは、図２７Ｄに示される結合ストリップ２７００の変形例を示し、導電層１９０４とバルク導電材料２７０４の幾何学的配置が逆になっている。すなわち、図２７Ｅに示される結合ストリップ２７００の配置では、バルク導電材料２７０４が、導電層１９０４よりも非導電性バルク媒体２７０２の表面の近くに配置されている。

【０２１６】

図２７Ｆは、非導電性バルク媒体２７０２内に埋め込まれた導電層１９０４および導電性シールド層１９０６を含む結合ストリップ２７００の実施形態を示す。図２７Ｆに示される結合ストリップ２７００では、非導電性バルク媒体２７０２の部分（例えば、非導電性バルク媒体２７０２の層）が、導電層１９０４を導電性シールド層１９０６およびバルク導電材料２７０４から分離している。非導電性バルク媒体２７０２が図１９に示される結合ストリップ１９００内の誘電体層１９０８と同様の目的を果たしている。

【０２１７】

図２８は、結合ストリップコネクタ２８０２の１つの実施形態の図を示す。図２８０５は、コネクタ２８０２の回路図である。コネクタ２８０２は、統合インピーダンス調整ネットワーク２８０４を含む。インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、入力信号インターフェース２８０６と結合ストリップ１９００との間に電気的に結合される。例えば、入力信号インターフェース２８０６は、同軸ケーブル接続であり得る。入力信号インターフェース２８０６の入力端子２８１０（例えば、同軸ケーブル接続の中心ワイヤ）は、配線２８０８によって結合ストリップ１９００の導電層１９０４に結合される。入力信号インターフェース２８０６の接地端子２８１４（例えば、同軸ケーブル接続のシールド）は、１つまたは複数の配線２８１２によって、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層１９０６の一方または両方に結合される。

【０２１８】

インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、結合ストリップ１９００の入力インピーダンスを、入力信号インターフェース２８０６で測定される所望のレベルに調整するよう

に構成される。インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、固定または可変インピーダンス調整ネットワークとし得る。例えば、インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、図１２－１５Ｂを参照して説明したインピーダンス調整ネットワークのいずれかとして実装し得る。図２８５０において、インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、接地と結合ストリップ１９００の導電性シールド層１９０６およびバルク媒体１９０２（または非導電性バルク媒体用に実装された場合のバルク導電材料２７０４）のいずれか一方または両方との間に接続された並列コンデンサＣ１として実装される。

【０２１９】

図２９は、結合ストリップコネクタ２９０２の別の実施形態の図を示す。コネクタ２９０２は、例えば、複数の結合ストリップ１９００を一緒にチェーン結合するための２つの入力信号インターフェース２９０６Ａおよび２９０６Ｂを含む。図２９０５は、コネクタ２９０２の回路図である。コネクタ２９０２は、統合インピーダンス調整ネットワーク２９０４を含む。インピーダンス調整ネットワーク２９０４は、入力信号インターフェース２９０６Ａ、２９０６Ｂと結合ストリップ１９００との間に電気的に結合された直列および並列インピーダンス調整要素２９０４Ａ、２９０４Ｂおよび２９０４Ｃを含む。例えば、入力信号インターフェース２９０６Ａおよび２９０６Ｂは、同軸ケーブル接続であり得る。入力信号インターフェース２９０６Ａ、２９０６Ｂのそれぞれの入力端子２２９１０は、結合ストリップ１９００の導電層１９０４に結合され、配線２８０８によって互いに結合される。入力信号インターフェース２９０６Ａ、２９０６Ｂのそれぞれの接地端子２９１４は、１つまたは複数の配線２９１２によって、結合ストリップ１９００のバルク媒体１９０２または導電性シールド層１９０６の一方または両方に結合される。

【０２２０】

図２９５０において、インピーダンス調整ネットワーク２８０４は、接地と結合ストリップ１９００の導電性シールド層１９０６およびバルク媒体１９０２（または非導電性バルク媒体用に実装された場合のバルク導電性材料２７０４）のいずれか一方または両方にとの間に接続された直列コンデンサＣ１および２つのシャントコンデンサＣ２、Ｃ３として実装される。

【０２２１】

図３０は、本開示の実施形態による結合ストリップ１９００を用いる第１の例示的なバルク媒体加熱システム３０００のブロック図である。加熱システム３０００は、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体１９０２（例えば、航空機の翼）に取り付けられた複数の結合ストリップ１９００を含む。各結合ストリップ１９００は、電力制御システム３００２に接続されている。電力制御システム３００２は、上述の電力制御システム１０４の実施形態のいずれかとして実施することができる。電力制御システム３００２は、各ストリップにＡＣ電流を供給する。

【０２２２】

各結合ストリップ１９００の一端（本明細書では「入力端」と呼ばれる）は、コネクタ３００４を介して電力制御システム３００２に結合される。図示の例では、各結合ストリップ１９００の反対側の端（本明細書では、「終端」）は、開路終端３００６または閉路終端３００８のいずれかを有する。結合ストリップ１９００は、隣接する結合ストリップ１９００の各対が異なるタイプの終端を有する交互のパターンで配置される。例えば、各隣接対の一方の結合ストリップ１９００は、その終端に開路終端３００６を備え、他方の結合ストリップ１９００は、その終端に閉路終端３００８を備える。開路終端３００６は、その結合ストリップ１９００の終端は開路のままであり、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかを介して電気的接地に接続されていないことを示す。いくつかの実施形態では、閉路終端３００８は、結合ストリップ１９００の導電層と、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれか一方または両方との間の短絡開路である。いくつかの実施装形態では、閉路終端３００８は容量性終端であり、コンデンサが結合ストリップ１９００の導電層と電気的接地との間に接続される。例えば、コンデンサは、結合ストリップ１９００の導電層と、バ

ルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかとの間に接続される。いくつかの実装形態では、閉路終端３００８は誘導終端であり、インダクタが結合ストリップ１９００の導電層と電気的接地との間に接続される。例えば、インダクタが結合ストリップ１９００の導電層とバルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかとの間に接続される。いくつかの実装形態では、閉路終端３００８は抵抗終端であり、抵抗器が結合ストリップ１９００の導電層と電気的接地との間に接続される。例えば、抵抗器は、結合ストリップ１９００の導電層と、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかとの間に接続される。

【０２２３】

電力制御システム３００２に所望の入力インピーダンスを提供するため、バルク媒体１９０２全体に所望の加熱分布を提供するため、またはそれらの組み合わせを提供するために、相補的な終端タイプを隣接する結合ストリップ１９００に適用することができる。例えば、結合ストリップ１９００は、相補的な終端タイプを有する隣接する結合ストリップ１９００のパターンでバルク媒体１９０２上に設置することができる。例えば、隣接する結合ストリップ１９００の終端は、開路終端３００６と短絡終端（例えば、短絡として実装された閉路終端３００８）との間で交互にすることができる。別の例では、隣接する結合ストリップ１９００の終端は、容量性終端として実装された閉路終端３００８と誘導性終端として実装された閉路終端３００８との間で交互にすることができる。

【０２２４】

図３１は、本開示の実施形態による結合ストリップ１９００を用いる第２の例示的なバルク媒体加熱システム３１００のブロック図である。加熱システム３１００は上記の加熱システム３０００と同様であるが、各結合ストリップ１９００の終端に取り付けられた可変終端３１０６を駆動するように構成された制御システム３１０２が付加されている。可変終端３１０６は、切り替え可能な終端を含む。いくつかの実装形態では、可変終端３１０６は、短絡終端と開路終端との間で切り替わるように構成されている。例えば、可変終端３１０６は、結合ストリップ１９００の導電層と電気的接地との間に結合された制御可能なスイッチを含む。制御可能なスイッチは、電子スイッチ（例えば、トランジスタ、パワーダイオード、サイリスタ、シリコン制御整流器など）または機械的スイッチ（例えば、リレー）として実装することができる。例えば、制御可能スイッチは、結合ストリップ１９００の導電層とバルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかとの間に接続される。制御システムの出力は、制御可能スイッチの制御端子に結合される。

【０２２５】

各結合ストリップ１９００の終端は、制御可能なスイッチを開閉することによって（または電子スイッチをオフまたはオンにすることによって）、開路と短絡回路との間で変えることができる。例えば、制御システム３１０２は、結合ストリップ１９００の可変終端３１０６の動作を制御し、制御可能なスイッチを操作することによって、結合ストリップ１９００の終端タイプを必要に応じて変更してバルク媒体１９０２を加熱する。システム３１０２は、各結合ストリップの可変終端３１０６を独立して制御することができる。いくつかの実施形態では、制御システム３１０２は、結合ストリップの可変終端３１０６のグループ（例えば、ペアまたはより大きなグループ）を互いに同期して制御することができる。いくつかの実施形態では、制御システム３１０２は、１つ以上の結合ストリップ１９００の可変終端３１０６を、一定の間隔で、例えば一定の動作サイクルで、切り替え制御することができる。可変終端３１０６を切り替えるための動作サイクルは、０．０１ＨｚからＨｚの範囲とし得る。

【０２２６】

いくつかの実装形態では、制御システム３１０２は、可変終端３１０６を開路終端と閉路終端との間で交互に切り替えることによって、可変終端３１０６の動作を制御する。例えば、制御システム３１０２は、動作サイクルの前半の間に、可変終端３１０６の半分を

短絡終端に切り替え、可変終端３１０６の半分を開路終端に切り替える。次に、動作サイクルの後半の間、制御システム３１０２は、可変終端３１０６を、開路終端であった終端が閉路終端に及びその逆に切り替えられるように制御する。可変終端３１０６を切り替えるための動作サイクルは、０．０１Ｈｚから１００Ｈｚの範囲とし得る。

【０２２７】

いくつかの実装形態では、隣接する結合ストリップ１９００の各対の可変終端３１０６は、反対のタイプの終端を維持するように制御される。すなわち、制御システム３１０２は、各隣接対の一方の結合ストリップ１９００の終端が開路として構成され、その対の他方の結合ストリップ１９００の終端が開路として構成されるように、可変終端３１０６を制御し、動作サイクルの半分ごとに終端が交互になる。

【０２２８】

制御システム３１０２は、可変終端３１０６の動作を制御するように構成された１つまたは複数のプロセッサまたはマイクロコントローラを備えたコンピューティングデバイスとし得る。例えば、制御システム３１０２はメモリ格納命令（例えば、ソフトウェアコード）を含み、該命令は制御システム３１０２により実行されるとき、可変終端３１０６内の制御可能なスイッチに適切な制御信号を提供する。いくつかの実装形態では、電力制御システム３００２および制御システム３１０２は、共通の電力および制御システムに統合され得る。

【０２２９】

いくつかの実装形態では、可変終端３１０６は、容量性終端と誘導性終端を切り替えるように構成される。例えば、制御可能なスイッチは、結合ストリップ１９００の導電層を接地に接続されたコンデンサに結合するか、結合ストリップ１９００の導電層を接地に接続されたインダクタに結合するかを切り替えるように構成することができる。上述したように、接地は、バルク媒体１９０２または結合ストリップ１９００の導電性シールド層のいずれかを通過することができる。さらに、そのような実施形態では、制御システム３１０２を上記のように操作して、可変終端３１０６を導電性終端と誘導性終端との間で交互に切り替えることができる。

【０２３０】

他の実装形態では、可変終端３１０６は、異なる終端タイプの間で、例えば、開路終端と容量性終端の間で、短絡終端と誘導性終端の間で、開路終端と誘導性終端の間で、短絡終端と容量性終端で、開路終端と抵抗性終端の間で、短絡終端と抵抗性終端の間で、またはそれらの他の組み合わせの間で切り替えるように変更することができる。

【０２３１】

図３２は、本開示の実施形態による結合ストリップを用いる第３の例示的なバルク媒体加熱システム３２００のブロック図である。加熱システム３２００は、隣接する結合ストリップ１９００を交互に駆動するように構成されている。加熱システム３２００は、上記の加熱システム３０００と同様であるが、各結合ストリップの入力端に取り付けられた切り替え可能コネクタ３２０４を駆動するように構成された制御システム３２０２が付加されている。切り替え可能コネクタ３２０４は、関連する結合ストリップ１９００を電力制御システム３００２に接続および切断するように配置された制御可能スイッチを含む。制御可能スイッチは、電子スイッチ（例えば、トランジスタ、電力ダイオード、サイリスタ、シリコン制御整流器など）または機械式スイッチ（例：リレー）として実装することができる。例えば、制御可能なスイッチは、結合ストリップ１９００の導電層と切り替え可能コネクタ３２０４の入力端子との間に接続される。制御システムの出力は、制御可能スイッチの制御端子に結合される。

【０２３２】

制御システム３２０２は、切り替え可能コネクタ３２０４の動作を制御して、結合ストリップ１９００を電力制御システム３００２と交互に接続および切断し、結合ストリップ１９００を効果的にオンおよびオフにする。例えば、制御システム３２０２は、切り替え可能コネクタ３２０４を制御して、結合ストリップ１９００を交互にオンおよびオフにす

ることができる。例えば、制御システム３２０２は、制御可能スイッチを操作することによって、結合ストリップ１９００の切り替え可能コネクタ３２０４の動作を制御して、バルク媒体１９０２を加熱するために結合ストリップ１９００を必要に応じてオフおよびオンにする。 いくつかの実施形態では、制御システム３１０２は、各結合ストリップの可変終端３１０６を独立して制御することができる。いくつかの実装形態では、制御システム３１０２は、結合ストリップのグループ（例えば、ペアまたはより大きなグループ）の可変終端３１０６を互いに同期して制御することができる。いくつかの実施形態では、制御システム３１０２は、１つ以上の結合ストリップ１９００の可変終端３１０６を、一定の間隔で、例えば、通常の動作サイクルに従って、切り替え制御することができる。可変終端３１０６を切り替えるための動作サイクルは、０．０１Ｈｚから１００Ｈｚの範囲とし得る。いくつかの実装形態では、制御システム３２０２は、動作サイクルの前半中に、開路終端３００６を備えた結合ストリップ１９００をオンにし、閉路終端３００８を備えた結合ストリップ１９００をオフにする。次に、動作サイクルの後半中に、制御システム３２０２は、切り替え可能コネクタ３２０４を切り替えて、開路終端３００６を備えた結合ストリップ１９００をオフにし、閉路終端３００８を備えた結合ストリップ１９００をオンにする。

【０２３３】

制御システム３２０２は、可変終端３１０６の動作を制御するように構成された１つまたは複数のプロセッサまたはマイクロコントローラを備えたコンピューティングデバイスとし得る。例えば、制御システム３２０２はメモリ格納命令（例えば、ソフトウェアコード）を含み、該命令は制御システム３２０２により実行されるとき、可変終端３１０６内の制御可能なスイッチに適切な制御信号を提供する。いくつかの実装形態では、電力制御システム３００２および制御システム３２０２は、共通の電力および制御システムに統合し得る。

【０２３４】

本明細書で使用される場合、「垂直」または「実質的に垂直」または「法線」または「実質的に法線」という用語は、許容工学または測定公差範囲内の９０度の角度を成す２つの要素（例えば、線、方向、軸、平面、表面、または構成要素）間の関係を指す。たとえば、方向間の角度が９０度（たとえば、±１～２度）の許容範囲内にある場合、方向は互いに垂直であると見なすことができる。

【０２３５】

本明細書には多くの特定の実施形態の詳細が含まれているが、これらは発明の範囲または主張可能な範囲の制限として解釈されるべきではなく、特定の発明の特定の実施形態に固有の特徴の説明として解釈されるべきである。別個の実施形態の文脈で本明細書に記載されている特定の特徴は、単一の実施形態に組み合わせて実装することもできる。逆に、単一の実施形態の文脈で説明される様々な特徴は、複数の実施形態に別々に、または任意の適切な部分的組み合わせで実装することもできる。さらに、様々な特徴が特定の組み合わせで作用するものとして上記に記載され、最初はそのように主張されていても、主張された組み合わせからの１つまたは複数の特徴は、場合によってはそれらの組み合わせから削除することができ、主張された組み合わせは、部分的組み合わせまたは部分的組み合わせのバリエーションに向けることができる。

【０２３６】

同様に、動作が特定の順序で図面に示されているが、これは、望ましい結果を達成するために、そのような動作は示された特定の順序または順番に実行されること、または図示されたすべての動作が実行されることを要求するものと理解されるべきではない。特定の状況では、マルチタスクと並列処理が有利な場合がある。さらに、上記の実施形態における様々なシステムモジュールおよびコンポーネントの分離は、すべての実施形態においてそのような分離が必要とされるものと理解されるべきではなく、記載されたプログラムコンポーネントおよびシステムは、一般に、単一のソフトウェアおよび／またはハードウェア製品に統合する、または複数のソフトウェアおよび/またはハードウェア製品にパッケ

ージ化することができるものと理解すべきである。

【０２３７】

主題の特定の実施形態が説明されてきたが、他の実施形態が以下の特許請求の範囲に含まれる。例えば、特許請求の範囲に記載されている動作は、異なる順序で実行することができ、それでも望ましい結果を達成することができる。一例として、添付の図に示されているプロセスは、望ましい結果を達成するために、示されている特定の順序または連続した順序を必ずしも必要としない。場合によっては、マルチタスクと並列処理が有利な場合がある。

【０２３８】

添付の特許請求の範囲の実施形態および上記の実施形態に加えて、以下の番号が付けられた実施形態も革新的である。

【０２３９】

実施形態１は、バルク媒体の外面を加熱するためのシステムであり、該システムは、互いに間隔を置いてバルク媒体に取り付けられた２つ以上の結合ストリップを含み、各結合ストリップが、前記バルク媒体の表面に沿って延在し前記バルク媒体と相まって送電線を形成する多層構造を含み、前記多層構造が前記バルク媒体上の第１の誘電体層、前記第１の誘電体層上の導電層、前記導電層上の第２の誘電体層および前記第２の誘電体層上の導電性シールド層を含み、そして、前記結合ストリップのそれぞれの前記導電層と前記バルク媒体に結合された電力制御システムを含み、前記電力制御システムが前記結合ストリップに電流を供給することによって前記バルク媒体の表面を加熱するように構成されている。

【０２４０】

実施形態２は、実施形態１のシステムであり、前記電力制御システムが、１ｋＨｚ～４５０ＭＨｚのＡＣ周波数で結合ストリップに電流を提供するように構成されている。

【０２４１】

実施形態３は、実施形態１または２のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク媒体の１インチ以内に配置されている。

【０２４２】

実施形態４は、実施形態１～３のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、各結合ストリップに０．１アンペア～２００アンペアのＡＣ電流を提供するように構成されている。

【０２４３】

実施形態５は、実施形態１～４いずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層のセグメントが並んで位置する蛇行パターンに配置されている。

【０２４４】

実施形態６は、実施形態１～５のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク媒体から第１の距離だけ離間され、前記導電性シールド層が前記導電層から第２の距離だけ離間され、第１の距離と第２の距離の範囲は１：１～１：５である。

【０２４５】

実施形態７は、実施形態１～５のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク媒体から第１の距離だけ離間され、前記導電性シールド層が前記導電層から第２の距離だけ離間され、第１の距離と第２の距離の範囲は５：１～１：５である。

【０２４６】

実施形態８は、実施形態１～５のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク媒体から第１の距離だけ離間され、前記導電性シールド層が前記導電層から第２の距離だけ離間され、第１の距離と第２の距離の範囲は１：１～５：１である。

【０２４７】

実施形態９は、実施形態１～５のいずれかのシステムであり、前記第１の誘電体層が第１の厚さを有し、前記第２の誘電体層が第２の厚さを有し、第１の厚さと第２の厚さの比

が１：１～１：５である。
【０２４８】
実施形態１０は、実施形態１～５のいずれかのシステムであり、前記第１の誘電体層が第１の厚さを有し、前記第２の誘電体層が第２の厚さを有し、第１の厚さと第２の厚さの比が１：１～5：1である。
【０２４９】
実施形態１１は、実施形態１～１０のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層の長さに沿って変化する横幅を有する。
【０２５０】
実施形態１２は、実施形態１１のシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層の長さに沿って変化する横幅を有し、その横幅が最大幅と最小幅の間で変化し、その最大幅が最小幅の１．５倍～１００倍である。
【０２５１】
実施形態１３は、実施形態１１のシステムであり、前記導電層の横幅が最大幅と最小幅の間で変化し、その最大幅が最小幅の１．５倍～１００倍である。
【０２５２】
実施形態１４は、実施形態１～１３のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が複数のセグメントを含み、セグメントの各対の間に１つまたは複数の回路要素が結合されている。
【０２５３】
実施形態１５は、実施形態１４のシステムであり、前記１つまたは複数の回路要素がコンデンサを含む。
【０２５４】
実施形態１６は、実施形態１～１５のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層の長さに沿って変化する厚さを有する。
【０２５５】
実施形態１７は、実施形態１～１６のいずれかのシステムであり、バルク媒体が、前記結合ストリップのそれぞれと相まって形成された前記送電線のための第２のシールド層を形成する。
【０２５６】
実施形態１８は、実施形態１～１７のいずれかのシステムであり、前記導電層および前記導電性シールド層がそれぞれ、銅、銀、またはアルミニウムのうちの少なくとも１つを含む。
【０２５７】
実施形態１９は、実施形態１～１８のいずれかのシステムであり、前記導電層がチタンを含む。
【０２５８】
実施形態２０は、実施形態１～１９のいずれかのシステムであり、前記導電性シールド層が、銅箔、アルミニウム箔、または編組シールド材料のうちの少なくとも１つを含む。
【０２５９】
実施形態２１は、実施形態１～２０のいずれかのシステムであり、前記第１の誘電体層および前記第２の誘電体層がそれぞれ、カプトンまたはマイラーのうちの少なくとも１つを含む。
【０２６０】
実施形態２２は、実施形態１～２１のいずれかのシステムであり、前記第１の誘電体層および前記第２の誘電体層が、ポリエチレンテレフタレート（ＰＥＴ）、ポリテトラフルオロエチレン（ＰＴＦＥ）、またはゴムのうちの少なくとも１つを含む。
【０２６１】
実施形態２３は、実施形態１～２２のいずれかのシステムであり、前記多層構造が前記導電性シールド層の上に保護層をさらに含む。

【０２６２】
実施形態２４は、実施形態１～２３のいずれかのシステムであり、前記第１の誘電体層が接着剤を含む。
【０２６３】
実施形態２５は、実施形態１～２４のいずれかのシステムであり、前記多層構造が、前記導電層と前記第２の誘電体層との間の第１の接着層と、前記第２の誘電体層と前記導電性シールド層との間の第２の接着層をさらに含む。
【０２６４】
実施形態２６は、実施形態１～２５のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが前記終端で電気的接地への導電路を含む。
【０２６５】
実施形態２７は、実施形態２６のシステムであり、前記電気的接地が前記バルク媒体を含む。
【０２６６】
実施形態２８は、実施形態２６のシステムであり、前記電気的接地が前記少なくとも１つの結合ストリップの前記導電性シールド層を含む。
【０２６７】
実施形態２９は、実施形態１～２８のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの導電層が前記第１の端部で電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが前記導電層と前記終端の電気的接地との間の開路を含む。
【０２６８】
実施形態３０は、実施形態２９のシステムであり、前記電気的接地がバルク媒体を含む。
【０２６９】
実施形態３１は、実施形態２９のシステムであり、前記電気的接地が前記少なくとも１つの結合ストリップの前記導電性シールド層を含む。
【０２７０】
実施形態３２は、実施形態１～３１のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記導電層と前記終端の電気的接地との間に結合された回路要素を含み、前記回路要素が、コンデンサ、インダクタ、または抵抗器のうちの少なくとも１つを含む。
【０２７１】
実施形態３３は、実施形態３２のシステムであり、前記電気的接地が前記バルク媒体を含む。
【０２７２】
実施形態３４は、実施形態３２のシステムであり、前記電気的接地は、前記少なくとも１つの結合ストリップの前記導電性シールド層を含む。
【０２７３】
実施形態３５は、実施形態１～３４のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの隣接する各対の第１の結合ストリップが前記導電層と前記終端の電気的接地との間の開路を交互に含み、前記結合ストリップの各隣接する対のストリップの第２の結合ストリップが前記終端で前記電気的接地への導電路を交互に含む。
【０２７４】
実施形態３６は、実施形態３４のシステムであり、前記電気的接地が前記バルク媒体を

含む。

【０２７５】

実施形態３７は、実施形態３４のシステムであり、前記電気的接地が前記第１および第２の結合ストリップのそれぞれの導電性シールド層を含む。

【０２７６】

実施形態３８は、実施形態３４のシステムであり、前記電力制御システムが、前記結合ストリップの隣接する各対の第１の結合ストリップに電流を供給することおよび前記結合ストリップの隣接する各対の第２の結合ストリップに電流を供給することを交互に行うように構成されている。

【０２７７】

実施形態３９は、実施形態３４のシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの隣接する各対の第１の結合ストリップが前記導電層と前記終端の電気的接地との間に結合されたコンデンサを交互に含み、前記結合ストリップの隣接する各対の第２の結合ストリップが前記導電層と前記終端の電気的接地との間に結合されたインダクタを交互に含む。

【０２７８】

実施形態４０は、実施形態３９のシステムであり、前記電気的接地がバルク媒体を含む。

【０２７９】

実施形態４１は、実施形態３９のシステムであり、前記電気的接地が前記第１および第２の結合ストリップのそれぞれの前記導電性シールド層を含む。

【０２８０】

実施形態４２は、実施形態３９のシステムであり、前記電力制御システムが、前記結合ストリップの隣接する各対の第１の結合ストリップに電流を提供することおよび前記結合ストリップの隣接する各対の第２の結合ストリップに電流を提供することを交互に行うように構成されている。

【０２８１】

実施形態４３は、実施形態３９のシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、各結合ストリップが、前記終端で、前記導電層と前記バルク媒体または前記導電性シールド層の一方または両方との間に結合されたスイッチを含み、第１の状態のとき、前記スイッチが、前記導電層と前記バルク媒体または前記導電性シールド層との間に開路を形成し、第2の状態のとき、前記スイッチが前記導電層と前記電気的接地との間に閉路を形成する。

【０２８２】

実施形態４４は、実施形態４３のシステムであり、前記電気的接地がバルク媒体である。

【０２８３】

実施形態４５は、実施形態４３のシステムであり、前記電気的接地が前記導電性シールド層である。

【０２８４】

実施形態４６は、実施形態１～４５のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の結合ストリップが互いに並列に電気的に結合されている。

【０２８５】

実施形態４７は、実施形態１～４５のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の結合ストリップが互いに直列に電気的に結合されている。

【０２８６】

実施形態４８は、実施形態１～４７のいずれかのシステムであり、前記バルク媒体が、バルク媒体、風力タービンブレード、建物の屋根、または鉄道線路を含む。

【０２８７】
実施形態４９は、構造物の外面を加熱するためのシステムであり、該システムは、非導電性材料から製造され且つ内部に埋め込まれたバルク導電材料を含む加熱すべき構造物と、互いに間隔を置いて前記構造物に取り付けられた２つ以上の結合ストリップであって、各結合ストリップは、前記構造物内に埋め込まれた前記バルク導電材料と相まって送電線を形成する前記構造物に沿って延在する多層構造を含み、前記多層構造は、前記バルク導電材料と重なる導電層および前記バルク導電材料と前記第１の導電層との間の第１の誘電体層を含む、２つ以上の結合ストリップと、前記結合ストリップのそれぞれの前記導電層と前記構造物に結合され、前記構造物の外面を加熱するために前記結合ストリップに電流を供給するように構成された電力制御システムとを含む。
【０２８８】
実施形態５０は、請求項４９に記載のシステムであり、各結合ストリップが前記構造物の表面に沿って延在し、前記多層構造が前記導電層を覆う保護層をさらに含む。
【０２８９】
実施形態５１は、請求項４９に記載のシステムであり、各結合ストリップが前記構造物の表面に沿って延在し、前記多層構造がさらに、前記導電層上の導電性シールド層、前記導電層と前記導電性シールド層との間の第２の誘電体層、および前記導電性シールド層上の保護層を含む。
【０２９０】
実施形態５２は、請求項４９に記載のシステムであり、各結合ストリップの一部が前記構造物の表面に沿って延在し、前記導電層が前記構造物内に埋め込まれ、前記構造物の一部が前記第１の誘電体層を形成し、前記多層構造がさらに、前記導電層上の導電性シールド層、前記導電層と前記導電性シールド層との間の第２の誘電体層、および前記導電性シールド層上の保護層を含む。
【０２９１】
実施形態５３は、請求項４９に記載のシステムであり、前記導電層が前記構造物内に埋め込まれ、前記構造物の第１の部分が前記第１の誘電体層を形成し、前記多層構造がさらに、前記構造物内に埋め込まれ、前記導電層と重なり合う導電性シールド層、および前記構造物の第２の部分によって形成され、前記導電層と前記導電性シールド層との間に配置された第２の誘電体層を含む。
【０２９２】
実施形態５４は、請求項４９に記載のシステムであり、前記導電層が前記構造物内に埋め込まれ、前記構造物の一部が前記第１の誘電体層を形成する。
【０２９３】
実施形態５５は、実施形態４９～５４のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが１ｋＨｚ～４５０ＭＨｚのＡＣ周波数で結合ストリップに電流を提供するように構成されている。
【０２９４】
実施形態５６は、実施形態４９～５５のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク導電材料の１インチ以内に配置されている。
【０２９５】
実施形態５７は、実施形態４９～５６のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、０．１アンペア～２００アンペアのＡＣ電流を各結合ストリップに提供するように構成されている。
【０２９６】
実施形態５８は、実施形態４９～５７のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層のセグメントが互いに並んで位置する蛇行パタ～ンに配置されている。
【０２９７】
実施形態５９は、実施形態４９～５７のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記

バルク導電材料から第１の距離だけ分離され、前記導電性シールド層が前記導電層から第２の距離だけ分離され、第１の距離と第２の距離の比が１：１～１：５である。

【０２９８】

実施形態６０は、実施形態４９～５７のいずれかのシステムであり、前記導電層が前記バルク導電材料から第１の距離だけ分離され、前記導電性シールド層が前記導電層から第２の距離だけ分離され、第１の距離と第２の距離の比が１：１～５：１である。

【０２９９】

実施形態６１は、実施形態４９～６０のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層は、その導電層の長さに沿って変化する横幅を有する。

【０３００】

実施形態６２は、実施形態６１のシステムであり、前記導電層の横幅が最大幅と最小幅との間で変化し、最大幅が最小幅の１．５倍～１００倍である。

【０３０１】

実施形態６３は、実施形態４９～６２のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が複数のセグメントを含み、これらのセグメントの各対の間に１つまたは複数の回路要素が結合されている。

【０３０２】

実施形態６４は、実施形態６３のシステムであり、１つまたは複数の回路要素がコンデンサを含む。

【０３０３】

実施形態６５は、実施形態４９～６４のいずれかのシステムであり、前記結合ストリップの少なくとも１つの前記導電層が、その導電層の長さに沿って変化する厚さを有する。

【０３０４】

実施形態６６は、実施形態４９～６５のいずれかのシステムであり、前記バルク導電材料は、前記結合ストリップのそれぞれと相まって形成された前記送電線のための第２のシールド層を形成する。

【０３０５】

実施形態６７は、実施形態５１～５３のいずれかのシステムであり、前記導電層および前記導電性シールド層がそれぞれ、銅、銀、またはアルミニウムのうちの少なくとも１つを含む。

【０３０６】

実施形態６８は、実施形態４９～６７のいずれかのシステムであり、前記導電層がチタンを含む。

【０３０７】

実施形態６９は、実施形態５１～５３のいずれかのシステムであり、前記導電性シールド層が、銅箔、アルミホイル、または編組シールド材料のうちの少なくとも１つを含む。

【０３０８】

実施形態７０は、実施形態４９～６９のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが前記終端で前記導電層と前記バルク導電材料の間に結合された導電経路を含む。

【０３０９】

実施形態７１は、実施形態４９～７０のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記終端で前記導電層と前記バルク導電材料との間の開路を含む。

【０３１０】

実施形態７２は、実施形態４９～７１のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記終端で前記

導電層と前記バルク導電材料との間に結合された回路要素を含み、前記回路要素は、コンデンサ、インダクタ、または抵抗器のうちの少なくとも１つを含む。

【０３１１】

実施形態７３は、実施形態４９～７２のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップが、前記終端で前記導電層と前記バルク導電材料との間の開路を交互に含み、隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップが、前記終端で前記導電層と前記バルク導電材料との間の導電路を交互に含む。

【０３１２】

実施形態７４は、実施形態７３のシステムであり、前記電力制御システムが、前記隣接する各対の第１の結合ストリップに電流を提供することおよび前記隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップに電流を提供することを交互に行うように構成されている。

【０３１３】

実施形態７５は、実施形態４９～７４のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記隣接する各対の第１の結合ストリップが、前記第１の終端で、前記導電層と前記終端の電気的接地との間に結合されたコンデンサを交互に含み、前記隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップが、前記第１の終端で、前記導電層と前記バルク導電材料との間に結合されたインダクタを交互に含む。

【０３１４】

実施形態７６は、実施形態７５のシステムであり、前記電力制御システムが、前記隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップに電流を供給することおよび隣接する各対の結合ストリップの第２の結合トリップに電流を供給することを交互に行うように構成されている。

【０３１５】

実施形態７７は、実施形態４９～７６のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記終端で電気的接地への導電経路を含む。

【０３１６】

実施形態７８は、実施形態７７のシステムであり、前記電気的接地が前記導電性バルク材料を含む。

【０３１７】

実施形態７９は、実施形態７７のシステムであり、前記電気的接地が前記少なくとも１つの結合ストリップの導電性シールド層を含む。

【０３１８】

実施形態８０は、実施形態４９～７９のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記終端で前記導電層と前記電気的接地との間の開路を含む。

【０３１９】

実施形態８１は、電実施形態８０のシステムであり、前記電気的接地が前記導電性バルク材料を含む。

【０３２０】

実施形態８２は、実施形態８０のシステムであり、前記電気的接地が、前記少なくとも１つの結合ストリップの前記導電性シールド層を含む。

【０３２１】

実施形態８３は、実施形態４９～８０のシステムであり、各結合ストリップが第１の端

部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、前記結合ストリップの少なくとも１つが、前記終端で前記導電層と電気的接地との間に結合された回路要素を含み、前記回路要素は、コンデンサ、インダクタ、または抵抗器のうちの少なくとも１つを含む。

【０３２２】

実施形態８４は、実施形態７１のシステムであり、前記電気的接地が前記導電性バルク材料を含む。

【０３２３】

実施形態８５は、実施形態７１のシステムであり、前記電気的接地が前記少なくとも１つの結合ストリップの前記導電性シールド層を含む。

【０３２４】

実施形態８６は、実施形態４９～８５のシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップが前記終端で前記導電層と電気的接地との間の開路を交互に含み、隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップが前記終端で前記導電層と前記電気的接地との間に結合された導電経路を交互に含む。

【０３２５】

実施形態８７は、実施形態８７のシステムであり、前記電力制御システムが、前記隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップに電流を提供することおよび前記隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップに電流を提供することを交互に行うように構成されている。

【０３２６】

実施形態８８は、実施形態４９～８７のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップが、前記終端で前記導電層と電気的接地との間に結合されたコンデンサを交互に含み、隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップが、前記終端で前記導電層と前記電気的接地との間に結合されたインダクタを備える。

【０３２７】

実施形態８９は、実施形態８８のシステムであり、前記電気的接地が前記導電性バルク材料を含む。

【０３２８】

実施形態９０は、実施形態８８のシステムであり、前記電気的接地が前記第１および第２の結合ストリップのそれぞれの導電性シールド層を含む。

【０３２９】

実施形態９１は、実施形態８８のシステムであり、前記電力制御システムが、前記隣接する各対の結合ストリップの第１の結合ストリップに電流を提供することおよび前記隣接する各対の結合ストリップの第２の結合ストリップに電流を提供することを交互に行うように構成されている。

【０３３０】

実施形態９２は、実施形態５１～５３のいずれかのシステムであり、各結合ストリップが第１の端部および終端を含み、各結合ストリップの前記導電層が前記第１の端部で前記電力制御システムに結合され、各結合ストリップが、前記終端で、前記導電層と前記バルク導電材料または前記導電性シールド層の一方または両方との間に結合されたスイッチを含み、第１の状態のとき、前記スイッチが、前記導電層と前記バルク導電材料または前記導電性シールド層との間に開路を形成し、第2の状態のとき、前記スイッチが前記導電層と前記電気的接地との間に閉路を形成する。

【０３３１】

実施形態９３は、実施形態９２のシステムであり、前記電気的接地が前記導電バルク材

料を含む。
【０３３２】
実施形態９４は、実施形態９２のシステムであり、前記電気的接地は、前記第１および第２の結合ストリップのそれぞれの導電性シールド層を含む。
【０３３３】
実施形態９５は、実施形態４９～９４のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の結合ストリップが互いに並列に電気的に結合されている。
【０３３４】
実施形態９６は、実施形態４９～９５のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の結合ストリップが互いに直列に電気的に結合されている。
【０３３５】
実施形態９７は、実施形態４９～９６のいずれかのシステムであり、前記構造物が航空機の外皮、風力タービンブレード、建物の屋根、または鉄道線路を含む。
【０３３６】
実施形態９８は、バルク媒体加熱システムを設置する方法であり、この方法は、各々が、第１の誘電体層と、前記第１の誘電体層と重なる導電層と、前記導電層と重なる導電性シールドと、前記導電層と前記導電性シールド層との間の第２の誘電体層とを含む多層構造を含む、複数の結合ストリップを取得するステップと、各結合ストリップをバルク媒体の表面に互いに間隔を置いて配置し、各結合ストリップの前記第１の誘電体層が前記バルク媒体と前記導電層との間に位置する状態で取り付けるステップと、各結合ストリップの前記導電層を、結合ストリップに電流を供給するように構成された電力制御システムに結合するステップと、を含む。
【０３３７】
実施形態９９は、実施形態９８の方法であり、前記第１の誘電体層が両面接着剤を含み、各結合ストリップをバルク媒体の表面に取り付けるステップは、結合ストリップごとに、前記両面接着剤からライナーを除去してその接着面を露出させ、その接着面をバルク媒体の表面に接着することを含む。
【０３３８】
実施形態１００は、実施形態９８または９９のいずれかの方法であり、各結合ストリップをバルク媒体の表面に取り付けるステップは、結合ストリップごとに、前記結合ストリップ上に接着最上層を塗布し、前記接着最上層が前記結合ストリップの幅を横切って延在し、前記接着最上層の側端部が前記結合ストリップの両側で前記バルク媒体の部分に接触し、接着することを含む。
【０３３９】
実施形態１０１は、実施形態９８～１００のいずれかの方法であり、各結合ストリップを前記バルク媒体の表面に取り付けるステップは、結合ストリップごとに、接着剤を前記バルク媒体の表面に塗布し、前記結合ストリップの前記第１の誘電体層を前記接着剤に接着することを含む。
【０３４０】
実施形態１０２は、実施形態９８～１０１のいずれかの方法であり、前記バルク媒体は、航空機の外皮、風力タービンブレード、建物の屋根、または鉄道線路を含む。
【０３４１】
実施形態１０３は、バルク媒体を加熱するためのシステムであり、互いに間隔を置いてバルク媒体に結合された２つ以上の電極と、前記電極に結合された電力制御システムとを含み、前記電力制御システムが、前記電極間の電流経路に沿って電流密度を成形し、それにより、バルク媒体の電流経路に沿って、ＤＣ電流に対するバルク媒体の抵抗よりも大きい実効抵抗を生成することによって、バルク媒体を加熱するように構成され、前記電力制御システムが、電流の表皮深さを調整することによりバルク媒体の深さ内の電流の密度を成形し、前記電力制御システムが、電流の近接効果を調整することにより前記電流経路を横切る方向の電流の密度を成形する。

【０３４２】
実施形態１０４は、実施形態１０３のシステムであり、前記バルク媒体が航空機の一部である。
【０３４３】
実施形態１０５は、実施形態１０３または１０４のいずれかのシステムであり、前記バルク媒体が、航空機の翼の一部、航空機の尾翼の一部、または航空機の胴体の一部のうちの１つまたは複数である。
【０３４４】
実施形態１０６は、実施形態１０３～１０５のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の電極が２つ以上の電極の第１のセットであり、前記システムは、前記システムの異なる部分に結合された２つ以上の電極の第２のセットをさらに含み、前記電力制御システムが、前記第２のセットの２つ以上の電極に結合され、前記第１のセットの２つ以上の電極と前記第２のセットの２つ以上の電極に交互に電力を供給するように構成されている。
【０３４５】
実施形態１０７は、実施形態１０３～１０６のいずれかのシステムであり、前記バルク媒体がアルミニウムまたは炭素繊維複合材を含み、前記２つ以上の電極がアルミニウム、銀、または銅を含む。
【０３４６】
実施形態１０８は、実施形態１０３～１０７のいずれかのシステムであり、前記２つ以上の電極が前記バルク媒体に、前記電極と前記バルク媒体との間の接触抵抗を低減する方法で結合されている。
【０３４７】
実施形態１０９は、実施形態１０８のシステムであり、導電材料が前記２つ以上の電極のうちの少なくとも１つと前記バルク媒体との間に配置されている。
【０３４８】
実施形態１１０は、実施形態１０３～１９０のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、１ｋＨｚを超えるＡＣ周波数でバルク媒体に電流を生成することによって電流の表皮深さを調整するように構成されている。
【０３４９】
実施形態１１１は、実施形態１１０のシステムであり、ＡＣ周波数が１００ｋＨｚ～４５０ＭＨｚである。
【０３５０】
実施形態１１２は、実施形態１０３～１１１のいずれかのシステムであり、前記電流の近接効果が、第２の電流経路を前記バルク媒体の表面に近接して前記電流経路の一部に沿って配置することによって調整される。
【０３５１】
実施形態１１３は、実施形態１１２のシステムであり、前記第２の電流経路の少なくとも一部が、前記バルク媒体の表面から１０ｃｍ以内に配置されている。
【０３５２】
実施形態１１４は、実施形態１１２のシステムであり、前記第２の電流経路が、前記２つ以上の電極と前記電力制御システムを含む閉回路を完成させるケーブルである。
【０３５３】
実施形態１１５は、実施形態１０３～１１４のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、該電力制御システムの出力インピーダンスを調整するように構成されたインピーダンス調整ネットワーク（ＩＡＮ）を含む。
【０３５４】
実施形態１１６は、実施形態１１５のシステムであり、前記ＩＡＮが、前記バルク媒体のインピーダンスと一致するように電力制御システムの出力インピーダンスを調整するように構成されている。
【０３５５】

実施形態１１７は、実施形態１０３～１１６のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、電源からの電力を前記電力制御システムで使用するための適切なＡＣ周波数および電圧に変換するように構成された信号変換回路を含んでいる。

【０３５６】

実施形態１１８は、実施形態１０３～１１７のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、該電力制御システムの動作を制御するように構成されたコントローラを含んでいる。

【０３５７】

実施形態１１９は、実施形態１０３～１１８のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、前記電極間の電流経路の全長を延長するために前記電流の近接効果を使用して前記電極間の電流経路のルートを成形する。

【０３５８】

実施形態１２０は、実施形態１０３～１１９のいずれかのシステムであり、前記電力制御システムが、前記バルク媒体の表面に近接して第２の電流経路を配置することによって前記電極間の電流経路のルートを成形し、前記第２の電流経路は前記電極間の電流経路の所望のルートに従って配置されている。

【０３５９】

実施形態１２１は、互いに間隔を置いて配置され、バルク媒体に結合された２つ以上の電極と、前記電極に結合され、前記電極間のバルク媒体を通る電流経路に沿って、１ｋＨｚより高く３００ＧＨｚより低い周波数でＡＣ電流信号を生成するように構成された電力制御システムと、前記バルク媒体の表面に近接して、前記バルク媒体を通る電流経路に沿って配置された第２の電流経路とを含む、システム。

【０３６０】

実施形態１２２は、航空機の除氷および防氷システムであり、互いに間隔を置いて配置され、航空機の一部に結合された２つ以上の電極と、前記電極に結合された電力制御システムとを含み、該電力制御システムは、前記電極間の前記航空機の部分を通る電流経路に沿って１ＭＨｚ～５０ＭＨｚの周波数でＡＣ電流信号を生成することによって、前記周波数が前記電流経路に沿って電流の表皮厚さを調整することで前記電流の密度を第1の方向に成形せしめること、および、前記航空機の部分を通る電流経路の少なくとも一部に沿って、前記航空機の部分の表面から１０ｃｍ以内に近接配置された第２の電流経路を設けることによって、前記航空機の部分の表面に対する第２の電流経路の近接配置が前記電流経路の一部分に沿って電流の近接効果を調整することで前記電流の密度を第２の異なる方向に成形せしめることによって、前記電極間の航空機の部分を通る電流経路に沿って電流密度を成形することにより前記航空機の部分を加熱するように構成されている。

【図面】

【図１】

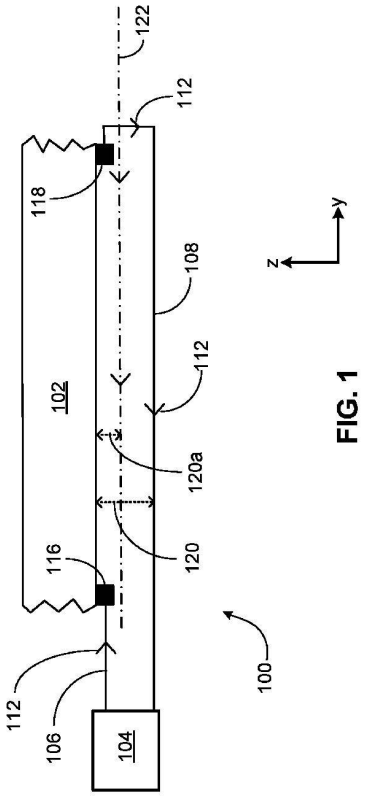
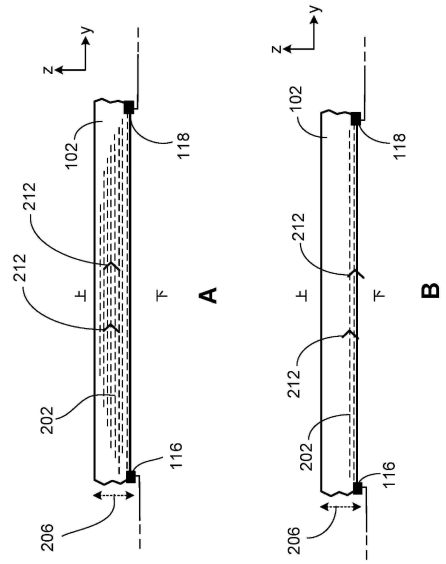
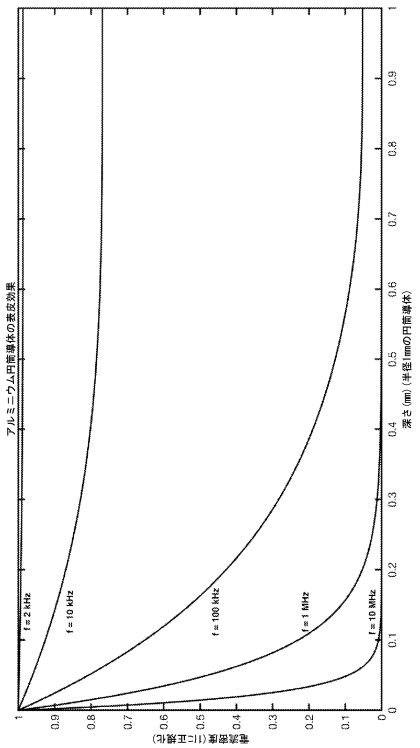


FIG. 1

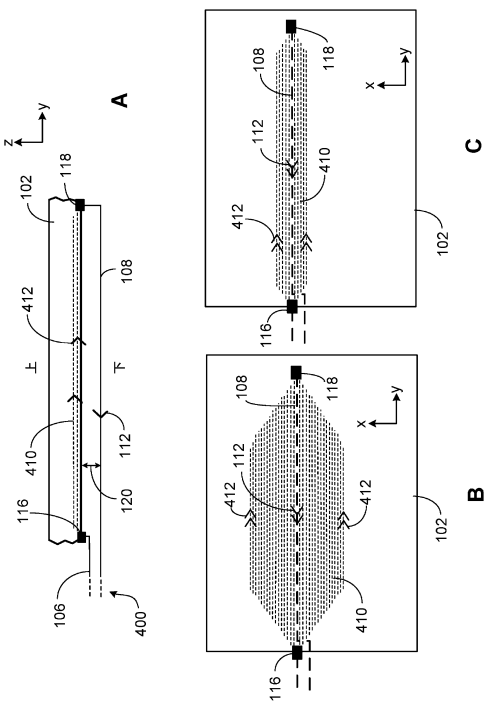
【図２】



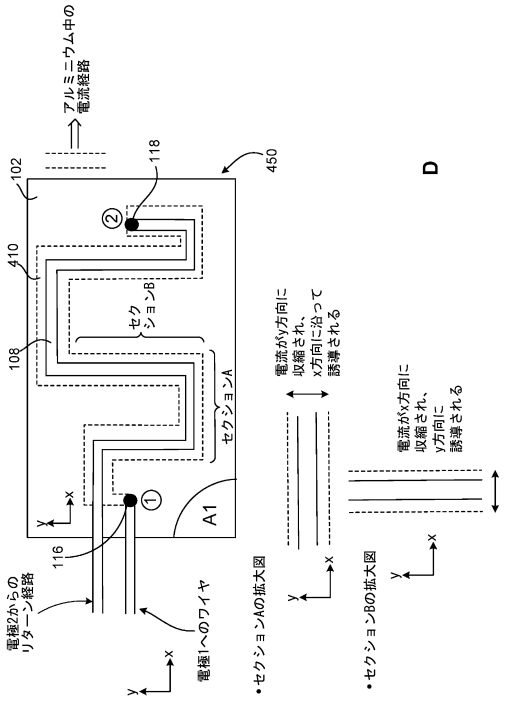
【図３】



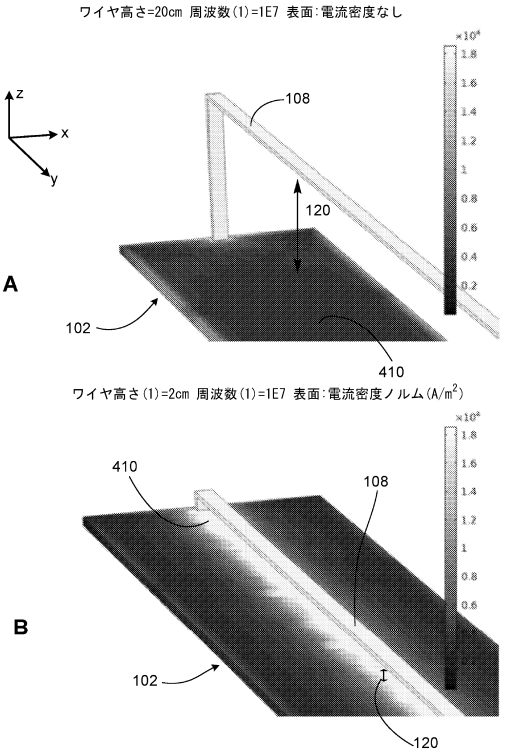
【図４－１】



【図４－２】



【図５】



【図６Ａ】

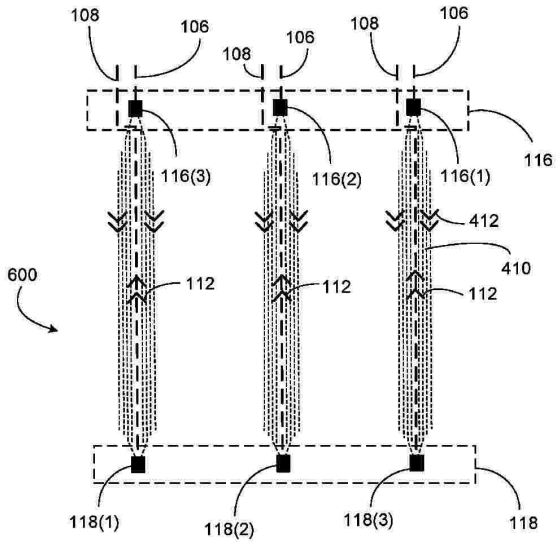


FIG. 6A

【図６Ｂ】

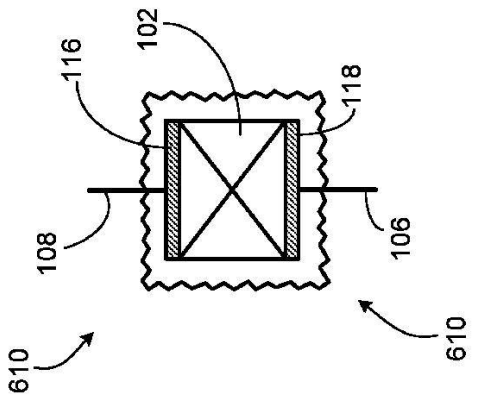


FIG. 6B

【図６Ｃ】

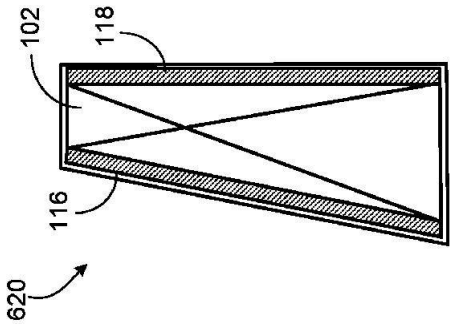


FIG. 6C

【図６Ｄ】

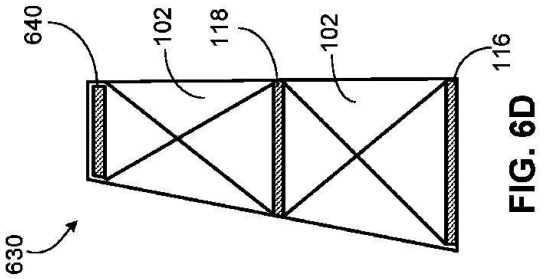
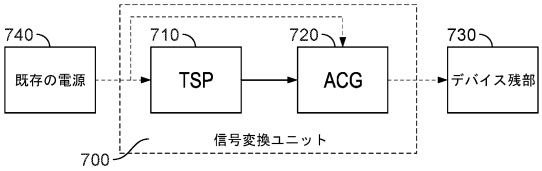
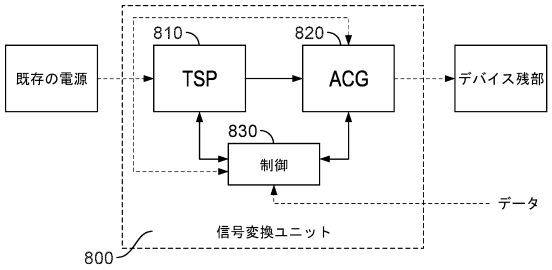


FIG. 6D

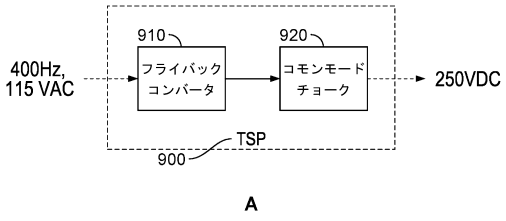
【図７】



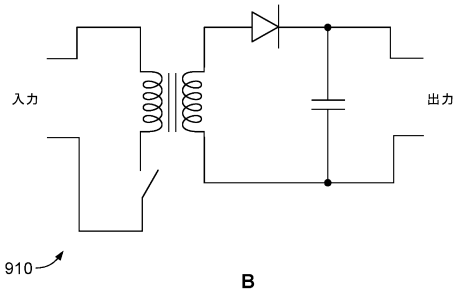
【図８】



【図９】

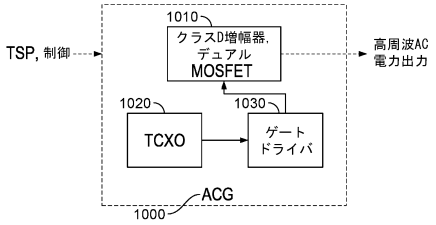


A

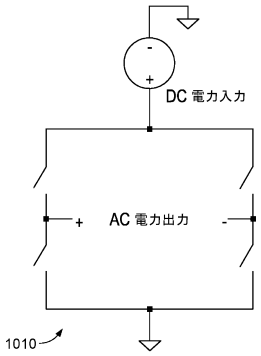


B

【図１０－１】

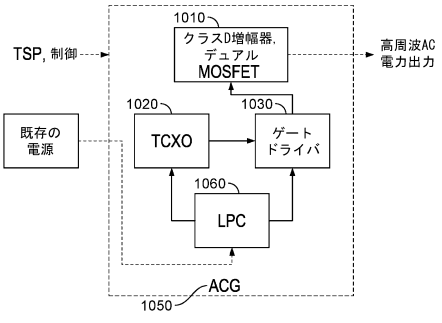


A



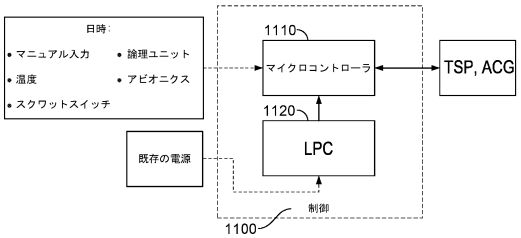
B

【図１０－２】

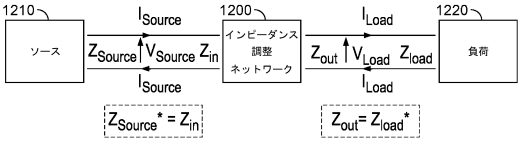


C

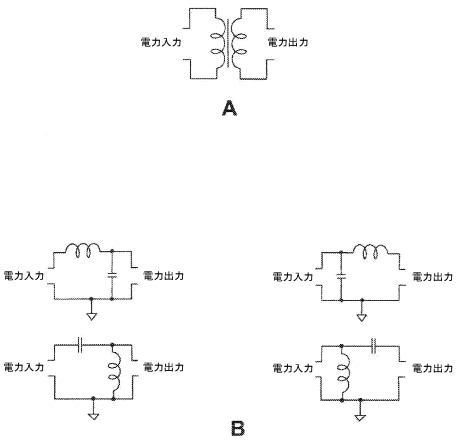
【図１１】



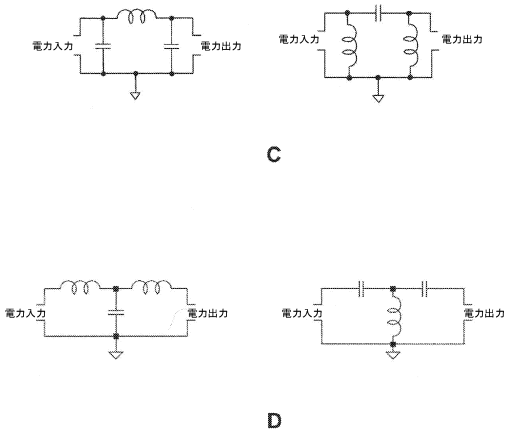
【図１２】



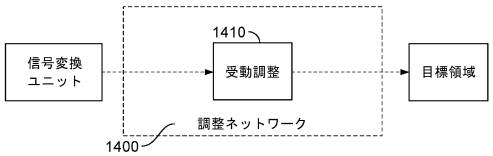
【図１３－１】



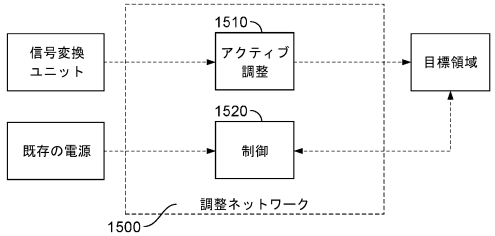
【図１３－２】



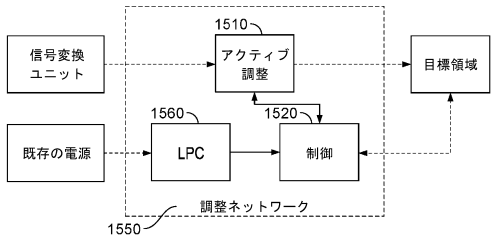
【図１４】



【図１５】

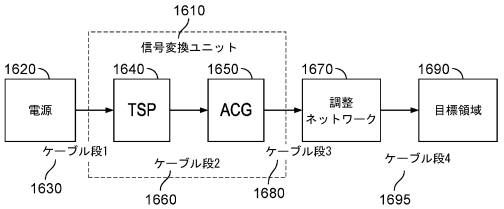


A



B

【図１６】



【図１７】

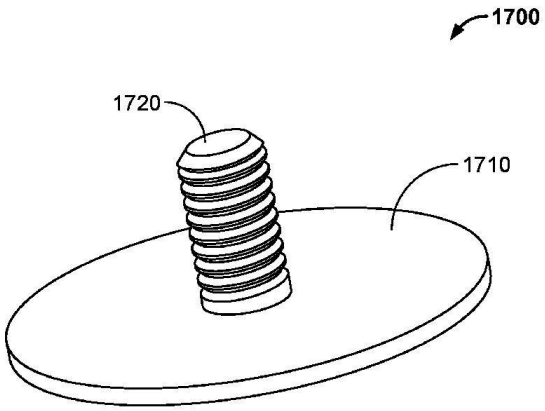


FIG. 17

【図１８Ａ】

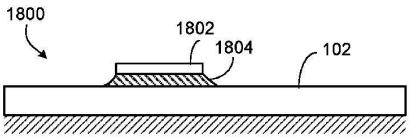


FIG. 18A

【図１８Ｂ】

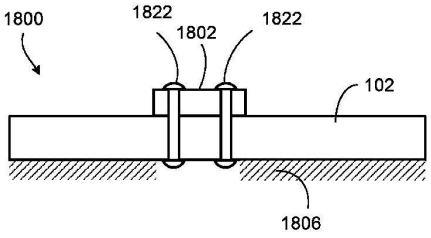


FIG. 18B

【図１８Ｃ】

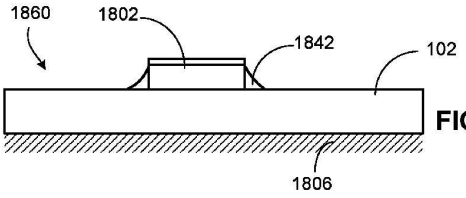


FIG. 18C

【図１８Ｄ】

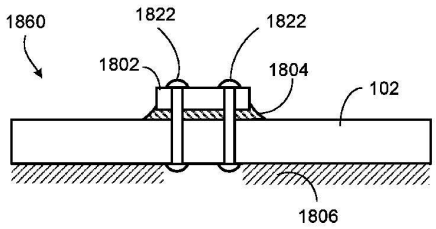
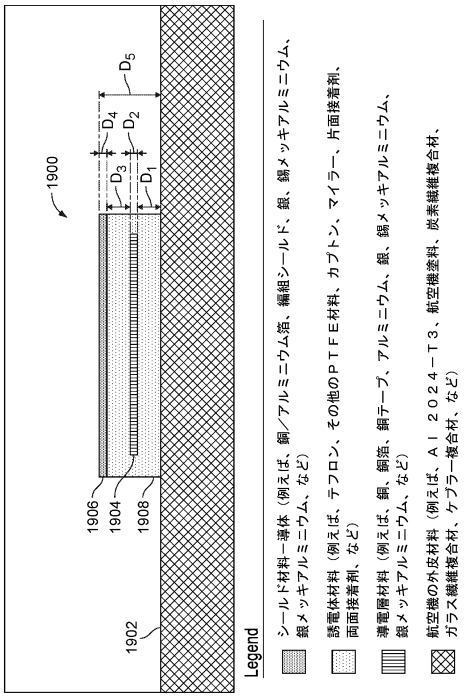


FIG. 18D

【図１９】



【図２０】

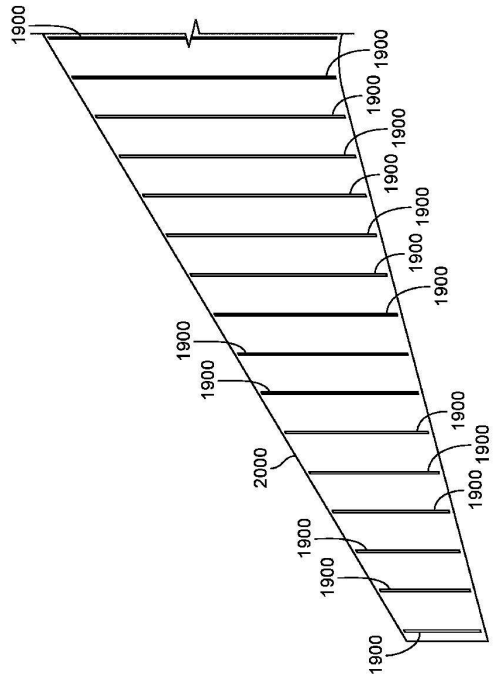


FIG. 20

【図２１】

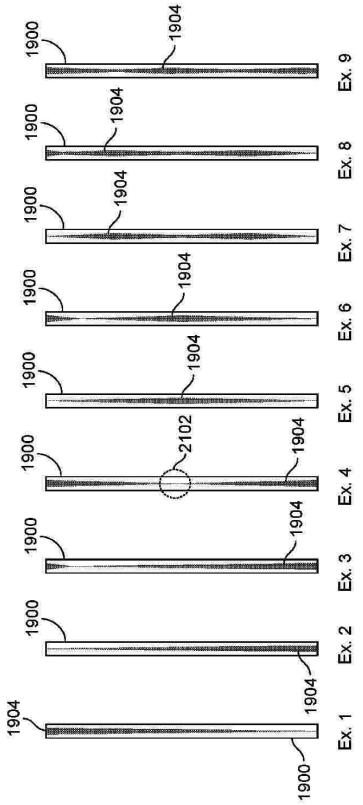
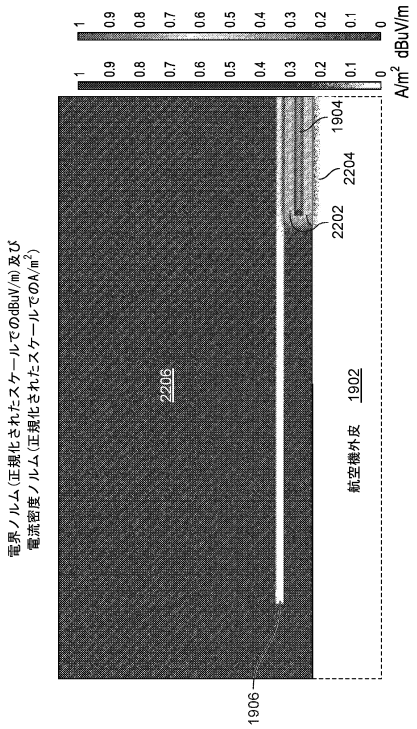
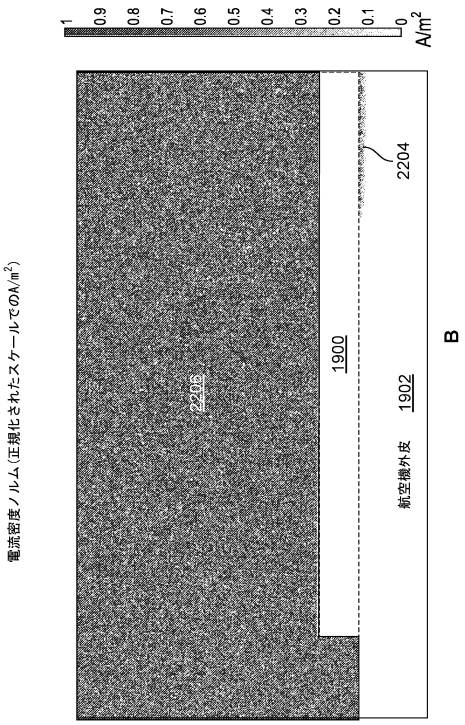


FIG. 21

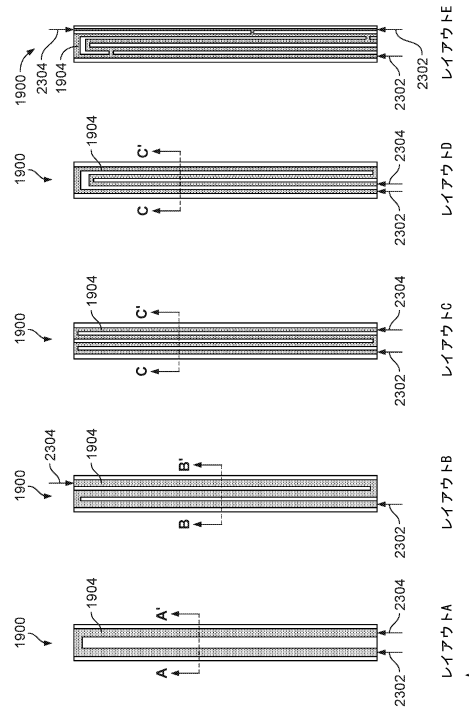
【図２２Ａ】



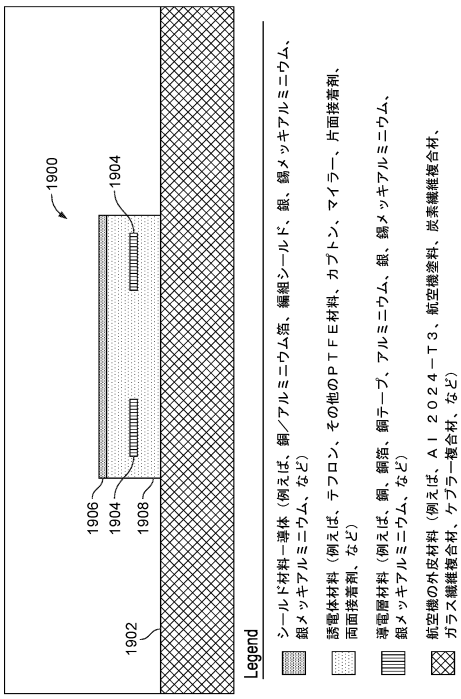
【図２２Ｂ】



【図２３】

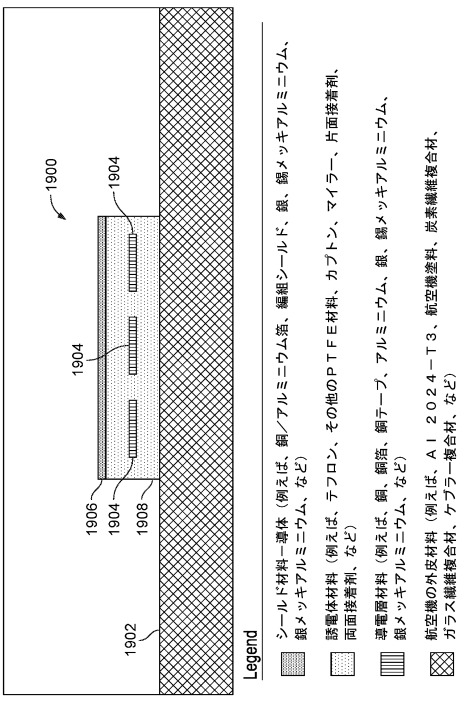


【図２４Ａ】



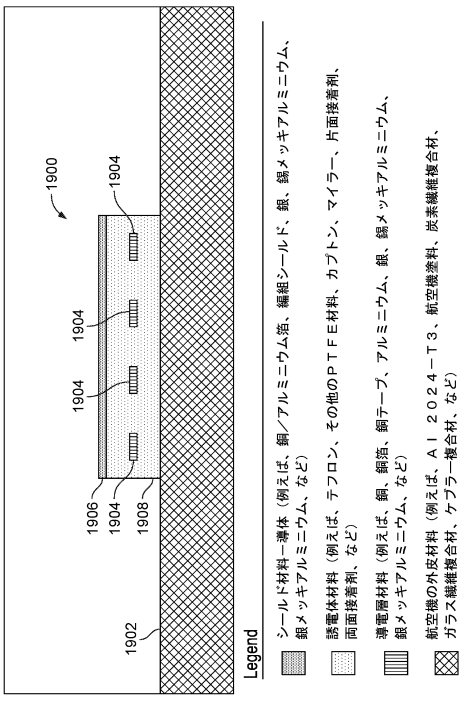
A

【図２４Ｂ】



B

【図２４Ｃ】



C

【図２５Ａ】

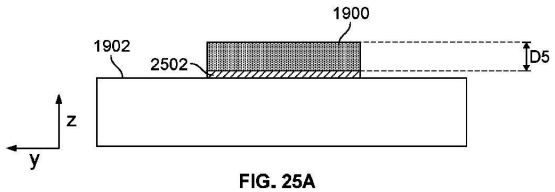


FIG. 25A

【図２５Ｂ】

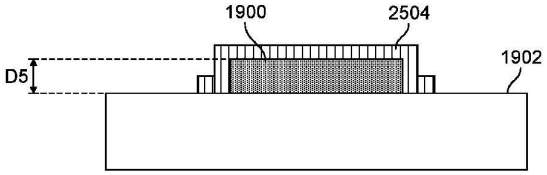


FIG. 25B

【図２６Ａ】

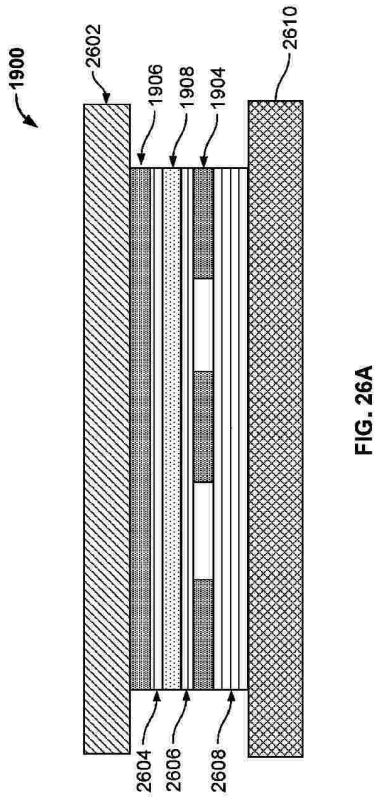


FIG. 26A

【図２６Ｂ】

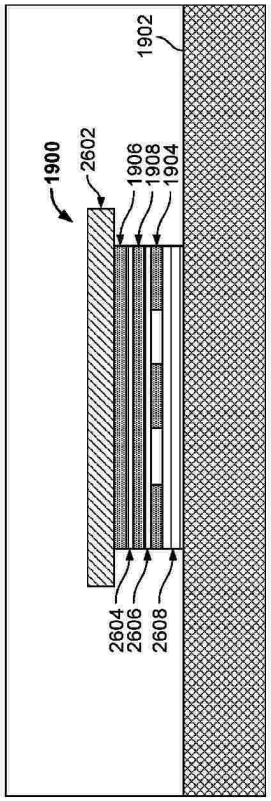
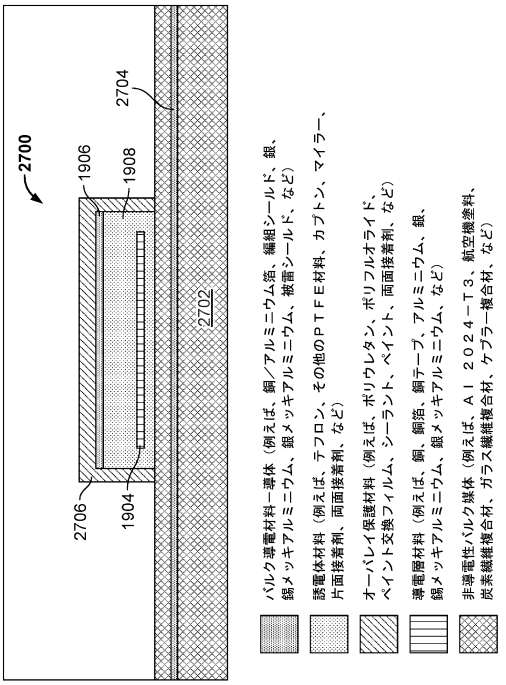


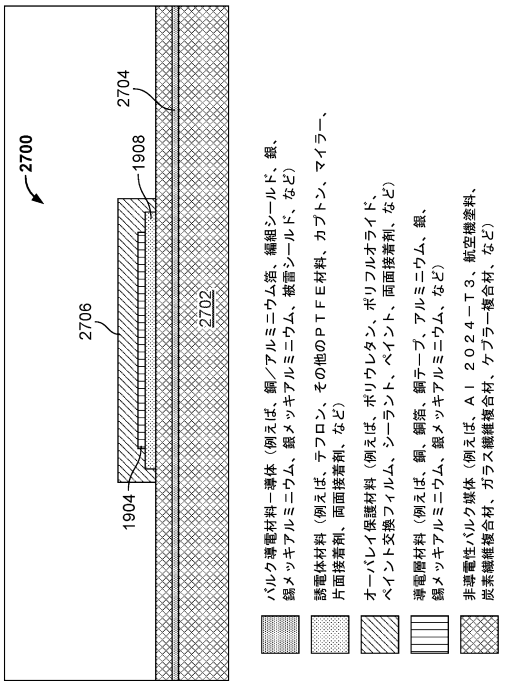
FIG. 26B

【図２７Ａ】



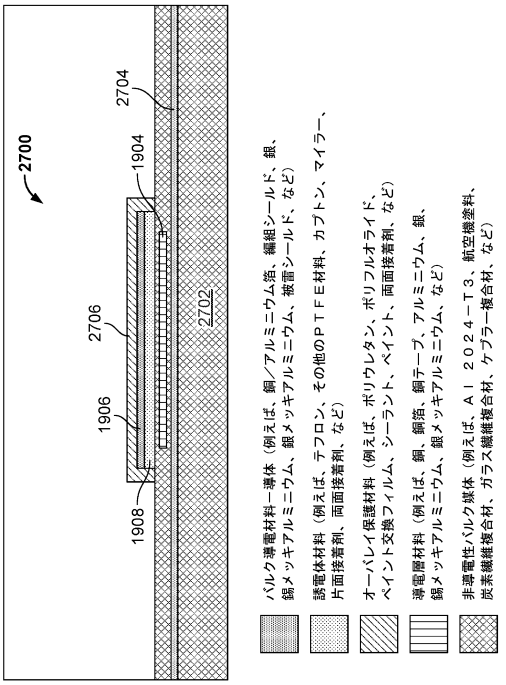
A

【図２７Ｂ】



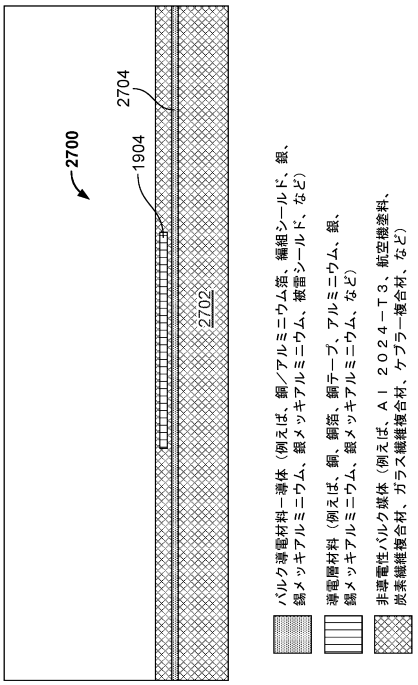
B

【図２７Ｃ】



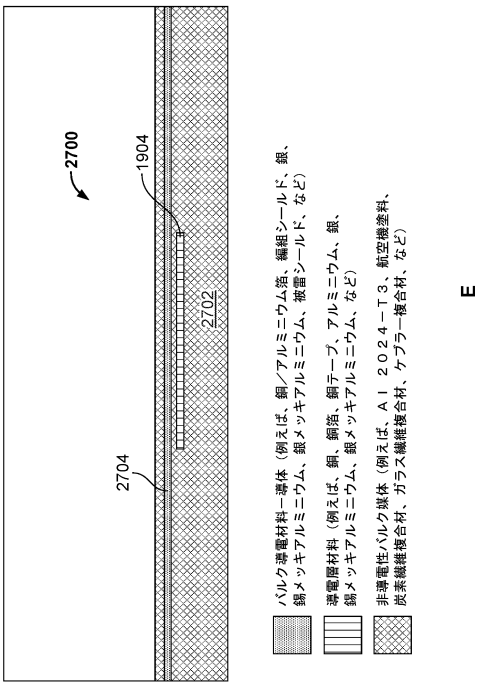
C

【図２７Ｄ】



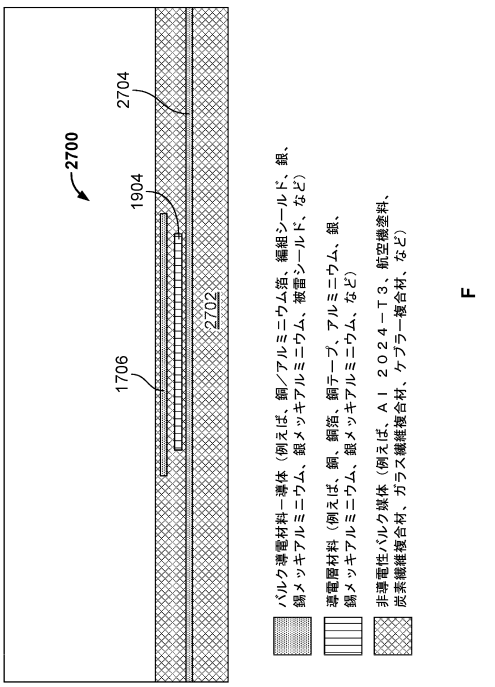
D

【図２７Ｅ】



E

【図２７Ｆ】



F

【図２８】

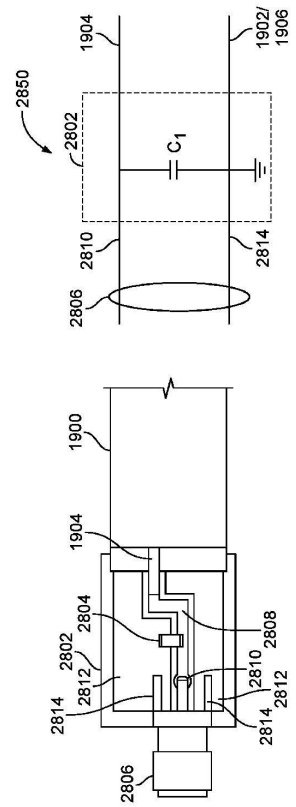


FIG. 28

【図２９】

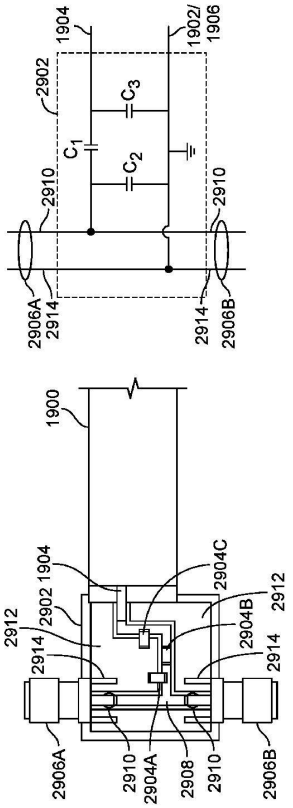


FIG. 29

【図３０】

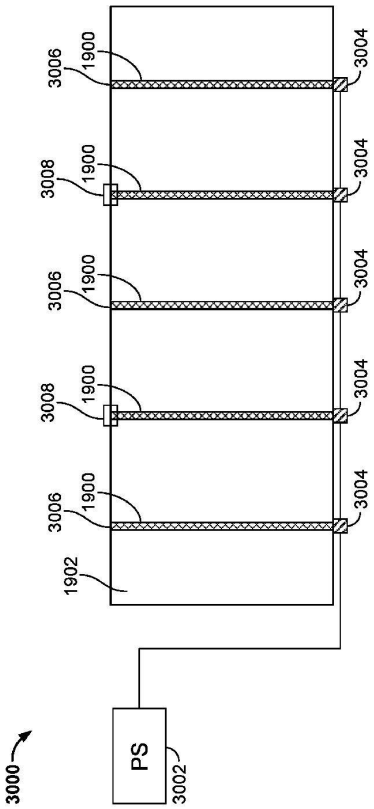
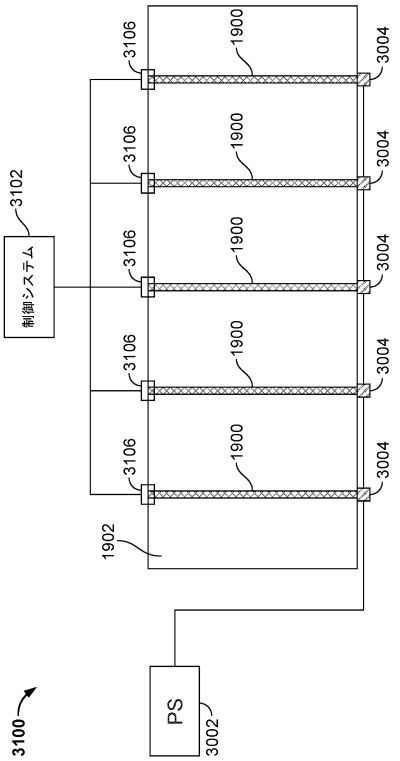
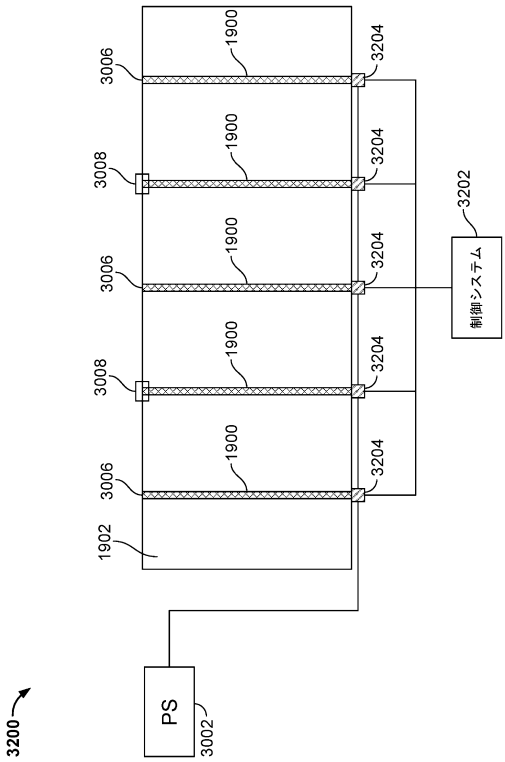


FIG. 30

【図３１】



【図３２】



フロントページの続き

アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ０２１１５ ボストン ボイルストン ストリート ９０７ ユニット ４２
(72)発明者 ルーベン トゥビアナ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ０２１３９ ケンブリッジ ハーヴァード ストリート ３３４
(72)発明者 クリストファー ブエンロストロ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ０２４２１ レキシントン メイン キャンパス ドライブ １０００
(72)発明者 シーン デイヴィッド クロップ
アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ０２１３９ ケンブリッジ ハーヴァード ストリート ３２９

審査官 諸星 圭祐

(56)参考文献
米国特許出願公開第２００２／００９２８４９（ＵＳ，Ａ１）
英国特許出願公開第０２４３８３８９（ＧＢ，Ａ）
米国特許第０５９７１３２３（ＵＳ，Ａ）
特表平０８－５１２１９２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－２１２０３１（ＪＰ，Ａ）
中国特許出願公開第１０２９９１６６６（ＣＮ，Ａ）
米国特許出願公開第２００７／０２１００７３（ＵＳ，Ａ１）
特開２００４－０３１１０７（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１８／０００２０２４（ＵＳ，Ａ１）

(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｂ６４Ｃ １／００
Ｂ６４Ｄ １５／１２
Ｈ０５Ｂ １／００－ ３／８６