

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-1142

(P2018-1142A)

(43) 公開日 平成30年1月11日(2018.1.11)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)			
BO1F	15/06	(2006.01)	BO1F	15/06	ZABA	3K059
BO1F	7/16	(2006.01)	BO1F	7/16	G	4B053
BO1F	7/18	(2006.01)	BO1F	7/18	B	4D059
BO1F	7/24	(2006.01)	BO1F	7/24		4G037
CO2F	11/04	(2006.01)	CO2F	11/04	A	4G078

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2016-135788 (P2016-135788)
 (22) 出願日 平成28年7月8日 (2016.7.8)

(71) 出願人 390013815
 学校法人金井学園
 福井県福井市学園3丁目6番1号
 (71) 出願人 000156938
 関西電力株式会社
 大阪府大阪市北区中之島三丁目6番16号
 (74) 代理人 110001195
 特許業務法人深見特許事務所
 (72) 発明者 中尾 一成
 福井県福井市学園3丁目6番1号 学校法人金井学園内
 (72) 発明者 中尾 総一
 大阪府大阪市北区中之島三丁目6番16号 関西電力株式会社内
 Fターム(参考) 3K059 AB28 AD03 CD52
 最終頁に続く

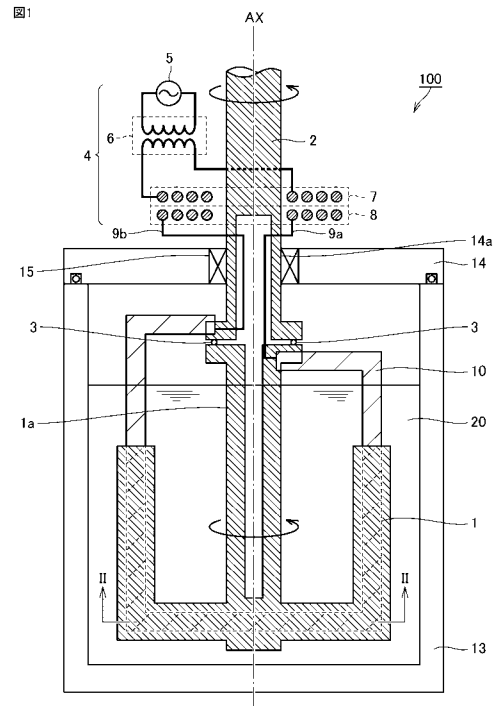
(54) 【発明の名称】 加熱攪拌装置

(57) 【要約】

【課題】装置の小型化および高い加熱効率を実現することができる加熱攪拌装置を提供する。

【解決手段】加熱攪拌装置100は、容器13に收容された被処理物20を加熱攪拌する。加熱攪拌装置100は、攪拌翼1と、回転軸2と、通電部10と、給電部4とを備える。攪拌翼1は、容器13内に配置され、少なくとも一部分に導電体部が形成されている。回転軸2は、攪拌翼1に接続され、攪拌翼1を回転させる。通電部10は、導電体部と、導電体部の外周を覆う絶縁体とを有する。給電部4は、容器13外部に配置され、通電部10に高周波電流を供給する。容器13内において、通電部10の少なくとも一部分は攪拌翼1の近傍に配置される。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

容器に収容された被処理物を加熱攪拌するための加熱攪拌装置であって、前記容器内に回転可能に配置され、少なくとも一部分に第 1 導電体部が形成された攪拌翼と、

第 2 導電体部と、前記第 2 導電体部の外周を覆う絶縁体とを有する通電部と、前記容器外部に配置され、前記通電部に高周波電流を供給する給電部とを備え、前記容器内において、前記通電部の少なくとも一部分は前記攪拌翼の近傍に配置される、加熱攪拌装置。

【請求項 2】

前記第 2 導電体部は、前記攪拌翼の外周に巻回された導電コイルを含み、前記導電コイルは、前記攪拌翼の前記外周に形成された溝部内に配置される、請求項 1 に記載の加熱攪拌装置。

【請求項 3】

前記第 2 導電体部は、前記攪拌翼の表面に貼り合わされた導電テープを含み、前記導電テープは、前記攪拌翼の前記表面に形成された溝部内に配置される、請求項 1 に記載の加熱攪拌装置。

【請求項 4】

前記攪拌翼は、第 1 の部分と、前記第 1 の部分に対向配置される第 2 の部分とを含み、前記通電部は、前記第 1 および第 2 の部分の間に配置される、請求項 1 に記載の加熱攪拌装置。

【請求項 5】

前記容器は、少なくとも一部分が第 3 導電部で形成されている、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の加熱攪拌装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、容器内に収容された被処理物を加熱攪拌するための加熱攪拌装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、下水処理場および廃水処理場などで大量に発生する下水汚泥からメタンガスを主成分とするバイオガスを回収する技術の実用化が進められている。下水汚泥からバイオガスを回収する一手法として、汚泥を減容および減量すると同時にメタンガスを回収することができるメタン発酵処理技術がある（たとえば、国際公開第 2012/132799 号公報（特許文献 1）参照）。このメタン発酵処理技術では、一般的に、メタン発酵槽に投入した下水汚泥を攪拌しながら加熱するための加熱攪拌装置が用いられる。

【0003】

加熱攪拌装置においては、従来、被処理物が収容された容器の外側に抵抗ヒータなどの加熱手段を配置し、加熱手段を用いて容器を加熱することで被処理物を加熱する構成が知られている（たとえば、実用新案登録第 3012756 号（特許文献 2）参照）。従来の加熱攪拌装置には、抵抗ヒータなどの加熱手段以外に、蒸気、温水および油などを熱源として使用するものもある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】国際公開第 2012/132799 号公報

【特許文献 2】実用新案登録第 3012756 号

【非特許文献】

【0005】

10

20

30

40

50

【非特許文献1】嶋田他、「誘導加熱攪拌翼による水あめの加熱攪拌同時操作における温度均一性および熱伝達特性」、公益社団法人 化学工学会、第81年会(2016)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記特許文献2に記載される容器外部に加熱手段を配置する構成では、被処理物の粘度が高くなると、被処理物の攪拌が困難となり、結果的に被処理物の温度のばらつきが大きくなるという課題がある。

【0007】

本願発明者らは、上記の課題を解決するため鋭意研究を重ねた結果、攪拌翼を電磁誘導加熱することにより高粘度の被処理物における温度ばらつきを低減できることを見出した(たとえば、嶋田他、「誘導加熱攪拌翼による水あめの加熱攪拌同時操作における温度均一性および熱伝達特性」、公益社団法人 化学工学会、第81年会(2016)(非特許文献1)参照)。

【0008】

その一方で、攪拌翼を電磁誘導加熱するためには、容器外部に電磁誘導コイルを配置する必要があるため、加熱攪拌装置の体格の小型化には限界が生じていた。また、電磁誘導コイルが発生した交番磁界を容器内の攪拌翼に十分鎖交させるためには、容器を非導電体で形成する必要があり、容器の形状および大きさ等が制約されていた。さらに、加熱攪拌装置の省電力化の要求を受けて、加熱効率の改善も求められていた。

【0009】

この発明は、かかる課題を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、装置の小型化および高い加熱効率を実現することができる加熱攪拌装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0010】

この発明によれば、容器に収容された被処理物を加熱攪拌するための加熱攪拌装置は、攪拌翼と、通電部と、給電部とを備える。攪拌翼は、容器内に回転可能に配置され、少なくとも一部分に第1導電体部が形成されている。通電部は、第2導電体部と、第2導電体部の外周を覆う絶縁体とを有する。給電部は、容器外部に配置され、通電部に高周波電流を供給する。容器内において、通電部の少なくとも一部分は攪拌翼の近傍に配置される。

【発明の効果】

【0011】

この発明によれば、高周波電流の通電部が容器内で攪拌翼の近傍に配置されているため、攪拌翼は、通電部が発生する交番磁界の電磁誘導作用によってジュール熱を発生するとともに、通電部にて発生するジュール熱を受けて加熱される。これにより、容器外部の電磁誘導コイルが不要となるため、加熱攪拌装置を小型化することができる。また、高い加熱効率を実現するため、加熱攪拌装置の省電力化に貢献することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】この発明の実施の形態に係る加熱攪拌装置の構成を概略的に示した図である。

【図2】図1のII-II線での断面図である。

【図3】通電部の他の構成例を説明する図である。

【図4】本実施の形態に係る加熱攪拌装置の電気的回路構成を説明する図である。

【図5】外部加熱方式の加熱攪拌装置(図5(a))および内部加熱方式の加熱攪拌装置(図5(b))の構成を概略的に示した図である。

【図6】外部加熱方式の加熱攪拌装置および内部加熱方式の加熱攪拌装置の各々について攪拌レイノルズ数と最大ばらつき温度との関係を示す図である。

【図7】外部加熱方式の加熱攪拌装置および内部加熱方式の加熱攪拌装置の各々について攪拌レイノルズ数と熱コンダクタンスとの関係を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8】 2 種類の内部加熱方式の加熱攪拌装置の相違点を説明するための図である。

【図 9】 内部通電型加熱攪拌装置における熱伝達経路を概略的に示した図である。

【図 10】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 11】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 12】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 13】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 14】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 15】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 16】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用される攪拌翼および通電部の構成例を説明する図である。

【図 17】 本実施の形態に係る加熱攪拌装置の変更例の構成を概略的に示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。なお、図中の同一又は相当部分には同一符号を付してその説明は繰返さない。

【0014】

[加熱攪拌装置の構成]

この発明の実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 は、容器 13 の内部に收容された被処理物 20 を加熱攪拌するための装置である。加熱攪拌装置 100 は、たとえば下水汚泥からバイオガスを回収する汚泥処理装置に適用することができる。

【0015】

まず、図 1 を参照して、本実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 の構成について説明する。なお、図 1 は、加熱攪拌装置 100 の軸方向 AX に沿った断面構造を示している。

【0016】

図 1 を参照して、加熱攪拌装置 100 は、攪拌翼 1 と、回転軸 2 と、封止部材 3, 15 と、給電部 4 と、導電線 9a, 9b と、通電部 10 と、容器 13 と、蓋部 14 とを備える。

【0017】

図 1 には、容器 13 の内部に被処理物 20 が收容されている状態が示されている。容器 13 には蓋部 14 が取り付けられている。容器 13 および蓋部 14 は、たとえば樹脂で形成されている。なお、容器 13 および蓋部 14 は、導電体および非導電体のいずれから構成されていてもよい。

【0018】

被処理物 20 は、たとえば下水汚泥である。ただし、被処理物 20 は、下水汚泥に限定されず、気体、液体、固体（紛体、粒体等）およびこれらの混合物のいずれにも適用可能である。

【0019】

攪拌翼 1 は、容器 13 の内部に配置されており、その一部分が被処理物 20 中に浸漬されている。攪拌翼 1 は、たとえばアンカー翼である。なお、後述するように、攪拌翼 1 には、被処理物 20 の粘度に応じて適当な形状の攪拌翼を用いることができる。

【0020】

攪拌翼 1 は、少なくとも一部分に導電体部（第 1 導電体部）が形成されている。攪拌翼 1 の少なくとも一部分は、代表的には金属で形成されている。当該少なくとも一部分はたとえばステンレス鋼（SUS304）で形成されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 1 】

具体的には、攪拌翼 1 は、その一部分を導電体で形成し、残りの部分を非導電体で形成した構造を採ることができる。あるいは、攪拌翼 1 全体を導電体で形成した構造を採ることができる。たとえば、攪拌翼 1 が軸部分と羽根部分とで構成されている場合、前者の構造として、羽根部分（もしくはその一部）を導電体で形成し、軸部分を含む残りの部分を非導電体で形成することができる。一方、後者の構造として、軸部分および羽根部分とともに導電体で形成することができる。以下の説明では、全体が導電体で形成されている攪拌翼 1 について例示する。

【 0 0 2 2 】

回転軸 2 は、軸方向 A X における一方端部が、容器 1 3 の内部にて攪拌翼 1 の主軸 1 a に接続されている。回転軸 2 は、たとえばステンレス鋼（SUS304）で形成されている。回転軸 2 の一方端部と主軸 1 a との間に封止部材 3 が配置されている。封止部材 3 は、回転軸 2 の一方端部と主軸 1 a との間の隙間を封止可能に構成されている。封止部材 3 には、たとえば絶縁性の O リングを用いることができる。

10

【 0 0 2 3 】

回転軸 2 は、蓋部 1 4 に形成された貫通孔 1 4 a に挿入されている。回転軸 2 と貫通孔 1 4 a との間には封止部材 1 5 が配置されている、封止部材 1 5 は、回転軸 2 と貫通孔 1 4 a との隙間を封止可能に構成されている。封止部材 1 5 は、たとえばメカニカルシールである。この場合、回転軸 2 の外周面にメカニカルシールを巻いた状態で回転軸 2 を貫通孔 1 4 a に挿入することで、封止部材 1 5 によって回転軸 2 と貫通孔 1 4 a との隙間を封止することができる。

20

【 0 0 2 4 】

容器 1 3 の外部において、回転軸 2 の軸方向 A X における他方端部は、図示しないモータの回転軸に連結されている。モータによって回転軸 2 を回転駆動させることにより、攪拌翼 1 が回転する。これにより、被処理物 2 0 が攪拌される。

【 0 0 2 5 】

給電部 4 は、容器 1 3 の外部に配置されており、通電部 1 0 に対して高周波電流を供給するように構成されている。具体的には、給電部 4 は、交流電源 5 と、高周波トランス 6 と、送電コイル 7 と、受電コイル 8 と、導電線 9 a , 9 b とを含む。

【 0 0 2 6 】

交流電源 5 はたとえば商用電源である。高周波トランス 6 は、交流電源 5 から電力を受けて高周波の交流電力を生成する。

30

【 0 0 2 7 】

送電コイル 7 は、高周波の交流電力を高周波トランス 6 から受けると、送電コイル 7 の周囲に生成される電磁界を通じて、受電コイル 8 へ非接触で送電する。すなわち、送電コイル 7 および受電コイル 8 は、非接触で電力を伝送する非接触給電を実現する。図 1 に示されるように、送電コイル 7 は、回転軸 2 の外周を囲うように配置されている。送電コイル 7 は、回転軸 2 の回転に対して静止状態を保ち得る。

【 0 0 2 8 】

受電コイル 8 は、送電コイル 7 から出力される高周波の電力を非接触で受電する。図 1 に示されるように、受電コイル 8 は、回転軸 2 の外周を囲うように配置されている。受電コイル 8 は、回転軸 2 と一体的に回転するように構成されている。

40

【 0 0 2 9 】

受電コイル 8 の一方端部には、導電線 9 a が電氣的に接続されている。受電コイル 8 の他方端部には、導電線 9 b が電氣的に接続されている。導電線 9 a , 9 b は、回転軸 2 の内部に形成された空間を通して容器 1 3 の内部に延びている。

【 0 0 3 0 】

通電部 1 0 は、容器 1 3 の内部に配置されている。容器 1 3 の内部において、導電線 9 a は通電部 1 0 の一方端部に電氣的に接続されている。導電線 9 b は通電部 1 0 の他方端部に電氣的に接続されている。これにより、受電コイル 8 から導電線 9 a , 9 b を通じて

50

通電部 10 に対して高周波電流が供給される経路が形成される。

【0031】

通電部 10 は、攪拌翼 1 に接触している。図 1 の例では、通電部 10 は、攪拌翼 1 の羽根部分に接触している。図 2 は、図 1 の I I - I I 線での断面図である。図 2 を参照して、通電部 10 は、導電体部 11 (第 2 導電体部) と、導電体部 11 の外周を覆う絶縁体 12 とを有している。導電体部 11 は、代表的に金属で形成されている。導電体部 11 は、たとえば、厚みが数 mm 程度のアルミ (Al) プレートで形成されている。絶縁体 12 は、たとえば金属酸化物で形成されている。導電体部 11 がアルミプレートである場合、絶縁体 12 はアルミナ (Al₂O₃) で形成することができる。

【0032】

通電部 10 は、たとえば接着剤を用いて攪拌翼 1 に接合されている。これにより、通電部 10 を電気絶縁性を保ちつつ攪拌翼 1 に接触させることができる。なお、通電部 10 と攪拌翼 1 との電氣的絶縁性が確保されれば、たとえば、図 3 に示すように、絶縁体 12 を攪拌翼 1 が覆う状態で、通電部 10 を攪拌翼 1 に接触させてもよい。

【0033】

なお、通電部 10 を攪拌翼 1 に接触させる他の形態としては、通電部 10 を攪拌翼 1 にねじ止めしてもよい。あるいは、接着剤やねじ等の固定部材を用いず、単に通電部 10 を攪拌翼 1 に重ね合わせるようにしてもよい。

【0034】

本実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 において、通電部 10 は、容器 13 の内部で、攪拌翼 1 の近傍に配置されている。「攪拌翼 1 の近傍に配置される」とは、攪拌翼 1 と通電部 10 との間隔が閾値以下であることを意味する。図 1 に示したように、通電部 10 が攪拌翼 1 に接触している構成は、攪拌翼 1 と通電部 10 との間隔が実質的に 0 であるため、これに当て嵌まる。一方、図 1 の構成とは対照的に、攪拌翼 1 および通電部 10 の表面同士が離間している構成であっても、その間隔が閾値以下であればこれに当て嵌まる。

【0035】

なお、上記「閾値」は、通電部 10 と攪拌翼 1 との間に電氣的結合を形成することができる間隔とされる。電氣的結合を形成することができる間隔とは、電磁誘導の現象を生じさせることができる間隔をいう。本実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 では、通電部 10 と攪拌翼 1 との間に電氣的結合が形成されることで、後述するように、両者の間で電磁誘導作用を利用することが可能となる。したがって、上記の「攪拌翼 1 の近傍に配置される」という表現は、「攪拌翼 1 との間に電氣的結合を形成することが可能な位置に配置される」と言い換えることもできる。

【0036】

続いて、図 4 を参照して、本実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 の電氣的回路構成を説明する。図 4 を参照して、高周波トランス 6 は、交流電源 5 からの電力を受けて高周波の交流電力を生成する。送電コイル 7 は、高周波トランス 6 から高周波の交流電力の供給を受け、受電コイル 8 へ非接触で電力を伝送する。受電コイル 8 は、送電コイル 7 から高周波の交流電力を受けると、導電線 9 a, 9 b を通じて通電部 10 に高周波電流を供給する。なお、通電部 10 に高周波電流を供給するための電流経路には、直流 (DC) カット用のキャパシタ C 1 が接続されている。

【0037】

通電部 10 に高周波電流を流すと、時間的に変化する交番磁界が発生する。この交番磁界が攪拌翼 1 の導電体部に鎖交すると、導電体部の内部で電磁誘導作用が生じて起電力が誘導される。この起電力によって、導電体部に渦状の誘導電流 (渦電流) が発生する。渦電流は、導電体部の電気抵抗によってジュール熱に変換される。攪拌翼 1 の導電体部に発生したジュール熱は、被処理物 20 に伝達されることにより、被処理物 20 を加熱する。

【0038】

このように、本実施の形態に係る加熱攪拌装置 100 では、攪拌翼 1 を加熱することで、攪拌翼 1 から熱を受けて被処理物 20 が加熱される。すなわち、加熱攪拌装置 100 は

10

20

30

40

50

、被処理物 20 を加熱するための熱源を容器 13 の内部に有している。本願明細書では、このような加熱方式を「内部加熱方式」と称する。これに対して、被処理物 20 を加熱するための熱源を容器 13 の外部に有する加熱方式を「外部加熱方式」と称する。

【0039】

[外部加熱方式の説明]

従来の加熱攪拌装置においては、外部加熱方式が一般的に採用されていた。図 5 (a) に、外部加熱方式の加熱攪拌装置の一構成例を示す。本構成例では、被処理物 40 を収容した容器 30 の壁面の外周側に導電線 32 が巻回されている。導電線 32 には図示しない電源が電氣的に接続されている。容器 30 はたとえば金属製容器である。攪拌翼 34 は、たとえば複数枚の平羽根を有するディスクタービン翼である。

10

【0040】

この状態で導電線 32 に電流を流すと、導電線 32 の電気抵抗に起因してジュール熱が発生する。なお、ジュール熱は抵抗を流れる電流の 2 乗値に比例する。図中に破線矢印で示されるように、発生したジュール熱が容器 30 の壁面から内側へと伝達されることにより、被処理物 40 が加熱される。

【0041】

しかしながら、本願発明者らが鋭意研究を重ねた結果、上述した外部加熱方式では、被処理物 40 の粘度が高くなると、被処理物の温度の均一化が難しくなるという新たな課題が生じ得ることを見出した。そして、その新たな課題に対する新たな解決手段として、本願発明者らは内部加熱方式に想到した（たとえば、非特許文献 1 を参照）。以下、このような新たな課題、およびその新たな課題に対する新たな解決手段である内部加熱方式について説明する。

20

【0042】

[内部加熱方式の説明]

図 5 (b) に、本願発明者らが考案した内部加熱方式の加熱攪拌装置の一構成例を示す。本構成例では、被処理物 40 を収容した容器 30 の底面の下側に電磁誘導コイル 38 が配置されている。電磁誘導コイル 38 は、銅等の導電線材をコイル状に巻回したものである。電磁誘導コイル 38 には図示しない高周波電源が接続されている。

【0043】

容器 30 は非導電体からなり、たとえばアクリル樹脂で形成されている。攪拌翼 34 は導電体からなり、たとえばステンレス鋼 (S U S 3 0 4) で形成されている。攪拌翼 34 は、図 5 (a) の攪拌翼 34 と同一の構造を有するディスクタービン翼である。

30

【0044】

電磁誘導コイル 38 に高周波電流を流すと、交番磁界が発生する。この交番磁界を受けて攪拌翼 34 の内部で電磁誘導作用が生じることにより、攪拌翼 34 に渦電流が発生する。渦電流は、攪拌翼 34 の電気抵抗によって、ジュール熱に変換される。攪拌翼 34 に発生したジュール熱は、図中に破線矢印で示されるように、被処理物 40 に伝達されることにより、被処理物 40 を加熱する。

【0045】

このように、内部加熱方式では、攪拌翼 34 を電磁誘導加熱することによって被処理物 40 を加熱する。すなわち、攪拌翼 34 によって被処理物の攪拌と加熱とを一元化することができる。このようにすると、被処理物 40 の攪拌と加熱とが容器 30 の内外で別々に行なわれる外部加熱方式に比べて、良好な熱伝達特性を得ることができる。これにより、被処理物 40 の温度の均一化を促進することができる。以下、その理由について説明する。

40

【0046】

図 6 に、図 5 (a) に示す外部加熱方式の加熱攪拌装置および図 5 (b) に示す内部加熱方式の加熱攪拌装置の各々について、被処理物の温度ばらつきを評価した結果を示す。図 6 の横軸は攪拌レイノルズ数 $R e$ を示し、縦軸は最大ばらつき温度 $T_{max} [K]$ を示す。

50

【 0 0 4 7 】

攪拌レイノルズ数 Re とは、慣性力と粘性力との比を表したものである。慣性力は、概して流体が動き続けようとする力に相当する。粘性力は、概して流体が動こうとするのを止めようとする力に相当する。攪拌レイノルズ数 Re は、容器内の被処理物である流体の運動に対する粘性の影響を表わす無次元数であり、次式 (1) で定義される。

【 0 0 4 8 】

$$Re = \rho \cdot n \cdot d^2 / \mu \quad \dots (1)$$

式 (1) において、 ρ は被処理物の密度 [kg / m^3]、 n は攪拌翼の回転速度 [rpm]、 d は攪拌翼の直径 [m]、 μ は被処理物の粘度 [$kg / (m \cdot s)$] である。

【 0 0 4 9 】

式 (1) で与えられる攪拌レイノルズ数 Re は、攪拌翼の回転速度 n が高くなるほど慣性力が大きくなるため、大きな値となる。一方、被処理物の粘度 μ が高くなるほど粘性力が大きくなるため、攪拌レイノルズ数 Re は小さな値となる。

【 0 0 5 0 】

被処理物の最大ばらつき温度 T_{max} は、加熱攪拌動作の実行中において、攪拌翼 3 4 の主軸からの水平方向の距離、および容器 3 0 の底面からの高さの少なくとも一方が互いに異なる複数の測定点において被処理物 4 0 の温度を測定し、その得られた複数の温度測定値のうち最高値と最低値との差を算出したものである。

【 0 0 5 1 】

図 6 において、 k_1 は外部加熱方式の加熱攪拌装置における攪拌レイノルズ数 Re と最大ばらつき温度 T_{max} との関係を示す。 k_2 は内部加熱方式の加熱攪拌装置における攪拌レイノルズ数 Re と最大ばらつき温度 T_{max} との関係を示す。

【 0 0 5 2 】

図 6 に示されるように、外部加熱方式および内部加熱方式のいずれにおいても、攪拌レイノルズ数 Re と最大ばらつき温度 T_{max} との間には、攪拌レイノルズ数 Re が大きくなるほど最大ばらつき温度 T_{max} が小さくなるという相関があることが確認された。

【 0 0 5 3 】

さらに、外部加熱方式と内部加熱方式との間で上記の相関を比較すると、同じ攪拌レイノルズ数 Re に対する最大ばらつき温度 T_{max} は、内部加熱方式の方が外部加熱方式よりも小さくなることが確認された。

【 0 0 5 4 】

ここで、内部加熱方式が外部加熱方式に比べて被処理物の温度ばらつきが小さくなることの理由としては、容器内部に形成される温度分布の違いが挙げられる。詳細には、外部加熱方式では、導電線 3 2 が巻回される容器 3 0 の壁面付近において被処理物 4 0 の温度が局所的に高くなり、容器 3 0 の壁面付近の高温部分と中心側の低温部分との間に分厚い温度境界層が形成される。これに対して、内部加熱方式では、熱源となる攪拌翼 3 4 が回転しているため、温度境界層が薄くなり、結果的に被処理物 4 0 の温度の均一化に寄与し得る。

【 0 0 5 5 】

なお、外部加熱方式では、被処理物 4 0 の粘度 μ が高くなるほど、または攪拌翼 3 4 の回転速度 n が低くなるほど (すなわち、攪拌レイノルズ数 Re が小さくなるほど)、攪拌力が弱まって温度境界層が分厚くなるため、被処理物 4 0 の温度ばらつきも大きくなる傾向がある。一方、内部加熱方式は、攪拌レイノルズ数 Re が小さくなくても、温度境界層が分厚くなることを抑制できるため、被処理物 4 0 の温度ばらつきを小さくすることができる。

【 0 0 5 6 】

さらに、本願発明者らは、外部加熱方式および内部加熱方式の各々について熱伝達特性を評価することにより、熱伝達特性と被処理物の温度ばらつきとの関係について検証した。熱伝達特性の評価では、外部加熱方式および内部加熱方式の各々について、熱コンダク

10

20

30

40

50

タンズ $h A$ を算出し、その算出した熱コンダクタンス $h A$ と攪拌レイノルズ数 Re との関係を導出した。

【 0 0 5 7 】

詳細には、外部加熱方式（図 5（a）参照）において、容器 30 の壁面と被処理物 40 との間の熱伝達過程における伝熱量 $W 1$ は、次式（2）で与えられる。なお、伝熱量 $W 1$ は、電源から導電線 32 への入力電力によって決まる。

【 0 0 5 8 】

$$W 1 = h 1 \cdot A 1 \cdot T 1 \quad \dots (2)$$

式（2）において、 $h 1$ は容器 30 と被処理物 40 との間の熱伝達率を示し、 $A 1$ は容器 30 の表面積を示し、 $T 1$ は容器 30 の壁面の平均温度と被処理物 40 の平均温度との温度差を示す。 $h 1 \cdot A 1$ は外部加熱方式における熱コンダクタンスを表している。

10

【 0 0 5 9 】

一方、内部加熱方式（図 5（b）参照）において、攪拌翼 34 と被処理物 40 との間の熱伝達過程における伝熱量 $W 2$ は、次式（3）で与えられる。なお、伝熱量 $W 2$ は、高周波電源から電磁誘導コイル 38 への入力電力によって決まる。

【 0 0 6 0 】

$$W 2 = h 2 \cdot A 2 \cdot T 2 \quad \dots (3)$$

式（3）において、 $h 2$ は攪拌翼 34 と被処理物 40 との間の熱伝達率を示し、 $A 2$ は攪拌翼 34 の表面積を示し、 $T 2$ は攪拌翼 34 の平均温度と被処理物 40 の平均温度との温度差を示す。 $h 2 \cdot A 2$ は内部加熱方式における熱コンダクタンスを示す。

20

【 0 0 6 1 】

外部加熱方式および内部加熱方式の各々において、攪拌レイノルズ数 Re と熱コンダクタンス $h A$ との関係を導出した。図 7 に、攪拌レイノルズ数 Re と熱コンダクタンス $h A$ との関係を示す。図 7 の横軸は攪拌レイノルズ数 Re を示し、縦軸は熱コンダクタンス $h A$ を示す。

【 0 0 6 2 】

図 7 において、白菱形は外部加熱方式の加熱攪拌装置における攪拌レイノルズ数 Re と熱コンダクタンス $h A$ との関係を示す。黒四角は内部加熱方式の加熱攪拌装置における攪拌レイノルズ数 Re と熱コンダクタンス $h A$ との関係を示す。

【 0 0 6 3 】

図 7 に示されるように、外部加熱方式では、攪拌レイノルズ数 Re の大きさによらず、熱コンダクタンス $h A$ は略一定値を示すことが確認された。一方、内部加熱方式では、攪拌レイノルズ数 Re と熱コンダクタンス $h A$ との間に、攪拌レイノルズ数 Re が大きくなるほど熱コンダクタンス $h A$ が大きくなるという相関があることが確認された。

30

【 0 0 6 4 】

この相関を、図 6 に示した攪拌レイノルズ数 Re と最大ばらつき温度 T_{max} との関係に組み合わせると、攪拌レイノルズ数 Re が大きくなるほど、熱コンダクタンス $h A$ が大きくなる一方で、最大ばらつき温度 T_{max} が小さくなることが分かる。

【 0 0 6 5 】

さらに、図 7 からは、同じ攪拌レイノルズ数 Re に対する熱コンダクタンス $h A$ は、内部加熱方式の方が外部加熱方式よりも大きくなることが確認された。上述のように、図 6 からは、同じ攪拌レイノルズ数 Re に対する最大ばらつき温度 T_{max} は、内部加熱方式の方が外部加熱方式よりも小さくなることが確認されている。これらは、熱コンダクタンス $h A$ が大きくなると、最大ばらつき温度 T_{max} が小さくなるという相関にも当てはまる。

40

【 0 0 6 6 】

以上の評価結果から、熱コンダクタンス $h A$ と被処理物の温度ばらつきとは密接な関係性を有していることが理解される。本願発明者らは、内部加熱方式は、外部加熱方式に比べて、熱コンダクタンス $h A$ が大きいいため、被処理物の温度ばらつきを小さくすることができるものと考えている。これは、攪拌レイノルズ数 Re が小さくなる状態、たとえば被

50

処理物の粘度 μ が高い状態、または攪拌翼の回転速度 n が低い状態において、内部加熱方式が外部加熱方式に比べて、被処理物の温度均一性が優れていることを表している。

【0067】

以上の関係は、攪拌翼にディスクタービン翼を用いた場合で得られたものであるが、アンカー翼やマックスブレンド翼などの中・高粘度対応の攪拌翼を用いた場合においても、この関係は成り立つものと思われる。すなわち、中・高粘度対応の攪拌翼を用いた場合においても、内部加熱方式は、外部加熱方式に比べて、熱コンダクタンス hA が大きく、それ故に、被処理物の温度ばらつきが小さいという優位性が保たれるものと思われる。

【0068】

上述した利点を備えた内部加熱方式について、本願発明者らはさらに鋭意研究を進めた。その結果、図1に示したような、高周波電流の通電部10の少なくとも一部分を攪拌翼1に接触させる構成において、装置の小型化および加熱効率の向上を含む優れた効果が得られることを見出した。以下、図8を参照して、本実施の形態により得られる主な効果をまとめて説明する。

10

【0069】

図8には、内部加熱方式の加熱攪拌装置として、2種類の加熱攪拌装置が示されている。図8の紙面に向かって左側には図5(b)に示した加熱攪拌装置が示されている。紙面に向かって右側には図1に示した本実施の形態に係る加熱攪拌装置が示されている。

【0070】

図5(b)の加熱攪拌装置は、高周波電流の通電部である電磁誘導コイルが容器の底面の下側に配置されている。以下の説明では、図5(b)の加熱攪拌装置を、通電部が容器外部に配されていることから、「外部通電型加熱攪拌装置」とも称する。これに対して、本実施の形態に係る加熱攪拌装置では、高周波電流の通電部が容器の内部において攪拌翼に接触されている。よって、本実施の形態に係る加熱攪拌装置を「内部通電型加熱攪拌装置」とも称する。以下、これら2種類の加熱攪拌装置の相違点について説明する。

20

【0071】

(1) 通電部の構成

外部通電型加熱攪拌装置では、容器外部に通電部である電磁誘導コイルが配置されているため、装置の体格が大きくなるという課題がある。たとえば図5(b)のように、電磁誘導コイルを容器の底面の下側に配置する構成では、装置の体格が軸方向 AX に大きくなってしまふ。装置の体格が大きくなることを抑えるためには、電磁誘導コイルを、巻軸方向の厚みが薄肉となる扁平形状に成形することが好ましい。

30

【0072】

これに対して、内部通電型加熱攪拌装置においては、通電部を容器内部に収めているため、装置の体格が大きくなることを抑制することができる。また、通電部は導電体で形成されていればよい。そのため、通電部は、攪拌翼に接触しやすい形状となるように、攪拌翼の形状に応じて適当な形状を採ることができる。攪拌翼および通電部の構成例については後述する。

【0073】

また、通電部はアルミプレート等の導電体で形成することができるため、攪拌翼に通電部を貼り合わせることで、攪拌翼と通電部とを容易に接触させることができる。さらに、通電部を薄膜の導電体とすれば、通電部を接触させることで攪拌翼が大きくなることもない。

40

【0074】

(2) 攪拌翼の位置制約

外部通電型加熱攪拌装置においては、容器の底面の下側に位置する電磁誘導コイルが発生する交番磁界を攪拌翼に十分に鎖交させるため、攪拌翼を容器の底面に近づけて配置することが好ましい。このように、電磁誘導コイルの配置位置に応じて電磁誘導コイルの配置位置を決める必要があり、攪拌翼の配置位置に制約が生じ易い。

【0075】

50

これに対して、内部通電型加熱攪拌装置では、通電部と攪拌翼とが接触しているため、通電部および攪拌翼の間に電氣的結合が形成され、結果的に通電部が発生する交番磁界を攪拌部に十分鎖交させることができる。よって、攪拌翼の配置位置に制約が生じないため、設計の自由度を高くすることができる。攪拌翼がどのような位置に配置されていても、攪拌翼の近傍に通電部が配置されていれば、通電部と攪拌翼とを電氣的に結合することができるためである。

【 0 0 7 6 】

(3) 攪拌翼の形状制約

外部通電型加熱攪拌装置では、容器の底面に対して垂直に延びる磁束をできるだけ多く攪拌翼に鎖交させるために、攪拌翼は、容器の底面に平行に延在する平面を有することが好ましい。そのため、たとえばディスクタービン翼などのディスク形状を有する攪拌翼を用いることが好ましい。このように、交番磁界の向きに応じて攪拌翼の形状を決める必要があり、攪拌翼の形状に制約が生じ易い。

10

【 0 0 7 7 】

一方、内部通電型加熱攪拌装置では、上述したように、通電部と攪拌翼とが接触しているため、通電部が発生する交番磁界を攪拌部に十分鎖交させることができる。よって、攪拌翼の位置と同様、攪拌翼の形状にも制約が生じないため、設計の自由度を高くすることができる。

【 0 0 7 8 】

(4) 被処理物の粘度制約

加熱攪拌装置において、一般的に、被処理物および攪拌目的に応じて、攪拌翼の回転速度および形状が定められる。たとえば、図 5 (a) および (b) に示されるディスクタービン翼は、攪拌レイノルズ数 Re が中～高程度となる範囲（たとえば、被処理物の粘度が低い場合、または攪拌翼の回転速度が高い場合）において好適に用いられる。一方、図 1 に示されるアンカー翼は、攪拌レイノルズ数 Re が低～中程度となる範囲（たとえば、被処理物の粘度が高い場合、または、攪拌翼の回転速度が低い場合）において好適に用いられる。

20

【 0 0 7 9 】

しかしながら、外部通電型加熱攪拌装置では、上記 (3) 攪拌翼の形状制約の項目で説明したように、電磁誘導加熱の行ないやすさの観点から、ディスク形状を有する攪拌翼を用いることが好ましい。そのため、攪拌レイノルズ数 Re は中～高の範囲内にあることが好ましいとされ、結果的に被処理物は粘度が低いことが好ましいとされる。

30

【 0 0 8 0 】

これに対して、内部通電型加熱攪拌装置では、上述したように、攪拌翼の形状に制約がないため、被処理物の粘度においても制約が課されることがない。したがって、被処理物の粘度が高い場合であっても、その粘度に見合った攪拌翼を使用することができるため、被処理物の粘度に制約がない。

【 0 0 8 1 】

(5) 容器の材質制約

外部通電型加熱攪拌装置では、容器外部の電磁誘導コイルが発生した交番磁界を、容器内部の攪拌翼に十分に鎖交させるため、容器を非導電体で形成する必要がある。そのため、容器の材質に制約が生じ易い。なお、非導電体からなる容器は、一般的に、金属等の導電体からなる容器に比べて機械的強度が劣るため、容器の大型化や高圧化が不利となり得る。

40

【 0 0 8 2 】

これに対して、内部通電型加熱攪拌装置では、通電部が容器内部に収められているため、容器を介さずに攪拌翼に交番磁界を鎖交させることができる。そのため、容器の材質に制約が生じないため、設計の自由度を高くすることができる。したがって、容器の大型化や高圧化にも容易に対応し得る。

【 0 0 8 3 】

50

たとえば、容器を透明材料で形成することで、加熱攪拌処理の実行中の被処理物の状態を観察することができる。あるいは、容器の少なくとも一部分を導電体で形成してもよい。このようにすると、通電部が発生した交番磁界を容器の導電体部分に鎖交させることができるため、容器も電磁誘導加熱することが可能となる。

【0084】

(6) 加熱効率

一般的に、加熱攪拌装置における加熱効率は、投入した熱量に対する被処理物の加熱に使用される熱量の比で定義される。加熱効率が高いほど、投入熱量を小さくできるため、消費電力を低減することができる。

【0085】

ここで、上述した外部加熱方式(図5(a)参照)および内部加熱方式(図5(b)参照)において加熱効率を比較すると、内部加熱方式の方が外部加熱方式よりも加熱効率を高くすることができる。

【0086】

詳細には、外部加熱方式では、投入した熱量は、被処理物の加熱に使用されるとともに、容器の加熱に使用される。一方、内部加熱方式では、投入した熱量は、被処理物の加熱に使用されるとともに、攪拌翼の加熱に使用される。

【0087】

上述したように、内部加熱方式は外部加熱方式に比べて熱コンダクタンス hA が大きい。そのため、攪拌翼と被処理物との温度差が、容器と被処理物との温度差より大きい場合であっても、容器から被処理物に伝達される熱量と同量の熱量を攪拌翼から被処理物に伝達することができる。言い換えると、同じ熱量を被処理物に伝達する場合であれば、攪拌翼の加熱温度は容器の加熱温度よりも低くてよい。さらに、容器と攪拌翼とでは、一般的に攪拌翼の方が容器よりも熱容量が小さい。

【0088】

これらの理由により、攪拌翼の加熱に使用される熱量は、容器の加熱に使用される熱量よりも小さく済むことになる。その結果、投入熱量が同じであれば、内部加熱方式では、外部加熱方式に比べてより大きな熱量を被処理物の加熱に使うことができるため、被処理物の加熱速度を高めることができる。逆に言えば、同じ加熱速度を得るために、内部加熱方式は、外部加熱方式に比べて投入熱量を小さくできる。よって、消費電力を低減することができる。

【0089】

さらに、この内部加熱方式において、外部通電型と内部通電型とで加熱効率を比較すると、以下のような理由から、内部通電型は、外部通電型に比べて高い加熱効率を実現することができる。

【0090】

図9に、内部通電型加熱攪拌装置における熱伝達経路を概略的に示す。図9では、2つの構成要素間の電氣的接続または電氣的結合が破線で示され、当該構成要素間の熱的接続が実線で示されている。

【0091】

図9を参照して、内部通電型加熱攪拌装置において、受電コイル8および通電部10は電氣的に接続されている。さらに、通電部10および攪拌翼1は電氣的に結合されている。これにより、受電コイル8から高周波電流の供給を受けて通電部10が発生する交番磁界によって攪拌翼1が電磁誘導加熱される。そして、攪拌翼1と被処理物20との間の熱的接続により、被処理物20が加熱される。

【0092】

さらに、通電部10は、攪拌翼1に熱的に接続されるとともに、被処理物20に熱的に接続されている。通電部10に高周波電流を流すと、通電部10の電気抵抗によってジュール熱が発生する。通電部10が発生したジュール熱は、攪拌翼1および被処理物20にそれぞれ伝達される。

10

20

30

40

50

【0093】

このように、内部通電型によれば、攪拌翼1が発生するジュール熱に加えて、通電部10が発生するジュール熱を被処理物20の加熱に用いることができる。したがって、投入熱量が同じであれば、内部通電型は、外部通電型に比べてより大きな熱量を被処理物20の加熱に使用することができる。このため、被処理物20の加熱速度を高めることができる。逆に言えば、同じ加熱速度を得るために、内部通電型は、外部通電型に比べて投入熱量を小さくできる。よって、加熱効率が高くなり、消費電力を低減することができる。

【0094】

また、内部通電型は、外部通電型に比べて、被処理物20の温度制御において目標温度への高い応答性を実現することができる。

10

【0095】

ここで、攪拌翼1にジュール熱を発生させる手法としては、本実施の形態のように、通電部10に高周波電流を通電して攪拌翼1に渦電流を発生させる構成の他に、攪拌翼1に直接的に直流電流を通電し、攪拌翼1の電気抵抗によってジュール熱を発生させる構成を採ることができる。

【0096】

しかしながら、攪拌翼1に直流電流を通電する構成では、被処理物20の加熱に十分な熱量を得るために、攪拌翼1の導電体部分の電気抵抗を高くする必要がある。また、大電流を攪拌翼1に流すために高電圧の直流電源が必要となる。

【0097】

これに対して、通電部10に高周波電流を通電する構成では、高周波電流の表皮効果によって、電流は通電部10の全体を均等に流れるのではなく、通電部10の表面上もしくは表面付近に集中して流れる。これにより、通電部10の実質的な電気抵抗を高くすることができるため、小さな電流でも十分な熱量を通電部10に発生させることができる。

20

【0098】

また、攪拌翼1に電流を直接的に通電する場合、攪拌翼1の形状によっては電流経路を確保することが難しいという課題がある。よって、攪拌翼1の形状に制約が生じる。一方、本実施の形態によれば、導電体で形成された通電部10を攪拌翼1に接触させることで、容易に電流経路を形成することができる。

【0099】

以上のように、本実施の形態に係る加熱攪拌装置によれば、導電体からなる通電部10により、攪拌翼1の形状によらず高周波電流の経路を容易に確保することができるとともに、高周波電流の表皮効果によって、小電流で大きなジュール熱を通電部10に発生させることができる。さらに、攪拌翼1においても、表皮効果によって渦電流が攪拌翼1の表面上または表面付近に集中して流れることから、大きなジュール熱を攪拌翼1に発生させることができる。この結果、攪拌翼1に直流電流を通電する構成に比べて、装置の体格を小型化できるとともに、加熱効率を高めることができる。

30

【0100】

[攪拌翼および通電部の構成例]

以下、図10から図16を参照して、本実施の形態に係る加熱攪拌装置に適用され得る攪拌翼および通電部の構成例について説明する。図8で説明したように、本実施の形態に係る内部通電型加熱攪拌装置は、攪拌翼の位置および形状に対する制約がない。したがって、被処理物の粘度および攪拌翼の回転速度に応じて適当な形状の攪拌翼を用いることができる。

40

【0101】

最初に、図10および図11を参照して、ディスクタービン翼からなる攪拌翼および通電部の構成例を説明する。ディスクタービン翼は、主に低粘度の被処理物の攪拌に使用される攪拌翼である。

【0102】

図10(a)は、攪拌翼1を主軸1aの上方から見た図である。図10(b)は、図1

50

0 (a) 中の線 X - X に沿った断面図である。

【 0 1 0 3 】

図 1 0 (a) に示されるように、攪拌翼 1 は、その外周に沿って複数枚の羽根が配置された円盤形状を有している。通電部 1 0 は攪拌翼 1 の外周面に巻回されている。通電部 1 0 において、導電体部はたとえば導電コイルである。導電コイルはたとえばアルミで形成されている。導電体部の外周を覆う絶縁体 1 2 はたとえばアルミナで形成されている。

【 0 1 0 4 】

図 1 0 (b) を参照して、通電部 1 0 は、攪拌翼 1 の外周面に形成された溝部 1 b 内に配置されている。なお、通電部 1 0 を巻回した後、溝部 1 b 内に熱硬化性樹脂などの絶縁物を含浸させることにより、攪拌翼 1 に通電部 1 0 を接触させるとともに、攪拌翼 1 の外周面を平滑にすることができる。あるいは、溝部 1 b 内に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませてもよい。

10

【 0 1 0 5 】

攪拌翼 1 の外周面に通電部 1 0 を巻回すると、攪拌翼 1 の表面に出っ張りが生じるため、本来の攪拌翼の形状が損なわれてしまう場合がある。このような場合、攪拌翼の動力数が設計値からずれてしまい、攪拌動力も設計値からずれてしまう可能性がある。図 1 0 (b) に示すように、通電部 1 0 を攪拌翼 1 に埋め込んだ構成とすることにより、本来の攪拌翼 1 の形状を損なうことなく、攪拌翼 1 と通電部 1 0 とを接触することができる。

【 0 1 0 6 】

図 1 1 (a) は、攪拌翼 1 を主軸 1 a の上方から見た図である。図 1 1 (b) は、図 1 1 (a) 中の線 X I - X I に沿った断面図である。

20

【 0 1 0 7 】

図 1 1 (a) を参照して、通電部 1 0 は、攪拌翼 1 の表面の平面部分に貼り合わされている。通電部 1 0 において、導電体部はたとえば導電テープである。導電テープはたとえばアルミで形成されている。導電体部の外周を覆う絶縁体はたとえばアルミナで形成されている。

【 0 1 0 8 】

図 1 1 (b) に示されるように、通電部 1 0 は、攪拌翼 1 の表面の平面部分に形成された溝部 1 b 内に配置されている。通電部 1 0 を貼り合せた後、溝部 1 b 内に熱硬化性樹脂を含浸させることにより、攪拌翼 1 に通電部 1 0 を接触させるとともに、攪拌翼 1 の表面を平滑にすることができる。あるいは、溝部 1 b 内に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませてもよい。これにより、本来の攪拌翼 1 の形状を保つことができる。

30

【 0 1 0 9 】

次に、図 1 2 から図 1 4 を参照して、マックスブレンド翼からなる攪拌翼および通電部の構成例を説明する。マックスブレンド翼は、主に中粘度の被処理物の攪拌に使用される攪拌翼である。

【 0 1 1 0 】

図 1 2 (a) は、攪拌翼 1 を主軸 1 a に垂直な方向から見た図である。図 1 2 (b) は、図中の矢印 X I I 1 の向きから見た部分斜視図である。図 1 2 (c) は、図中の線 X I I 2 - X I I 2 に沿った断面図である。

40

【 0 1 1 1 】

図 1 2 (a) を参照して、攪拌翼 1 は、複数の貫通孔が格子状に形成された平板形状を有している。通電部 1 0 は攪拌翼 1 の平板部分の側面に巻回されている。通電部 1 0 において、導電体部はたとえば導電コイルである。

【 0 1 1 2 】

図 1 2 (b) および (c) を参照して、通電部 1 0 は、攪拌翼 1 の平板部分の側面に形成された溝部 1 b 内に配置されている。なお、通電部 1 0 を巻回した後、溝部 1 b 内に熱硬化性樹脂などの絶縁物を含浸させることにより、攪拌翼 1 に通電部 1 0 を接触させるとともに、攪拌翼 1 の側面を平滑にすることができる。これにより、本来の攪拌翼 1 の形状を保つことができる。あるいは、溝部 1 b 内に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませ

50

もよい。

【0113】

図13(a)は、攪拌翼1を主軸1aに垂直な方向から見た図である。図13(b)は、図中の線XIII-XIIIに沿った断面図である。

【0114】

図13(a)を参照して、通電部10は、攪拌翼1の平板部分の表面に貼り合わされている。通電部10において、導電体部はたとえば導電テープである。図13(b)に示されるように、通電部10は、攪拌翼1の平板部分の表面に形成された溝部1b内に配置されている。通電部10を貼り合せた後、溝部1b内に熱硬化性樹脂などの絶縁物を含浸させることにより、攪拌翼1に通電部10を接触させるとともに、攪拌翼1の表面を平滑にすることができる。これにより、本来の攪拌翼1の形状を保つことができる。あるいは、溝部1b内に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませてもよい。

10

【0115】

図14(a)は、攪拌翼1を主軸1aに垂直な方向から見た図である。図14(b)、(c)は、図中の線XIV-XIVに沿った断面図である。

【0116】

図14(a)を参照して、攪拌翼1は、第1の部分1Aおよび第2の部分1Bを含む。第1の部分1Aと第2の部分1Bとは軸方向AXに沿って対向するように配置されている。図14の例では、第1の部分1Aおよび第2の部分1Bは、攪拌翼1の平板部分を軸方向AXに沿って2分割することによって形成されている。なお、第1の部分1Aおよび第2の部分1Bの少なくとも一方は、少なくとも一部分に導電体部(第1導電体部)が形成されている。

20

【0117】

図14(b)に示されるように、通電部10は、第1の部分1Aと第2の部分1Bとの間に配置されている。通電部10において、導電体部はたとえば導電テープである。たとえば、第1の部分1Aに通電部10を貼り合せた後、第1の部分1Aと第2の部分1Bとを貼り合わせることで、攪拌翼1に通電部10を接触させることができる。なお、第1の部分1A内に通電部10を埋め込ませてもよい。

【0118】

なお、通電部10は、図14(b)に示されるように、コイルの巻き数が1である単巻きコイルであってもよく、図14(c)に示されるように、コイルの巻き数が2以上である複数巻きコイルであってもよい。

30

【0119】

図14に示す構成例によれば、通電部10を第1の部分1Aおよび第2の部分1Bで挟み込むことにより、通電部10が発生したジュール熱を第1の部分1Aおよび第2の部分1Bに対して均等に伝達することができる。これにより、攪拌翼1と被処理物との間の熱伝達率を上昇させることができるため、結果的に加熱効率を向上させることができる。

【0120】

また、図14に示す構成例では、通電部10が攪拌翼1の強度を補強する働きをするため、攪拌翼1の堅牢性を高めることができる。

40

【0121】

最後に、図15および図16を参照して、ヘリカル翼からなる攪拌翼および通電部の構成例を説明する。ヘリカル翼は、主に高粘度の被処理物の攪拌に使用される攪拌翼である。

【0122】

図15は、攪拌翼1を主軸に垂直な方向から見た図である。図15を参照して、攪拌翼1は、帯状の翼を螺旋状に配置させたものである。通電部10は帯状の翼の外周面に巻回されている。通電部10において、導電体部はたとえば導電コイルである。通電部10は、攪拌翼1の外周面に形成された溝部(図示せず)内に配置されている。なお、通電部10を巻回した後、溝部内に熱硬化性樹脂を含浸させることにより、攪拌翼1に通電部10

50

を接触させるとともに、攪拌翼 1 の外周面を平滑にすることができる。あるいは、溝部に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませてもよい。

【0123】

容器 13 は、少なくとも一部分に導電体部（第 3 導電体部）が形成されている。容器 13 の導電体部は、通電部 10 に近い位置に形成されていることが好ましい。通電部 10 に近い位置とは、通電部 10 と電氣的に結合することができる位置であって、通電部 10 が発生した交番磁界を十分鎖交することができる位置を意味する。図 15 の例では、容器 13 の壁面に、通電部 10 と対向するように導電体部を配置することが好ましい。このようにすると、通電部 10 が発生した交番磁界を容器 13 の導電体部に鎖交させることにより、攪拌翼 1 を加熱するとともに、容器 13 を電磁誘導加熱することができる。よって、加熱効率を一層向上させることができる。

10

【0124】

図 16 (a) は、攪拌翼 1 を主軸に垂直な方向から見た図である。図 16 (b) は、図中の線 X V I - X V I に沿った断面図である。図 16 (a)、(b) を参照して、通電部 10 は、螺旋状の翼の表面に貼り合わされている。通電部 10 において、導電体部はたとえば導電テープである。図 11 および図 13 と同様に、図 16 においても、通電部 10 を翼の表面に形成された溝部に配置することで、本来の攪拌翼 1 の形状を保つことができる。たとえば、溝部に通電部 10 を配置した後、溝部に熱硬化性樹脂などの絶縁物を含浸させてもよい。あるいは、溝部に絶縁被覆された導電コイルを埋め込ませてもよい。

20

【0125】

[給電部の構成例]

上述した実施の形態では、通電部 10 に高周波電流を供給するための給電部 4 において、交流電源 5 から通電部 10 に非接触で給電を行なう構成について説明したが、交流電源 5 と通電部 10 とを接触させる構成としても、実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0126】

図 17 に、本実施の形態に係る加熱攪拌装置の変更例の構成を示す。図 17 は、本変更例に係る加熱攪拌装置 100 の軸方向 A X に沿った断面構造を示している。

【0127】

本変更例に係る加熱攪拌装置 100 の基本的構成は、給電部 4 を除いて、図 1 に示した加熱攪拌装置 100 と同じである。本変更例において、給電部 4 は、送電コイル 7 および受電コイル 8 に代えて、スリップリング 16 を有している。スリップリング 16 は、高周波トランス 6 に電氣的に接続されるカーボンブラシ（図示せず）を含んでおり、このカーボンブラシを回転体である通電部 10 に面接触させることにより、通電部 10 に高周波電流を供給可能に構成されている。

30

【0128】

[加熱攪拌装置の適用例]

上述した実施の形態では、下水汚泥からエネルギー源であるメタンガスを回収する汚泥処理装置に本発明の加熱攪拌装置を適用する構成について説明したが、本発明の加熱攪拌装置は、下水汚泥処理装置に限らず、様々な分野に適用することができる。たとえば、有機物を発酵させる発酵処理装置、モノマー同士を組み合わせる巨大高分子物質を生成する重合反応器、高粘度物質の脱溶剤、脱モノマーおよび脱揮を行なう蒸発器、食材を加熱攪拌する調理器などに本発明の加熱攪拌装置を適用することができる。

40

【0129】

今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

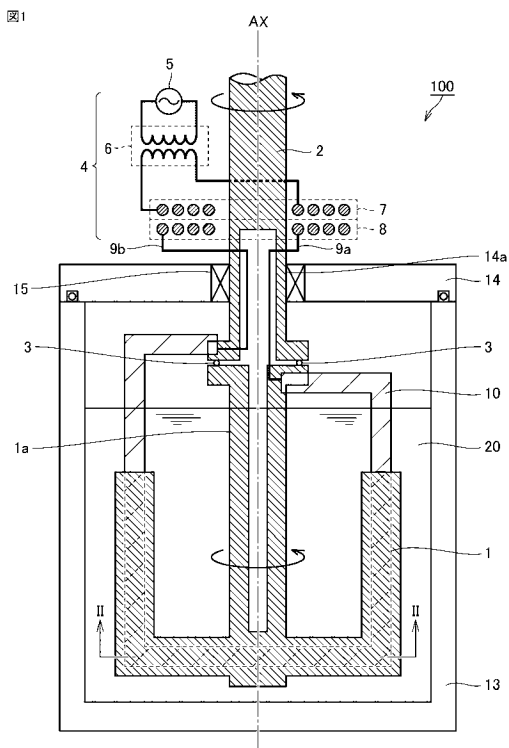
【符号の説明】

50

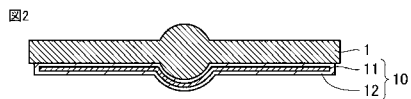
【 0 1 3 0 】

1, 34 攪拌翼、1 a 主軸、1 b 溝部、1 A 第1の部分、1 B 第2の部分、
 2 回転軸、3, 15 封止部材、4 給電部、5 交流電源、6 高周波トランス、7
 送電コイル、8 受電コイル、9 a, 9 b, 3 2 導電線、10 通電部、11 導電
 体部、12 絶縁体、13, 30 容器、14 蓋部、16 スリップリング、20, 4
 0 被処理物、3 8 電磁誘導コイル、100 加熱攪拌装置。

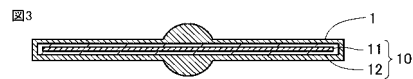
【 図 1 】



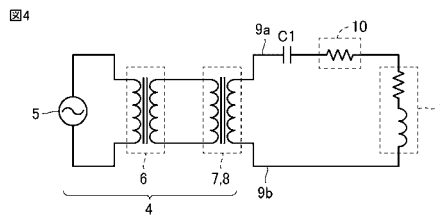
【 図 2 】



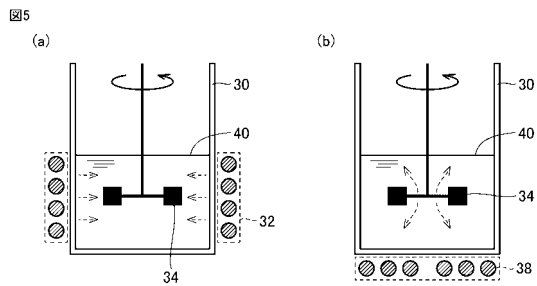
【 図 3 】



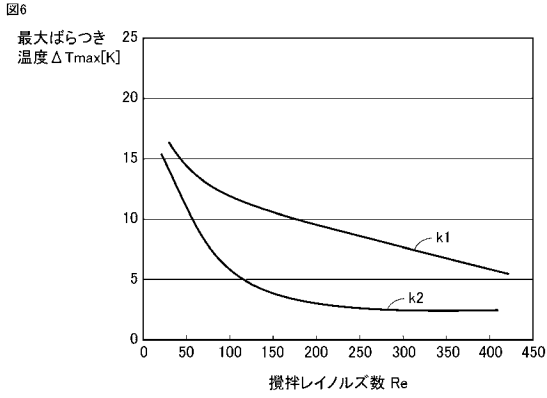
【 図 4 】



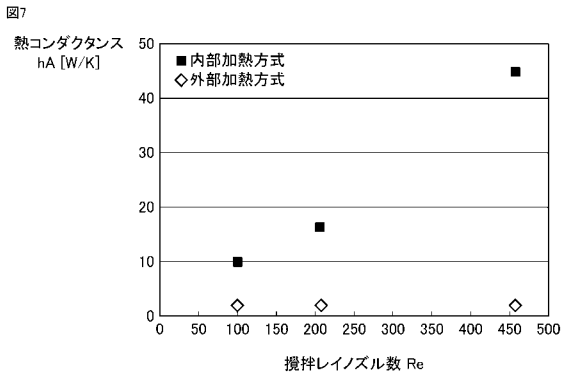
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

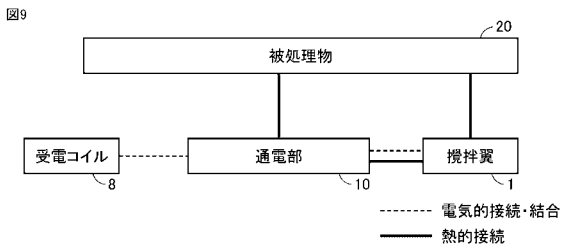


【 図 8 】

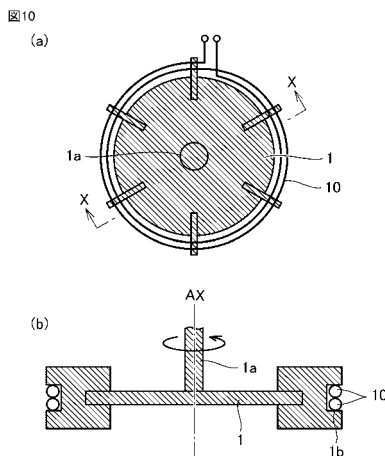
図8

内部通電型		導電体部	無	無	無(高粘度に対応可能)	無	高
外部通電型		励磁コイル	有(容器底面付近)	有(電磁誘導コイルと平行)	有(高粘度に対応困難)	有(非導電体のみ)	低
内部加熱方式		通電部	撹拌翼の位置制約	撹拌翼の形状制約	被処理物の制約	容器の材質制約	加熱効率

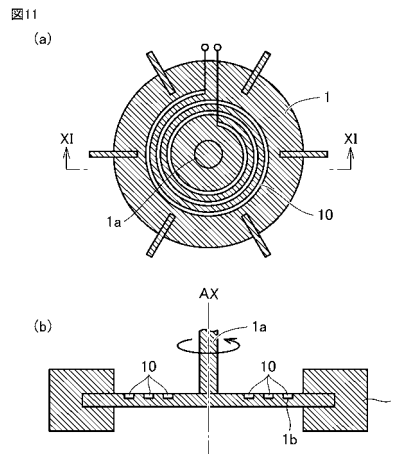
【 図 9 】



【 図 10 】

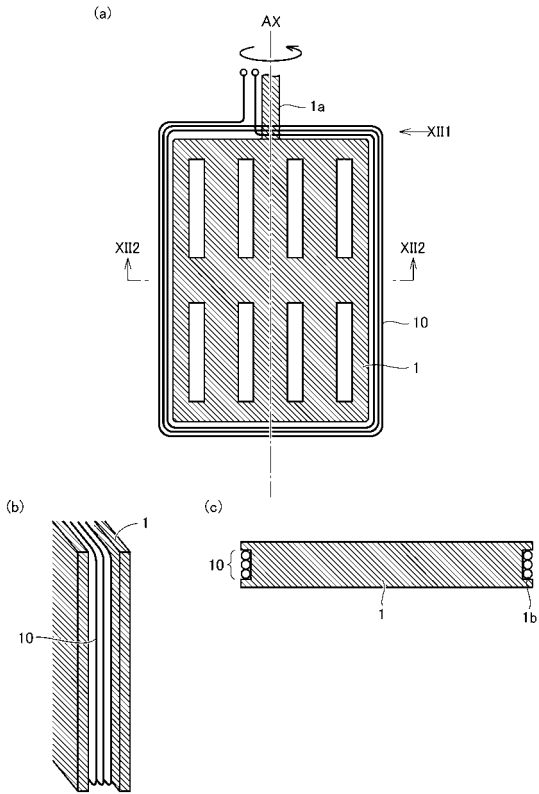


【 図 11 】



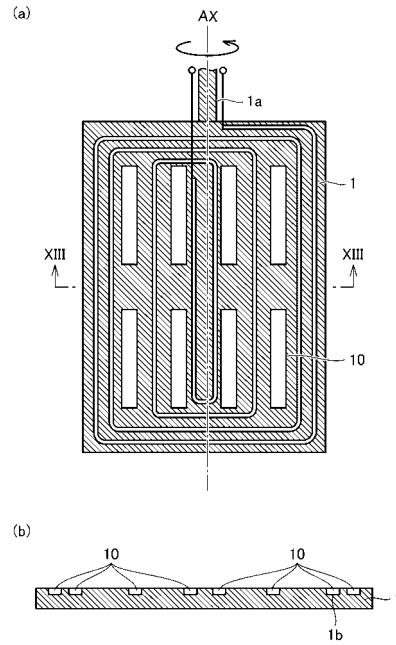
【 図 1 2 】

図12



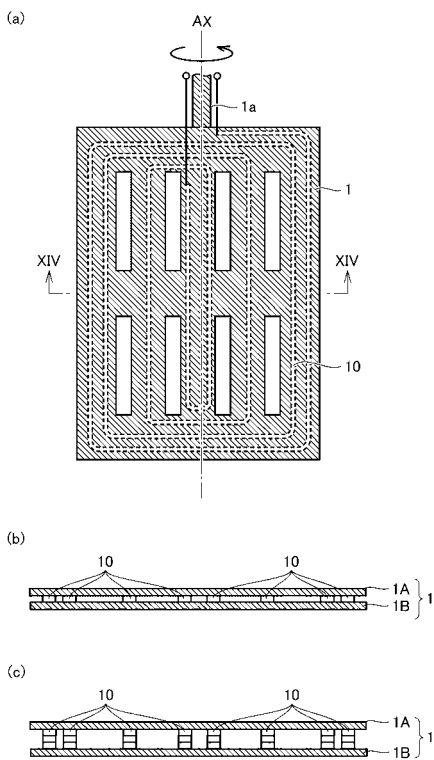
【 図 1 3 】

図13



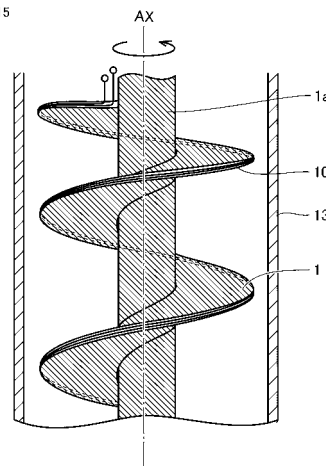
【 図 1 4 】

図14



【 図 1 5 】

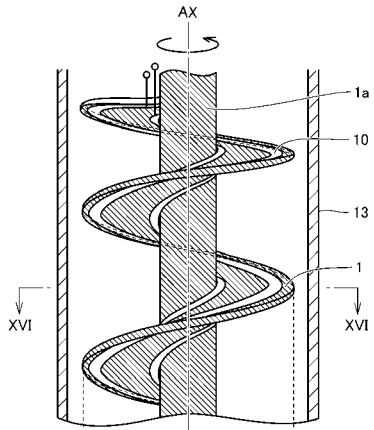
図15



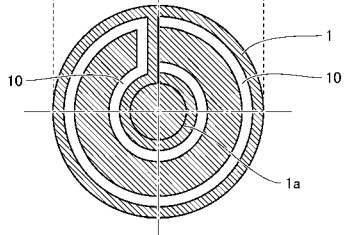
【 図 16 】

図16

(a)

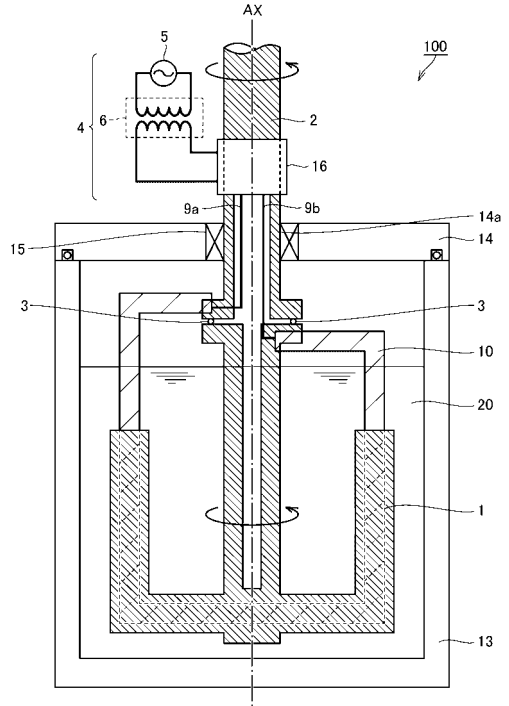


(b)



【 図 17 】

図17



フロントページの続き

(51) Int.Cl.	F I			テーマコード(参考)
H 0 5 B 6/10 (2006.01)	H 0 5 B	6/10	3 1 1	
A 4 7 J 43/044 (2006.01)	H 0 5 B	6/10	3 0 1	
	H 0 5 B	6/10	3 2 1	
	A 4 7 J	43/044		

Fターム(参考) 4B053 AA01 BA14 BB01 BE20 BL07
4D059 AA03 BA12 BA56 BJ01 BJ02 BJ05 BJ17
4G037 CA11 EA04
4G078 AA15 AB20 BA05 CA12 DA01 DA08 DA21 DC01 DC08