

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6531942号
(P6531942)

(45) 発行日 令和1年6月19日(2019.6.19)

(24) 登録日 令和1年5月31日(2019.5.31)

(51) Int.Cl.

F 1

H02J 50/50	(2016.01)	H02J 50/50
H02J 50/12	(2016.01)	H02J 50/12
B63C 11/00	(2006.01)	B63C 11/00

C

請求項の数 10 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2015-144090 (P2015-144090)
 (22) 出願日 平成27年7月21日 (2015.7.21)
 (65) 公開番号 特開2017-28832 (P2017-28832A)
 (43) 公開日 平成29年2月2日 (2017.2.2)
 審査請求日 平成30年5月10日 (2018.5.10)

特許法第30条第2項適用 平成27年5月29日に、
 NEDO (国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術
 総合開発機構) の平成27年度「エネルギー・環境新技
 術先導プログラム」に係る公募に対して、情報提供資料
 を提出

(73) 特許権者 314012076
 パナソニックIPマネジメント株式会社
 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号
 (74) 代理人 110002000
 特許業務法人栄光特許事務所
 (72) 発明者 出口 太志
 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
 ソニック株式会社内
 (72) 発明者 小柳 芳雄
 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
 ソニック株式会社内
 (72) 発明者 江口 和弘
 大阪府門真市大字門真1006番地 パナ
 ソニック株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】送電装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

水中において、受電コイルを有する水中航走体に電力を伝送する送電装置であって、
前記水中に配置され、磁界を介して前記受電コイルに電力を伝送する送電コイルと、
 周波数が10kHz以下の交流電圧を前記送電コイルへ送電する送電部と、
 前記送電コイルに接続されると共に、前記送電コイルと共に前記周波数で共振する共振回路を形成する第1のコンデンサと、

前記水中に配置され、前記送電コイルからの磁界を用いて前記受電コイルに電力を伝送する少なくとも1つの中継コイルと、

前記中継コイルに接続されると共に、前記中継コイルと共に前記周波数で共振する共振回路を形成する少なくとも1つの第2のコンデンサと、

前記水中において、前記送電コイル及び前記中継コイル、並びに、前記中継コイル同士を離間して、前記送電コイル及び前記中継コイルを連結する複数の連結体と、
を備え、

前記送電コイル及び前記中継コイルの直径は、前記受電コイルの直径よりも大きく、
前記送電コイル、前記中継コイル及び前記複数の連結体で構成される水中空間は、前記
水中航走体よりも大きい、送電装置。

【請求項2】

請求項1に記載の送電装置であって、

前記送電コイルは、前記水中に配置され、

10

20

前記送電部と前記送電コイルとを接続し、コネクタを介して前記送電部と接続される電線を更に備える、送電装置。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の送電装置であって、更に、

前記連結体の水底側端部に配置される錘と、

前記連結体の前記送電コイル側端部に配置されるブイと、

を備え、

前記中継コイルは、前記送電コイルよりも水底側の前記水中に配置される、送電装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の送電装置であって、

10

前記連結体は、前記中継コイル間をさらに接続し、

前記中継コイル間の間隔は、前記中継コイルの半径以上確保されて配置される、送電装置。

【請求項 5】

請求項 3 又は 4 に記載の送電装置であって、

前記連結体は、前記中継コイル間をさらに接続し、

前記中継コイル同士は、略平行に配置され、前記中継コイルにより形成される開口面の半分以上が重なるように配置される、

送電装置。

【請求項 6】

20

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の送電装置であって、

前記送電コイルは、水面と略直交する方向に電力を伝送する、送電装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の送電装置であって、更に、

前記送電コイルが発生する磁界を水底に向けて反射する反射コイルを備える、送電装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の送電装置であって、

前記反射コイルは、前記送電コイルと前記水面との間に配置される、送電装置。

【請求項 9】

30

請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の送電装置であって、

前記送電コイルは、水面又は水底に沿う方向に電力を伝送する、送電装置。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載の送電装置であって、

前記送電コイルは、前記電力を伝送するとともに、データを通信する、送電装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、水中において無線で送電する送電装置に関する。

【背景技術】

40

【0002】

従来、送電装置としての水中基地局が、受電装置としての水中航走体との間で、磁気共鳴方式を用いて非接触で電力伝送することが知られている（例えば特許文献 1 参照）。この送電装置は、送電用共鳴コイルと、風船と、風船制御機構と、を具備する。送電用共鳴コイルは、磁界共鳴方式により受電装置の受電用共鳴コイルに非接触で電力伝送する。風船は、送電用共鳴コイルを内包する。風船制御機構は、風船を電力伝送時に膨張させることにより、送電用共鳴コイルと受電用共鳴コイルとの間の水を排除する。

【0003】

また、13.56MHz 帯の周波数を用いる電磁誘導方式を利用して、電力とデータを I C 搭載媒体に送信するアンテナ装置が知られている（例えば特許文献 2 参照）。このア

50

ンテナ装置は、信号電流が給電される少なくとも1つの給電ループアンテナと信号電流が給電されない少なくとも1つの無給電ループアンテナを有し、給電ループアンテナが発生する磁界を利用して無給電ループアンテナにも信号電流を発生させ、給電ループアンテナの通信範囲を拡大させる点を開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2015-015901号公報

【特許文献2】特開2005-102101号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

水中の電磁波は、発散、吸収、反射等の現象により減衰することが知られている。特に、電磁波の周波数が高くなるほど電磁波の減衰量は大きくなる。特許文献2に記載のような13.56MHz帯の電磁波を用いて、水中航走体に対して非接触電力伝送を行う場合は、電磁波の伝搬強度は1メートルあたり数十分の1に減衰してしまうので、非接触電力伝送を効率的に行うことには困難である。

【0006】

本開示は、上記事情に鑑みてなされたものであり、水中における水中航走体への非接触電力伝送を効率的に行うことが可能な送電装置を提供する。

20

【課題を解決するための手段】

【0007】

本開示の送電装置は、水中において、受電コイルを有する水中航走体に電力を伝送する。送電装置は、磁界を介して受電コイルに電力を伝送する送電コイルと、周波数が10kHz以下の交流電圧を送電コイルへ送電する送電部と、送電コイルに接続されると共に、送電コイルと共に上記周波数で共振する共振回路を形成する第1のコンデンサと、を備える。

【発明の効果】

【0008】

本開示によれば、水中における水中航走体への非接触電力伝送を効率的に行うことが可能になる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】第1の実施形態における電力伝送システムが置かれる環境の一例を示す模式図

【図2】電力伝送システムの構成例を示すブロック図

【図3】送電コイルから発生する磁界の伝搬特性を調査するためのシミュレーションモデル

【図4】観測ポイント1における磁界強度Hy減衰量の周波数特性の一例を示す模式図

【図5】観測ポイント2における磁界強度Hy減衰量の周波数特性の一例を示す模式図

【図6】磁界強度Hy(単位:A/m)の距離特性の一例を示す模式図

40

【図7】磁界強度Hyの距離特性(dB値)の一例を示す模式図

【図8】送電コイル周囲の磁界強度分布の一例を示す模式図

【図9】第2の実施形態における電力伝送システムが置かれる環境の一例を示す模式図

【図10】電力伝送システムの海中における磁界伝搬特性を調査するためのシミュレーションモデル

【図11】海中における磁界伝搬特性の一例を示す模式図

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、適宜図面を参照しながら、実施形態を詳細に説明する。但し、必要以上に詳細な説明は省略する場合がある。例えば、既によく知られた事項の詳細説明や実質的に同一の

50

構成に対する重複説明を省略する場合がある。これは、以下の説明が不必要に冗長になることを避け、当業者の理解を容易にするためである。尚、添付図面及び以下の説明は、当業者が本開示を十分に理解するために提供されるものであり、これらにより特許請求の範囲に記載の主題を限定することは意図されていない。

【0011】

(第1の実施形態)

[構成等]

図1は、第1の実施形態における電力伝送システム10が置かれる環境の一例を示す模式図である。電力伝送システム10は、送電装置100、受電装置200、及びコイルCLを備える(図2参照)。送電装置100は、受電装置200に対して、複数のコイルCLを介して、磁気共鳴方式に従ってワイヤレス(無接点)で電力伝送する。配置されるコイルCLの数は、n個であり、任意である。10

【0012】

コイルCLは、例えば、環状に形成され、樹脂のカバーで覆われて絶縁されている。コイルCLは、例えば、ヘリカルコイルやスパイラルコイルである。コイルCLは、送電コイルCLA及び受電コイルCLBを含む。送電コイルCLAは、一次コイル(Primary Coil)であり、受電コイルCLBは、二次コイル(Secondary Coil)である。

【0013】

また、コイルCLは、送電コイルCLAと受電コイルCLBとの間に配置された1つ以上の中継コイルCLC(Booster Coil)を含んでもよい。中継コイルCLC同志は、略平行に配置され、中継コイルCLCにより形成される開口面の半分以上が重なる。複数の中継コイルCLC間の間隔は、例えば中継コイルCLCの半径以上確保される。20

【0014】

送電コイルCLAは、送電装置100に設けられる。受電コイルCLBは、受電装置200に設けられる。中継コイルCLCは、送電装置100に設けられても、受電装置200に設けられても、送電装置100及び受電装置200とは別に設けられてもよい。中継コイルCLCは、一部が送電装置100に設けられ、他の一部が受電装置200に設けられてもよい。30

【0015】

送電装置100は、船舶50に設置される。受電装置200は、水中航走体60(例えば潜水艇70や水底掘削機80)に設置される。各コイルCLは、水中(例えば海中)に配置される。

【0016】

船舶50の一部は、水面90(例えば海面)より上部つまり水上に存在し、船舶50の他の一部は、水面90よりも下部つまり水中に存在する。船舶50は、水上で移動可能であり、例えばデータ取得場所の水上へ自由に移動可能である。船舶50の送電装置100と送電コイルCLAとの間は、電線20により接続される。電線20は、水上のコネクタ(不図示)を介して、例えば送電装置100内のドライバ151(図2参照)と接続される。40

【0017】

水中航走体60は、水中又は水底95(例えば海底)に存在し、水中又は水底95を航走する。例えば、水上の船舶50からの指示により、データ取得ポイントへ自由に移動可能である。船舶50からの指示は、各コイルCLを介した通信により伝送されてもよいし、その他の通信方法により伝送されてもよい。

【0018】

各コイルCLは、連結体30と接続され、例えば等間隔に配置される。隣り合うコイルCL間の距離(コイル間隔)は、例えば100mオーダーの距離である。コイル間隔は、例えばコイルCLの直径の半分程度の長さである。送電周波数は、10kHz以下とする50

。送電周波数を 10 kHz とした理由については後で説明する。尚、送電周波数が低周波であるほど、電力伝送距離が長くなり、コイル CL を大きくでき、コイル間隔を長くできる。

【 0 0 1 9 】

また、送電周波数に基づいてコイル CL のインダクタンスが定まり、コイル CL の長さと巻き数とが定まる。コイル CL の長さは、例えば数 m ~ 数 100 m である。また、コイル CL の太さが太い程、コイル CL での電気抵抗が減り、電力損失が小さくなる。また、コイル CL を介して伝送される電力は、例えば 50 W 以上であり、kW オーダーでもよい。

【 0 0 2 0 】

図 1 では、連結体 30 の数が 3 つであるが、これに限られない。連結体 30 における受電コイル CL B 側の端部には、錘 40 が接続される。連結体 30 における送電コイル CL A 側の端部には、ブイ (B u o y) 45 が接続される。

【 0 0 2 1 】

錘 40 により、連結体 30 の移動を規制でき、連結体 30 に固定された各コイル CL の移動を規制できる。よって、水中において水流が発生しても、錘 40 により各コイル CL の移動が規制されるので、コイル CL を用いた電力伝送の効率が低下することを抑制できる。

【 0 0 2 2 】

図 2 は、電力伝送システム 10 の構成例を示すブロック図である。電力伝送システム 10 は、送電装置 100 及び受電装置 200 を備える。

【 0 0 2 3 】

送電装置 100 は、電源 110、ADC (A C / D C C o n v e r t e r) 120、CPU (C e n t r a l P r o c e s s i n g U n i t) 130、情報通信部 140、及び送電回路 150、を備える。

【 0 0 2 4 】

ADC 120 は、電源 110 から供給される交流電力を直流電力に変換する。変換された直流電力は、送電回路 150 へ送られる。

【 0 0 2 5 】

CPU 130 は、送電装置 100 の各部 (例えば電源 110、ADC 120、情報通信部 140、送電回路 150) の動作を統括する。

【 0 0 2 6 】

情報通信部 140 は、受電装置 200 との間で通信される通信データを変調又は復調するための変復調回路 141 を含む。情報通信部 140 は、例えば、送電装置 100 から受電装置 200 への制御情報を、コイル CL を介して送信する。情報通信部 140 は、例えば、受電装置 200 から送電装置 100 へのデータを、コイル CL を介して受信する。このデータは、例えば、受電装置 200 により水中探査や水底探査された探査結果のデータが含まれる。情報通信部 140 により、水中航走体 60 がデータ収集等の作業しながら、水中航走体 60 との間で迅速にデータ通信できる。

【 0 0 2 7 】

送電回路 150 は、ドライバ 151 及び共振回路 152 を含む。ドライバ 151 は、ADC 120 からの直流電力を所定の周波数の交流電圧 (パルス波形) に変換する。共振回路 152 は、コンデンサ CA と送電コイル CL A とを含んで構成され、ドライバ 151 からのパルス波形の交流電圧から正弦波波形の交流電圧を生成する。送電コイル CL A は、ドライバ 151 から印加される交流電圧に応じて、所定の共振周波数で共振する。尚、送電コイル CL A は、送電装置 100 の出力インピーダンスにインピーダンス整合される。

【 0 0 2 8 】

受電装置 200 は、受電回路 210、CPU 220、充電制御回路 230、2 次電池 240、及び情報通信部 250 を備える。

【 0 0 2 9 】

10

20

30

40

50

受電回路 210 は、整流回路 211、レギュレータ 212、及び共振回路 213 を含む。共振回路 213 は、コンデンサ C B と受電コイル C L B とを含んで構成され、送電コイル C L A から送電された交流電力を受電する。尚、受電コイル C L B は、受電装置 200 の入力インピーダンスにインピーダンス整合される。整流回路 211 は、受電コイル C L B に誘起された交流電力を直流電力に変換する。レギュレータ 212 は、整流回路 211 から送られる直流電圧を、2 次電池 240 の充電に適合する所定の電圧に変換する。

【0030】

C P U 220 は、受電装置 200 の各部（例えば受電回路 210、受電制御回路 230、2 次電池 240、情報通信部 250）の動作を統括する。

【0031】

充電制御回路 230 は、2 次電池 240 の種別に応じて 2 次電池 240 への充電を制御する。例えば、2 次電池 240 がリチウムイオン電池の場合、充電制御回路 230 は、定電圧で、レギュレータ 212 からの直流電力により 2 次電池 240 への充電を開始する。

【0032】

2 次電池 240 は、送電装置 100 から伝送された電力を蓄積する。2 次電池 240 は、例えばリチウムイオン電池である。

【0033】

情報通信部 250 は、送電装置 100 との間で通信される通信データを変調又は復調するための変復調回路 251 を含む。情報通信部 250 は、例えば、送電装置 100 から受電装置 200 への制御情報を、コイル C L を介して受信する。情報通信部 250 は、例えば、受電装置 200 から送電装置 100 へのデータを、コイル C L を介して送信する。このデータは、例えば、受電装置 200 により水中探査や水底探査された探査結果のデータが含まれる。情報通信部 250 により、水中航走体 60 がデータ収集等の作業しながら、船舶 50 との間で迅速にデータ通信できる。

【0034】

尚、中継コイル C L C は、送電コイル C L A 及び受電コイル C L B と同様に、コンデンサ C C とともに共振回路を構成する。つまり、本実施形態では、共振回路が水中において多段に配置されることで、磁気共鳴方式により電力が伝送される。

【0035】

次に、送電装置 100 から受電装置 200 への電力伝送について説明する。

【0036】

共振回路 152 では、送電装置 100 の送電コイル C L A に電流が流れると送電コイル C L A の周囲に磁場が発生する。発生した磁場の振動は、同一の周波数で共振する中継コイル C L C を含む共振回路又は受電コイル C L B を含む共振回路 213 に伝達される。

【0037】

中継コイル C L C を含む共振回路では、磁場の振動により中継コイル C L C に電流が励起され、電流が流れ、中継コイル C L C の周囲に更に磁場が発生する。発生した磁場の振動は、同一の周波数で共振する他の中継コイル C L C を含む共振回路又は受電コイル C L B を含む共振回路 213 に伝達される。

【0038】

共振回路 213 では、中継コイル C L C 又は送電コイル C L A の磁場の振動により、受電コイル C L B に交流電流が誘起される。誘起された交流電流が整流され、所定の電圧に変換され、2 次電池 240 に充電される。

【0039】

[伝搬特性のシミュレーション]

図 3 は、送電コイル C L A から発せられる磁界の伝搬特性を調査するためのシミュレーションモデル 300 を示す。シミュレーションモデル 300 は、送電コイル C L A のモデルと解析エリア 310 とから構成される。送電コイル C L A は、コイル直径：10 m、コイル線径：0.2 m、コイルターン数：1 としてモデル化を行っている。シミュレーションによる伝搬特性の測定は、例えば図示しない P C (Personal Computer)

10

20

30

40

50

)により行われる。

【0040】

解析エリア310は、x方向(横方向)：15m、y方向(縦方向)：10m、z方向(奥行き方向)：15mの領域である。シミュレーションでは、解析エリア310の材質として真空(Vacuum、単に「V」とも記す)、水(Water、単に「W」とも記記す)、海水(Water(Sea)、単に「W.S」とも記す)の3種類を設定し、これら3種類の物質中を伝搬する磁界の強度を調査する。シミュレーションモデル300では、送電コイルCLAに対して、振幅が1Aの交流電流を流すものとする。また、交流電流の周波数(解析周波数)としては、1kHz～100kHzの範囲を設定している。また、シミュレーションモデル300では、解析エリア310の中心点を原点として設定している。送電コイルCLAの中心点と解析エリア310の中心点は一致している。10

【0041】

図4は、解析エリア310の原点(送電コイルCLAの中心点)における磁界強度Hyの減衰量の周波数特性を示す。図4では、磁界強度Hyの減衰量をデシベル(dB)単位でプロットしている。以後、原点については観測ポイント1(Point1)と称する場合がある。また、原点を(x, y, z) = (0, 0, 0)と表現する場合もある。

【0042】

図4によると、真空では、観測ポイント1における磁界強度Hyは周波数によって変化していないことがわかる。一方、水中および海中では、周波数が大きくなるにしたがって、磁界強度Hyの減衰量が大きくなっていることがわかる。さらに、海中では、水中の場合に比べて、更に減衰量が大きくなっている。20

【0043】

図5は、解析エリア310の観測ポイント1(原点)からy方向(縦方向)に-5mシフトした位置における磁界強度Hyの減衰量の周波数特性を示す。図5では、図4と同様に、磁界強度Hyの減衰量をデシベル(dB)単位でプロットしている。以後、観測ポイント1(原点)から縦方向に-5mシフトした位置を観測ポイント2(Point2)と称する場合がある。また、観測ポイント2を(x, y, z) = (0, -5, 0)と表現する場合もある。

【0044】

図5によると、真空では、観測ポイント2における磁界強度Hyは周波数によって変化していないことがわかる。一方、水中および海中では、観測ポイント1の場合と同様に周波数が大きくなるにしたがって、磁界強度Hyの減衰量が大きくなっていることがわかる。さらに、海中では、水中の場合に比べて、更に減衰量が大きくなっている。観測ポイント2では、送電コイルCLAから距離が離れている分、磁界強度Hyの値が小さくなっているが、観測ポイント1と同様の傾向になる。30

【0045】

図6では、解析エリア301で設定した各材質(真空、水、海水)について、解析周波数1kHz、3kHz、10kHz、30kHz、100kHzにおける磁界強度Hy(単位:A/m)の距離特性をプロットしている。距離特性のプロットは、観測ポイント1(y=0m)からy軸に沿った観測ポイント2(y=-5m)の区間について行っている。また、図7は、図6に示す磁界強度Hyの距離特性をデシベル値(dB)でプロットしたものである。40

【0046】

図4～7を参照すると、観測ポイント1では、周波数が1kHzの場合、海中の磁界強度Hyは真空の磁界強度Hyの約94%になる。周波数が3kHzの場合、海中の磁界強度Hyは真空の磁界強度Hyの約78%になる。周波数が10kHzの場合、海中の磁界強度Hyは真空の磁界強度Hyの約41%になる。周波数が30kHzの場合、海中の磁界強度Hyは真空の磁界強度Hyの約16%になる。周波数が100kHzの場合、海中の磁界強度Hyは真空の磁界強度Hyの約2%になる。

【0047】

10

20

30

40

50

また、観測ポイント2では、周波数が1 kHzの場合、海中の磁界強度H_yは真空の磁界強度H_yの約90%になる。周波数が3 kHzの場合、海中の磁界強度H_yは真空の磁界強度H_yの約71%になる。周波数が10 kHzの場合、海中の磁界強度H_yは真空の磁界強度H_yの約28%になる。周波数が30 kHzの場合、海中の磁界強度H_yは真空の磁界強度H_yの約6%になる。周波数が100 kHzの場合、海中の磁界強度H_yは真空の磁界強度H_yの約0.1%になる。

【0048】

このように、海中では周波数が10 kHzを超えると、観測ポイント1～観測ポイント2の区間（すなわち、送電コイルCLAから5m程度の領域）では、磁界強度H_yが真空の場合に比べて最大約20%まで減衰されることが理解できる。水中航走体60は、送電コイルCLA（または、中継コイルCLC）から数メートル程度離して電力供給を受けることになるが、磁界強度H_yが最大20%程度にまで減衰してしまうと、水中航走体60に対して効率的に非接触電力伝送を行うことはできない。10

【0049】

海中で水中航走体60に対して効率的に非接触電力伝送を行うには、送電コイルCLAから数m程度の領域であると、最低でも真空比の30%程度の磁界強度が必要になる。したがって、海中での非接触電力伝送では、送電コイルCLAに印加する交流電圧の周波数を10 kHz以下に設定することが必要になる。

【0050】

図8は、解析エリア301で設定した各材質（真空、水、海水）について、送電コイルCLAの周囲の磁界強度分布を示したものである。図8では4つの解析周波数（1 kHz、3 kHz、10 kHz、100 kHz）に対応する磁界強度分布を示している。20

【0051】

（第2の実施形態）

図9は、第2の実施形態における電力伝送システム400が置かれる環境の一例を示す模式図である。図9において、第1の実施形態と共通する部分については同じ符号を用いている。また、説明の簡潔のために、第1の実施形態と共通する部分については、適宜、説明を省略する。

【0052】

[構成等]

電力伝送システム400は、送電コイルCLAと水面90の間に反射コイルCLRを有する点で、第1の実施形態と相違する。反射コイルCLRは、送電コイルCLAから水面90の方向へ放出される磁界を水底95の方向へ反射する。これにより、送電コイルCLAから放出された磁界が水面90から放出されることを抑制できる。よって、送電コイルCLAから放出された磁界と水上や水中での超長波（VLF）帯や極超長波（ULF）の通信との干渉を抑制することが可能になる。30

【0053】

尚、反射コイルCLRは、送電コイルCLAとの共振を避ける必要があるため、受電コイルCLBや中継コイルCLCの様にコンデンサが接続されておらず、共振回路を形成しない。すなわち、反射コイルCLRはコンデンサの無い閉ループになる。40

【0054】

また、反射コイルCLRは、図9に示すような一つの環とは限らない。例えば、反射コイルCLRの内側に、反射コイルCLRよりもコイル直径の小さな第2の反射コイルを反射コイルCLRと同心円状に配置してもよい。これにより、送電コイルCLAから発生する磁界を水底方向へ反射可能な面積が増えるので、水面90から磁界が放出されることをより確実に抑えることができる。

【0055】

[伝搬特性のシミュレーション]

図10は、電力伝送システム400の海中における磁界伝搬特性を調査するためのシミュレーションモデル500、600を示す。シミュレーションモデル500は、送電コイ50

ル C L A のモデルと解析エリア 510 とから構成される。送電コイル C L A は、コイル直径：10 m、コイル線径：0.2 m、コイルターン数：1としてモデル化を行っている。

【0056】

解析エリア 510 は、x 方向（横方向）：15 m、y 方向（縦方向）：30 m、z 方向（奥行き方向）：15 m の直方体領域である。シミュレーションでは、解析エリア 510 の材質として、海水を設定し、海水中を伝搬する磁界の強度を調査する。シミュレーションモデル 500 では、送電コイル C L A に対して、振幅：1 A、周波数：3 kHz の交流電流を流すものとする。また、シミュレーションモデル 500 では、解析エリア 510 の直方体上面（z × 平面）の中心点を原点として設定している。送電コイル C L A の中心点は、原点に対して y 方向に -10 m シフトした位置になる。10

【0057】

シミュレーションモデル 600 は、送電コイル C L A、3 つの中継コイル（C L C 1、C L C 2、C L C 3）、2 つの反射コイル（C L R 1、C L R 2）及び解析エリア 610 から構成される。送電コイル C L A、中継コイル C L C 1 ~ C L C 3、及び反射コイル C L R 1 は、形状が同じであり、コイル直径：10 m、コイル線径：0.2 m、コイルターン数：1としてモデル化を行っている。反射コイル C L R 2 の形状は、コイル直径：5 m、コイル線径：0.2 m、コイルターン数：1としてモデル化を行っており、反射コイル C L R 2 の中心点は、反射コイル C L R 1 の中心点と重なって配置される。

【0058】

シミュレーションモデル 600 の目的は、シミュレーションモデル 500 との対比によって、中継コイル（C L C 1 ~ C L C 3）及び反射コイル（C L R 1、C L R 2）の有無による磁界強度の差を調査することである。20

【0059】

解析エリア 610 は、解析エリア 510 と同様に、x 方向（横方向）：15 m、y 方向（縦方向）：30 m、z 方向（奥行き方向）：15 m の直方体領域である。シミュレーションでは、解析エリア 610 の材質として、海水を設定している。シミュレーションモデル 600 では、送電コイル C L A に対して、振幅：1 A、周波数：3 kHz の交流電流を流すものとする。

【0060】

また、シミュレーションモデル 600 では、解析エリア 610 の直方体上面（z × 平面）の中心点を原点として設定している。送電コイル C L A の中心点は、原点に対して y 方向に -10 m シフトした位置になる。中継コイル C L C 1 の中心点は、原点に対して y 方向に -15 m シフトした位置になる。中継コイル C L C 2 の中心点は、原点に対して y 方向に -20 m シフトした位置になる。中継コイル C L C 3 の中心点は、原点に対して y 方向に -25 m シフトした位置になる。反射コイル C L R 1 及び C L R 2 の中心点は、原点に対して y 方向に -5 m シフトした位置になる。30

【0061】

図 11 は、シミュレーションモデル 500 および 600 の海中における磁界伝搬特性を示している。図 11 では、送電コイル C L A の中心点（x = 0 m、y = -10 m、z = 0 m）における磁界強度を基準として、y 軸上に沿った深さ方向の相対的な磁界強度をプロットしている。40

【0062】

図 11 を参照すると、海面からの深さが 10 m よりも深い領域（y < -10）では、シミュレーションモデル 600 の磁界強度は、シミュレーションモデル 500 の磁界強度よりも大きくなっていることが理解できる。これは、前述したように、シミュレーションモデル 600 では、送電コイル C L A から発せられた磁界によって、3 つの中継コイル（C L C 1 ~ C L C 3）が連鎖的に磁気共鳴を起こすからである。これにより、シミュレーションモデル 600（すなわち電力伝送システム 400）では、y < -10 の領域でも磁界強度を高く維持することができる。中継コイル C L C 1 ~ C L C 3 を深さ方向に多段的に配置することによって、水中航走体 60 に電力供給を行うことが可能な領域が増大する。50

【0063】

より具体的には、中継コイルC L C 1 の中心点 ($x = 0 \text{ m}$ 、 $y = - 15 \text{ m}$ 、 $z = 0 \text{ m}$) における磁界強度は、中継コイルが無い場合に比べて 3.1 d B 増大する。また、中継コイルC L C 2 の中心点 ($x = 0 \text{ m}$ 、 $y = - 20 \text{ m}$ 、 $z = 0 \text{ m}$) における磁界強度は、中継コイルが無い場合に比べて 12.5 d B 増大する。中継コイルC L C 3 の中心点 ($x = 0 \text{ m}$ 、 $y = - 25 \text{ m}$ 、 $z = 0 \text{ m}$) における磁界強度は、中継コイルが無い場合に比べて 20.2 d B 増大する。また、ポイント ($x = 0 \text{ m}$ 、 $y = - 30 \text{ m}$ 、 $z = 0 \text{ m}$) における磁界強度は、中継コイルが無い場合に比べて 25.1 d B 増大する。

【0064】

一方、海面からの深さが 10 m よりも浅い領域 ($y > - 10 \text{ m}$) では、シミュレーションモデル 600 の磁界強度は、シミュレーションモデル 500 の磁界強度よりも小さくなっていることが理解できる。これは、前述したように、シミュレーションモデル 600 では、送電コイルC L A から発せられた磁界が、2つの反射コイル (C L R 1、C L R 2) によって、海底へ反射されるからである。したがって、反射コイルC L R 1、C L R 2 を配置することによって、水面から放射される磁界の強度を小さくすることが可能となる。

【0065】

より具体的には、反射コイルC L R 1 及びC L R 2 の中心点 ($x = 0 \text{ m}$ 、 $y = - 5 \text{ m}$ 、 $z = 0 \text{ m}$) における磁界強度は、反射コイルが無い場合に比べて 4 d B 減少する。また、原点 (海面) における磁界強度は、反射コイルが無い場合に比べて 5.3 d B 減少する。

【0066】**[第1，第2の実施形態の効果等]**

このように、第1の実施形態の電力伝送システム 10 によれば、送電コイルC L A に印加する交流電圧の周波数を 10 kHz 以下にするので、送電コイルC L A から送電コイルC L A の直径の概半分の領域で、最低でも真空比の 30% 程度の磁界強度を維持することができる。したがって、海中を移動する水中航走体 60 に対して効率的に非接触電力伝送を行うことが可能になる。したがって、海中での非接触電力伝送では、送電コイルC L A に印加する交流電圧の周波数を 10 kHz 以下に設定することが必要になる。

【0067】

また、第2の実施形態の電力伝送システム 400 によれば、送電コイルC L A と水面 90 の間に反射コイルC L R を備えるので、送電コイルC L A から水面 90 の方向へ放出される磁界を水底 95 の方向へ反射させることができる。これにより、送電コイルC L A から放出された磁界が水面 90 から放出されることを抑制できる。よって、送電コイルC L A から放出された磁界と水上や水中での超長波 (VLF) 帯や極超長波 (ULF) の通信との干渉を抑制することが可能になる。

【0068】

また、第1，第2の実施形態の電力伝送システム 10、400 によれば、送電コイルC L A は、水中の流れがある環境においても錘 40 によって移動が抑制される。そのため、水中航走体 60 は、水中の流れがある環境においても、送電コイルC L A に接触する必要なく、磁気共鳴方式による電力伝送の効率低下を抑制して、安定的に電力の供給を受けることができる。従って、水中航走体 60 は、データ収集等の活動を行いながら連続給電を受けることが可能になり、給電を受ける際の水中航走体 60 の稼働率が向上する。よって、送電装置 100 は、水中でのデータ収集活動の効率を向上できる。

【0069】

また、送電装置 100 は、送電装置 100 の送電コイルC L A 及び受電装置 200 の受電コイルC L B を用いることで、磁気共鳴方式によりワイヤレスで電力伝送できる。また、送電装置 100 は、水中航走体 60 が所定の給電場所に移動することなく電力を受けられるので、給電時においても水中航走体 60 は自由に移動でき、ポジションフリーの電力伝送が可能となる。よって、送電装置 100 は、水中航走体 60 による水中や水底 95 での活動が阻害されることを抑制できる。よって、水中航走体 60 は、充電中でも作業範囲を拡大でき、作業中に連続充電できる。また、水中航走体 60 は、任意のタイミングで充

10

20

30

40

50

電できるので、作業時間を短縮できる。

【0070】

また、送電装置100は、中継コイルCLCを用いることで、連続した電磁誘導により電力伝送距離を延長できる。例えば、図1に示したように、中継コイルCLCを多段に水面90付近から水底方向へ配置することで、送電装置100は、水深の深い位置（例えば水深1000m以上）まで電力伝送可能となる。この場合、送電装置100は、海底資源の採掘や調査を行う水中航走体60に対して、ワイヤレスで電力伝送でき、給電時の水中航走体60の稼働率の低下を抑制できる。

【0071】

また、無給電により動作するための大型のバッテリを水中航走体60が備える必要がないので、水中航走体60を小型化、軽量化できる。10

【0072】

（他の実施形態）

以上のように、本開示における技術の例示として、第1の実施形態を説明した。しかし、本開示における技術は、これに限定されず、変更、置き換え、付加、省略などを行った実施形態にも適用できる。

【0073】

第1、第2の実施形態では、電力伝送システム10として、海中又は海底においてデータ収集等を行う海底カメラシステムを例示したが、これ以外の用途に適用されてもよい。例えば、受電装置200を様々なセンサを備える水中ロボットや無人探査機に設け、水中や水底95に配置してもよい。これにより、水中ロボットや無人探査機により、水産資源や養殖の管理、橋梁やダムなどのインフラシステムの維持管理、港湾などの海底監視が可能となる。20

【0074】

第1、第2の実施形態では、水面90から水底95に向かって、送電コイルCLA、中継コイルCLC、及び受電コイルCLBが並んで配置されることを例示したが、コイルCLの配置方向はこれに限られない。例えば、水面90や水底95に沿う方向に、送電コイルCLA、中継コイルCLC、及び受電コイルCLBが並んで配置されてもよい。これにより、送電装置100は、水中で水平方向に電力伝送できる。

【0075】

第1、第2の実施形態では、CPU130, 220を例示したが、CPU130, 220以外のプロセッサが用いられてもよい。プロセッサは、物理的にどのように構成してもよい。また、プログラム可能なプロセッサを用いれば、プログラムの変更により処理内容を変更できるので、プロセッサの設計の自由度を高めることができる。プロセッサは、1つの半導体チップで構成してもよいし、物理的に複数の半導体チップで構成してもよい。複数の半導体チップで構成する場合、第1の実施形態の各制御をそれぞれ別の半導体チップで実現してもよい。この場合、それらの複数の半導体チップで1つのプロセッサを構成すると考えることができる。また、プロセッサは、半導体チップと別の機能を有する部材（コンデンサ等）で構成してもよい。また、プロセッサが有する機能とそれ以外の機能とを実現するように、1つの半導体チップを構成してもよい。30

【0076】

（本開示の一形態の概要）

このように、送電装置100は、水中において、受電コイルCLBを有する水中航走体60に電力を伝送する。送電装置100は、磁界を介して受電コイルCLBに電力を伝送する送電コイルCLAと、周波数が10kHz以下の交流電圧を送電コイルCLAへ送電する送電部と、第1のコンデンサを備える。第1のコンデンサは、送電コイルCLAに接続されると共に、送電コイルCLAと共に上記周波数で共振する共振回路152を形成する。尚、送電部は、例えばドライバ151である。第1のコンデンサは、例えばコンデンサCAである。

【0077】

10

20

30

40

50

これにより、水中航走体 60 は、給電を受ける際に送電装置 100 付近に移動する必要がないので、データ収集等の活動を行いながら給電を受けることができる。従って、送電装置 100 は、給電時の水中航走体 60 の稼働率が向上でき、水中航走体 60 の水中でのデータ収集等の活動の効率を向上できる。また、送電コイル CLA に印加する交流電圧の周波数を 10 kHz 以下にするので、送電コイル CLA から送電コイル CLA の直径の概半分の領域で、所望の磁界強度を維持できる。従って、水中を移動する水中航走体 60 に対して効率的に非接触電力伝送を実施できる。

【0078】

また、送電装置 100 は、送電コイル CLA からの磁界を用いて受電コイル CLB に電力を伝送する少なくとも 1 つの中継コイル CLC と、少なくとも 1 つの第 2 のコンデンサと、送電コイル CLA と中継コイル CLC とを連結する連結体 30 と、を備えてもよい。
10 第 2 のコンデンサは、中継コイル CLC に接続されると共に、中継コイル CLC と共に上記周波数で共振する共振回路を形成する。尚、第 2 のコンデンサは、例えばコンデンサ CC である。

【0079】

これにより、送電装置 100 は、中継コイル CLC を用いて、電力伝送距離を延長できる。また、送電装置 100 は、連結体 30 により各コイル CL の移動を制限でき、共振回路による共振効率を向上できるので、電力伝送効率を向上できる。従って、送電装置 100 は、水中において水流が発生しても、水中航走体 60 の充電効率が低下することを抑制できる。
20

【0080】

また、送電コイル CLA は、水面 90 と略直交する方向に電力を伝送してもよい。

【0081】

これにより、送電装置 100 は、深さ方向に電力伝送距離を延長でき、水深の深い場所(深海)に位置する水中航走体 60 に対して給電でき、水中航走体 60 の作業効率を向上できる。

【0082】

また、送電コイル CLA は、電力を伝送するとともに、データを通信してもよい。

【0083】

これにより、水中航走体 60 は、データ収集等の活動効率の低下を抑制しながら、送電装置 100 からの電力を充電でき、水中航走体 60 との間でデータ通信できる。
30

【0084】

また、送電装置 100 は、送電コイル CLA が発生する磁界を水底 95 に向けて反射する反射コイル CLR を備えてよい。

【0085】

これにより、送電装置 100 は、送電コイル CLA から放出された磁界が水面 90 から放出されることを抑制でき、送電コイル CLA から放出された磁界と水上や水中での超長波帯や極超長波の通信との干渉を抑制できる。

【産業上の利用可能性】

【0086】

本開示は、給電時の水中航走体の稼働率を向上できる送電装置等に有用である。
40

【符号の説明】

【0087】

10, 400 電力伝送システム

20 電線

30 連結体

40 錘

45 ブイ

50 船舶

60 水中航走体

10

20

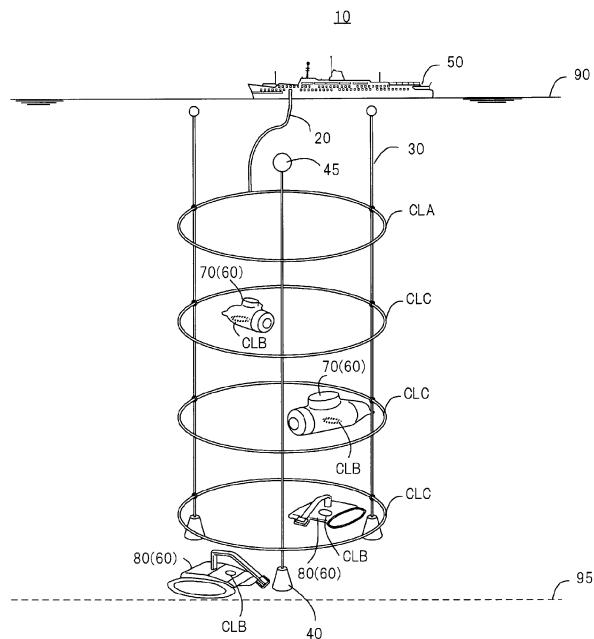
30

40

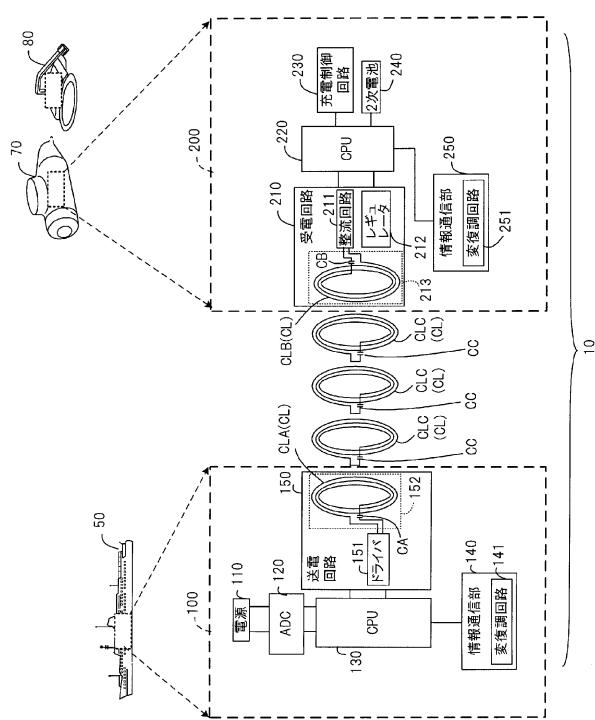
50

7 0 潜水艇
8 0 水底掘削機
9 0 水面
9 5 水底
1 0 0 送電装置
1 1 0 電源
1 2 0 A D C
1 3 0 C P U
1 4 0 情報通信部
1 4 1 変復調回路 10
1 5 0 送電回路
1 5 1 ドライバ
1 5 2 共振回路
2 0 0 受電装置
2 1 0 受電回路
2 1 1 整流回路
2 1 2 レギュレータ
2 2 0 C P U
2 3 0 充電制御回路
2 4 0 2次電池 20
2 5 0 情報通信部
2 5 1 変復調回路
3 0 0 , 5 0 0 , 6 0 0 シミュレーションモデル
3 1 0 , 5 1 0 , 6 1 0 解析エリア
C L コイル
C L A 送電コイル
C L B 受電コイル
C L C , C L C 1 , C L C 2 , C L C 3 中継コイル
C L R , C L R 1 , C L R 2 反射コイル
C A , C B , C C コンデンサ 30

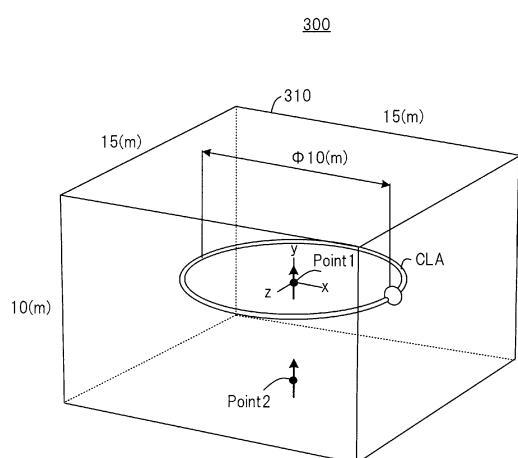
【図1】



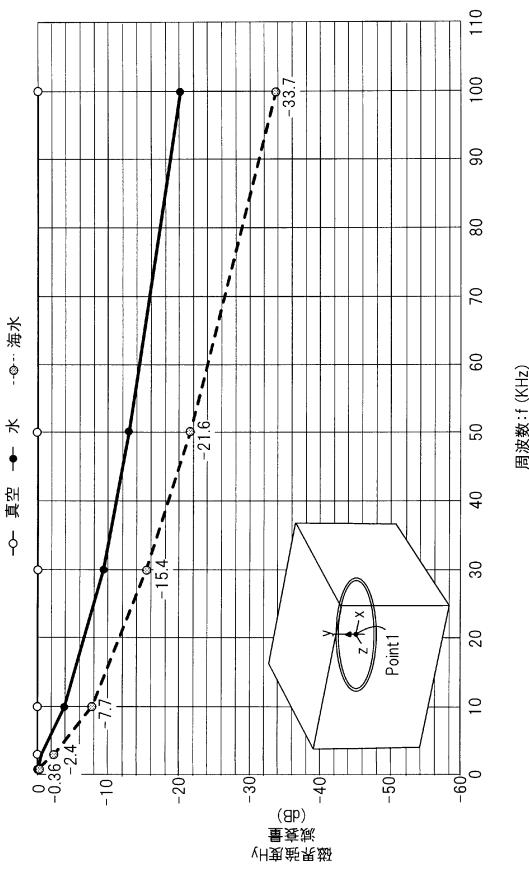
【図2】



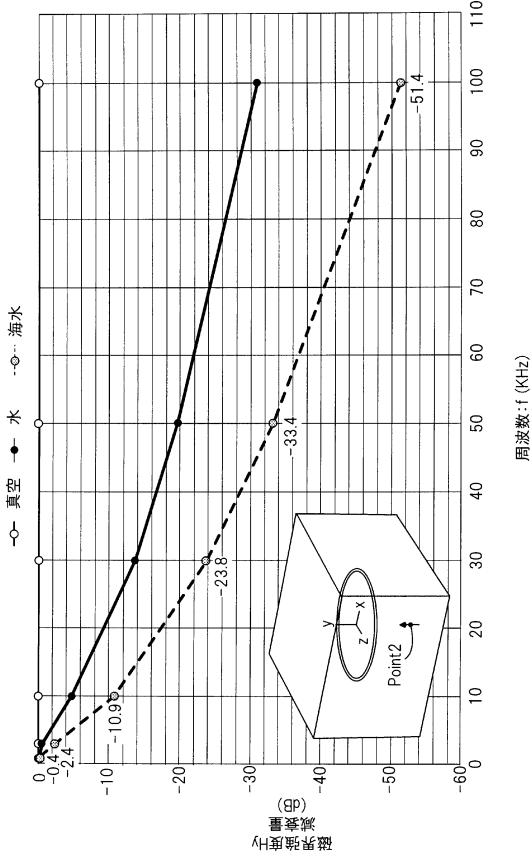
【図3】



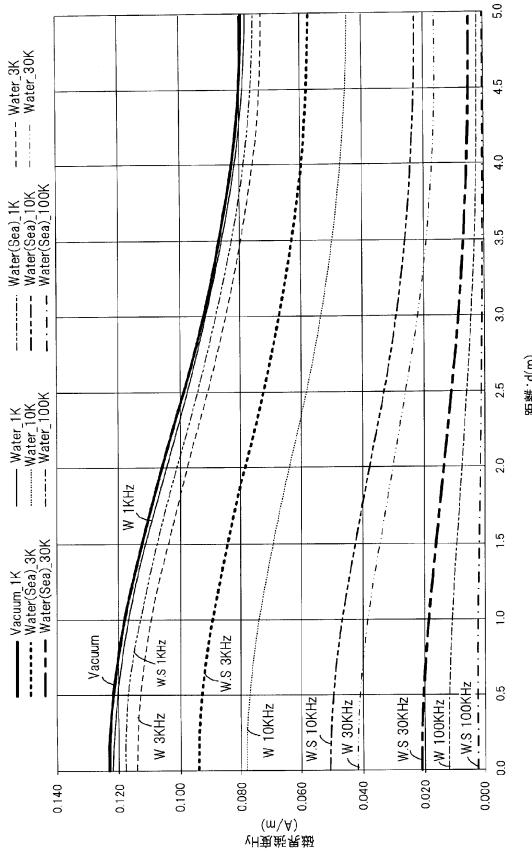
【図4】



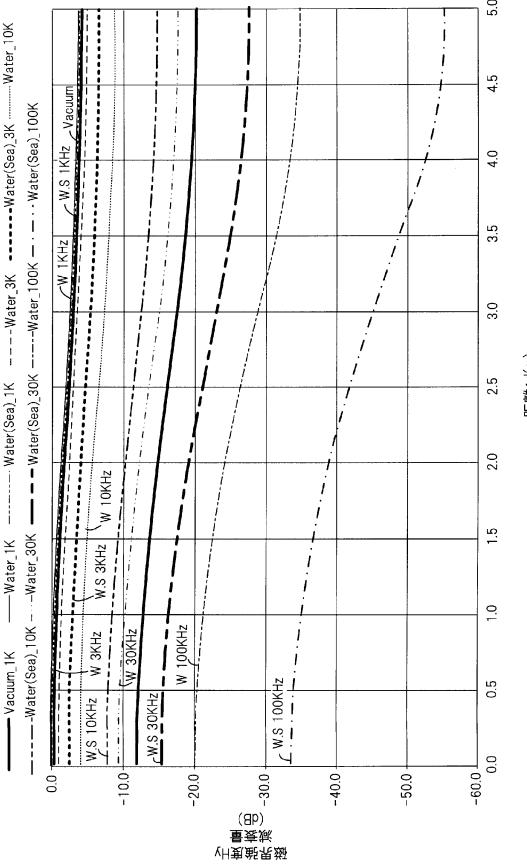
【 四 5 】



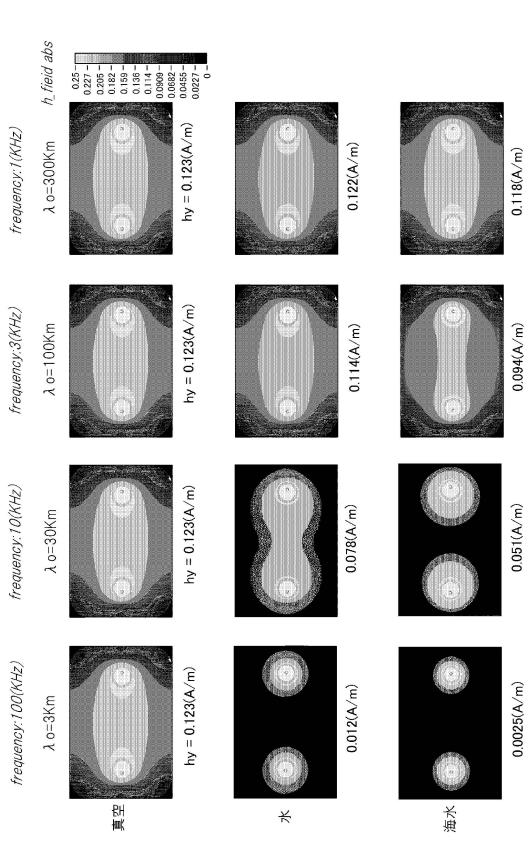
【 义 6 】



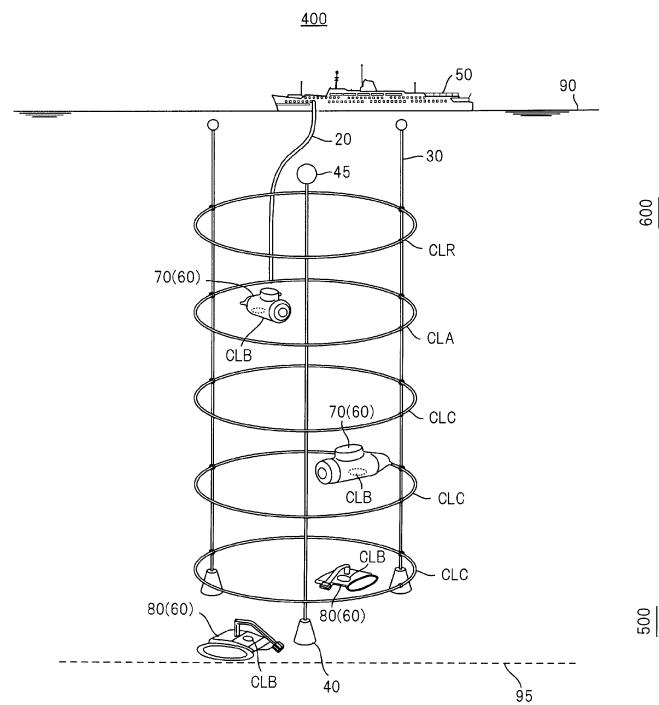
【図7】



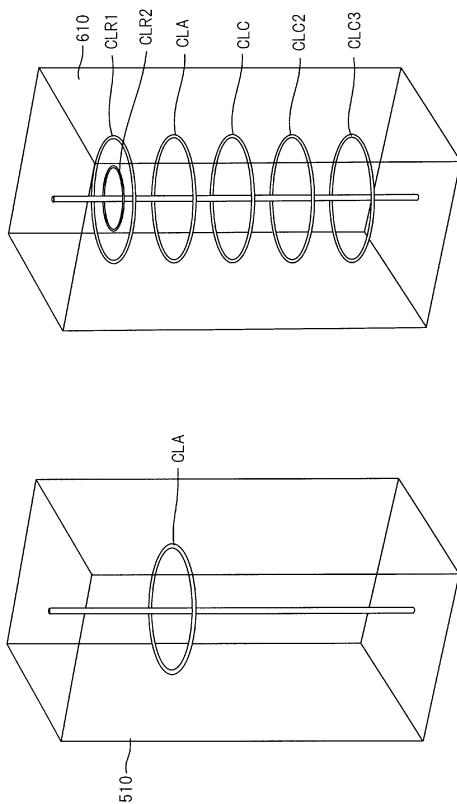
【 図 8 】



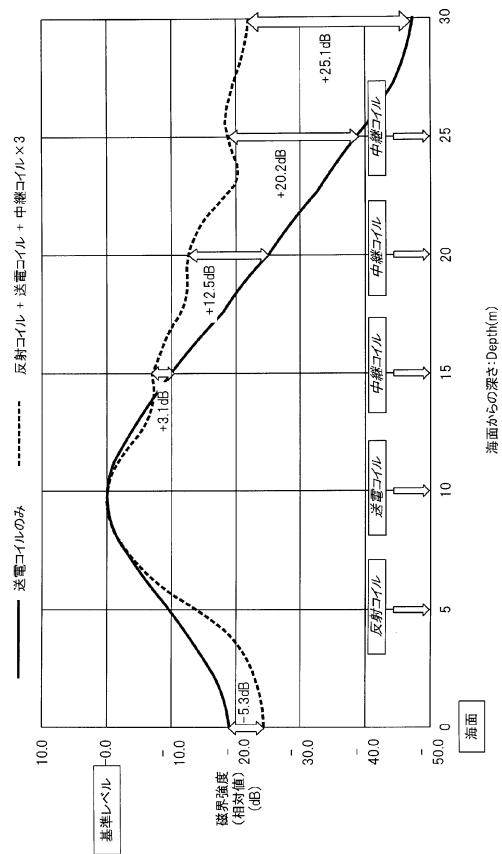
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 岡本 克也
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

(72)発明者 楠場 亮祐
大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内

審査官 大手 昌也

(56)参考文献 特開2015-023669 (JP, A)
特開2004-096182 (JP, A)
特開2011-183950 (JP, A)
特開2014-222975 (JP, A)
特開2013-215049 (JP, A)
特開2013-219972 (JP, A)
国際公開第2014/129531 (WO, A1)
国際公開第2015/087724 (WO, A1)
米国特許出願公開第2011/0076940 (US, A1)
特開2013-110805 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02J 50/50
B63C 11/00
H02J 50/12