

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6582576号  
(P6582576)

(45) 発行日 令和1年10月2日(2019.10.2)

(24) 登録日 令和1年9月13日(2019.9.13)

(51) Int.Cl.

F I

H 0 5 B 41/24 (2006.01)

H 0 5 B 41/24

請求項の数 18 (全 40 頁)

(21) 出願番号	特願2015-119004 (P2015-119004)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成27年6月12日 (2015.6.12)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2017-4825 (P2017-4825A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成29年1月5日 (2017.1.5)	(74) 代理人	100116665
審査請求日	平成30年6月1日 (2018.6.1)		弁理士 渡辺 和昭
		(74) 代理人	100194102
			弁理士 磯部 光宏
		(74) 代理人	100179475
			弁理士 仲井 智至
		(74) 代理人	100216253
			弁理士 松岡 宏紀
		(72) 発明者	佐藤 峻
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放電灯駆動装置、光源装置、プロジェクター、および放電灯駆動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、  
前記放電灯駆動部を制御する制御部と、  
を備え、

前記制御部は、第1期間と、第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、

前記第1期間は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される期間であり、

前記第2期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第1直流期間、および前記第1直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第2直流期間を交互に含む期間であり、

前記第1直流期間の長さは、前記第2直流期間の長さよりも大きく、

前記第2直流期間の長さは、0.5msよりも小さく、

前記第1周波数は、100Hzよりも大きく、

前記第2期間における前記第1直流期間の長さの合計は、5.0ms以上であり、

前記制御部は、1つの前記第2期間に含まれる複数の前記第1直流期間のうち少なくとも2つの前記第1直流期間の長さが、互いに異なるように前記放電灯駆動部を制御することを特徴とする放電灯駆動装置。

【請求項2】

請求項1に記載の放電灯駆動装置であって、

10

20

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に大きくなるように前記放電灯駆動部を制御する、放電灯駆動装置。

【請求項３】

請求項１に記載の放電灯駆動装置であって、

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に小さくなるように前記放電灯駆動部を制御する、放電灯駆動装置。

【請求項４】

請求項１に記載の放電灯駆動装置であって、

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に大きくなった後、前記第１直流期間が設けられる順に小さくなるように前記放電灯駆動部を制御する、放電灯駆動装置。

【請求項５】

請求項１から４のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、

前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第２期間における前記第１直流期間の長さの合計を変化させる、放電灯駆動装置。

【請求項６】

請求項１から５のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第１直流期間の長さは、前記第２直流期間の長さの１０倍以上である、放電灯駆動装置。

【請求項７】

請求項１から６のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第２期間における前記第１直流期間の長さの合計は、１００ms以下である、放電灯駆動装置。

【請求項８】

請求項１から７のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第１直流期間において前記放電灯に供給される直流電流の極性、および前記第２直流期間において前記放電灯に供給される直流電流の極性は、前記第２期間が設けられるごとに反転する、放電灯駆動装置。

【請求項９】

請求項１から８のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第１期間は、複数の交流期間を有し、

前記複数の交流期間のそれぞれにおいて前記放電灯に供給される交流電流の第１周波数は、互いに異なる、放電灯駆動装置。

【請求項１０】

請求項９に記載の放電灯駆動装置であって、

前記複数の交流期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の前記第１周波数が小さくなる、放電灯駆動装置。

【請求項１１】

請求項１から１０のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、

前記制御部は、検出された前記電極間電圧が第１所定値以下の場合、または前記放電灯に供給される駆動電力が第２所定値以上の場合、前記第２期間の代わりに、前記放電灯に直流電流が供給される第３期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御する、放電灯駆動装置。

【請求項１２】

請求項１から１１のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記制御部は、前記混合期間と、前記放電灯に前記第 1 周波数よりも小さい第 2 周波数を有する交流電流が供給される第 4 期間と、が設けられるように前記放電灯駆動部を制御する、放電灯駆動装置。

【請求項 1 3】

請求項 1 2 に記載の放電灯駆動装置であって、

前記混合期間は、複数設けられ、

前記第 4 期間は、時間的に隣り合う前記混合期間の間に設けられ、かつ、前記第 1 期間の直後に設けられる、放電灯駆動装置。

【請求項 1 4】

請求項 1 2 または 1 3 に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第 4 期間は、設けられるごとに開始極性が反転する、放電灯駆動装置。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 から 1 4 のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置であって、

前記第 4 期間の長さは、前記第 2 周波数を有する交流電流の 6 周期の長さ以上、30 周期の長さ以下である、放電灯駆動装置。

【請求項 1 6】

光を射出する放電灯と、

請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の放電灯駆動装置と、

を備えることを特徴とする光源装置。

【請求項 1 7】

請求項 1 6 に記載の光源装置と、

前記光源装置から射出される光を画像信号に応じて変調する光変調装置と、

前記光変調装置により変調された光を投射する投射光学系と、

を備えることを特徴とするプロジェクター。

【請求項 1 8】

電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、

第 1 期間と、第 2 期間と、が交互に繰り返される混合期間を設け、

前記第 1 期間は、前記放電灯に第 1 周波数を有する交流電流が供給される期間であり、

前記第 2 期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第 1 直流期間、および前記第 1 直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第 2 直流期間を交互に含む期間であり、

前記第 1 直流期間の長さは、前記第 2 直流期間の長さよりも大きく、

前記第 2 直流期間の長さは、0.5 ms よりも小さく、

前記第 1 周波数は、100 Hz よりも大きく、

前記第 2 期間における前記第 1 直流期間の長さの合計は、5.0 ms 以上であり、

1 つの前記第 2 期間に含まれる複数の前記第 1 直流期間のうち少なくとも 2 つの前記第 1 直流期間の長さを、互いに異ならせることを特徴とする放電灯駆動方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放電灯駆動装置、光源装置、プロジェクター、および放電灯駆動方法に関する。

【背景技術】

【0002】

例えば、特許文献 1 には、高圧放電ランプに供給する交流電流の周波数を、第 1 の周波数と、第 1 の周波数よりも大きい第 2 の周波数とに切り替える構成が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【特許文献１】特開２０１１－１２４１８４号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

例えば、特許文献１では、電極の先端部の損耗を抑制することを目的として、高圧放電ランプ（放電灯）に第１の周波数の交流電流が半周期の長さで供給される期間が設けられている。しかし、この方法では、例えば、高圧放電ランプが劣化するのに伴って、電極の先端部の損耗を十分に抑制できない問題があった。したがって、高圧放電ランプの寿命を十分に向上できない問題があった。

【０００５】

本発明の一つの態様は、上記問題点に鑑みて成されたものであって、放電灯の寿命を向上できる放電灯駆動装置、そのような放電灯駆動装置を備えた光源装置、およびそのような光源装置を備えたプロジェクターを提供することを目的の一つとする。また、本発明の一つの態様は、放電灯の寿命を向上できる放電灯駆動方法を提供することを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本発明の放電灯駆動装置の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給する放電灯駆動部と、前記放電灯駆動部を制御する制御部と、を備え、前記制御部は、第１期間と、第２期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御し、前記第１期間は、前記放電灯に第１周波数を有する交流電流が供給される期間であり、前記第２期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第１直流期間、および前記第１直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第２直流期間を交互に含む期間であり、前記第１直流期間の長さは、前記第２直流期間の長さよりも大きく、前記第２直流期間の長さは、 $0.5\text{ ms}$ よりも小さく、前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間のうち少なくとも２つの前記第１直流期間の長さが、互いに異なるように前記放電灯駆動部を制御することを特徴とする。

【０００７】

本発明の放電灯駆動装置の一つの態様によれば、１つの第２期間に含まれる複数の第１直流期間のうち少なくとも２つの第１直流期間の長さが互いに異なる。第１直流期間の長さが大きいほど、電極に加えられる熱負荷は大きくなる。そのため、第１直流期間の長さを変化させることで、第１直流期間において電極に加えられる熱負荷を、第１直流期間ごとに変化させることができる。これにより、第２期間において、電極の突起の溶融を制御しやすい。したがって、本発明の放電灯駆動装置の一つの態様によれば、第２期間において好適に突起を溶融させやすく、混合期間における突起の成長を促せる。その結果、放電灯の寿命を向上できる。

【０００８】

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に大きくなるように前記放電灯駆動部を制御する構成としてもよい。

この構成によれば、電極の突起を徐々に溶融させることができる。そのため、突起の安定した成長を促しやすい。

【０００９】

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に小さくなるように前記放電灯駆動部を制御する構成としてもよい。

この構成によれば、電極の突起を溶融した後、突起の根本から徐々に凝固させていくことができる。そのため、突起の形状を安定させやすい。

【００１０】

10

20

30

40

50

前記制御部は、１つの前記第２期間に含まれる複数の前記第１直流期間の長さが、前記第１直流期間が設けられる順に大きくなった後、前記第１直流期間が設けられる順に小さくなるように前記放電灯駆動部を制御する構成としてもよい。

この構成によれば、突起を安定して溶融させやすく、かつ、突起の形状を安定させやすい。

【００１１】

前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、前記制御部は、検出された前記電極間電圧および前記放電灯に供給される駆動電力の少なくとも一方に基づいて、前記第２期間における前記第１直流期間の長さの合計を変化させる構成としてもよい。

この構成によれば、第２期間において電極の好適に熱負荷を加えることができる。

10

【００１２】

前記第１直流期間の長さは、前記第２直流期間の長さの１０倍以上である構成としてもよい。

この構成によれば、第２期間において電極を好適に加熱できる。

【００１３】

前記第２期間における前記第１直流期間の長さの合計は、５．０ｍｓ以上、１００ｍｓ以下である構成としてもよい。

この構成によれば、第２期間において電極を好適に加熱できる。

【００１４】

前記第１直流期間において前記放電灯に供給される直流電流の極性、および前記第２直流期間において前記放電灯に供給される直流電流の極性は、前記第２期間が設けられるごとに反転する構成としてもよい。

20

この構成によれば、２つの電極の突起をバランスよく成長させることができる。

【００１５】

前記第１周波数は、互いに異なる複数の周波数を含む構成としてもよい。

この構成によれば、第１期間において電極に加えられる熱負荷を変動させることができるため、より突起の形状を維持しやすい。

【００１６】

前記第１期間は、前記放電灯に供給される交流電流の周波数が互いに異なる交流期間を複数有し、前記第１期間において、時間的に後に設けられる前記交流期間ほど交流電流の周波数が小さくなる構成としてもよい。

30

この構成によれば、第１期間と第２期間とが切り替えられる際に、電極に加えられる熱負荷の変動をより大きくできる。

【００１７】

前記放電灯の電極間電圧を検出する電圧検出部をさらに備え、前記制御部は、検出された前記電極間電圧が第１所定値以下の場合、または前記放電灯に供給される駆動電力が第２所定値以上の場合、前記第２期間の代わりに、前記放電灯に直流電流が供給される第３期間が設けられるように前記放電灯駆動部を制御する構成としてもよい。

この構成によれば、電極に加えられる熱負荷を好適にできる。

【００１８】

40

前記制御部は、前記混合期間と、前記放電灯に前記第１周波数よりも小さい第２周波数を有する交流電流が供給される第４期間と、が設けられるように前記放電灯駆動部を制御する構成としてもよい。

この構成によれば、電極に加えられる熱負荷をより変動させることができる。

【００１９】

前記混合期間は、複数設けられ、前記第４期間は、時間的に隣り合う前記混合期間の間に設けられ、かつ、前記第１期間の直後に設けられる構成としてもよい。

この構成によれば、第４期間を適切な間隔で設けやすく、突起の形状をより維持しやすい。

【００２０】

50

前記第4期間は、設けられるごとに開始極性が反転する構成としてもよい。

この構成によれば、2つの電極の突起をバランスよく成長させることができる。

【0021】

前記第4期間の長さは、前記第2周波数を有する交流電流の6周期の長さ以上、30周期の長さ以下である構成としてもよい。

この構成によれば、第4期間において突起の形状を整えやすい。

【0022】

本発明の光源装置の一つの態様は、光を射出する前記放電灯と、上記の放電灯駆動装置と、を備えることを特徴とする。

【0023】

本発明の光源装置の一つの態様によれば、上記の放電灯駆動装置を備えるため、放電灯の寿命を向上できる。

【0024】

本発明のプロジェクターの一つの態様は、上記の光源装置と、前記光源装置から射出される光を画像信号に応じて変調する光変調装置と、前記光変調装置により変調された光を投射する投射光学系と、を備えることを特徴とする。

【0025】

本発明のプロジェクターの一つの態様によれば、上記の光源装置を備えるため、放電灯の寿命を向上できる。

【0026】

本発明の放電灯駆動方法の一つの態様は、電極を有する放電灯に駆動電流を供給して、前記放電灯を駆動する放電灯駆動方法であって、第1期間と、第2期間と、が交互に繰り返される混合期間が設けられ、前記第1期間は、前記放電灯に第1周波数を有する交流電流が供給される期間であり、前記第2期間は、前記放電灯に直流電流が供給される第1直流期間、および前記第1直流期間において前記放電灯に供給される前記直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が前記放電灯に供給される第2直流期間を交互に含む期間であり、前記第1直流期間の長さは、前記第2直流期間の長さよりも大きく、前記第2直流期間の長さは、0.5msよりも小さく、1つの前記第2期間に含まれる複数の前記第1直流期間のうち少なくとも2つの前記第1直流期間の長さを、互いに異ならせることを特徴とする。

【0027】

本発明の放電灯駆動方法の一つの態様によれば、上述したのと同様にして、放電灯の寿命を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図1】第1実施形態のプロジェクターの概略構成図である。

【図2】第1実施形態における放電灯を示す図である。

【図3】第1実施形態のプロジェクターの各種構成要素を示すブロック図である。

【図4】第1実施形態の放電灯点灯装置の回路図である。

【図5】第1実施形態の制御部の一構成例を示すブロック図である。

【図6】放電灯の電極先端の突起の様子を示す図である。

【図7】第1実施形態における混合期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図8】第1実施形態におけるランプ電圧と第1周波数との関係の一例を示すグラフである。

【図9】第1実施形態における駆動電力と第1周波数との関係の一例を示すグラフである。

【図10】第1実施形態における第2期間の他の例を示すグラフである。

【図11】第2実施形態における混合期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図12】第2実施形態における制御部による放電灯駆動部の制御手順の一例を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図 1 3】第 3 実施形態における放電灯に駆動電流が供給される期間の変化を示す模式図である。

【図 1 4】第 3 実施形態における第 4 期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図 1 5】第 3 実施形態における第 5 期間の駆動電流波形の一例を示す図である。

【図 1 6】第 3 実施形態における制御部による放電灯駆動部の制御手順の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0029】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施形態に係るプロジェクターについて説明する。

10

なお、本発明の範囲は、以下の実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で任意に変更可能である。また、以下の図面においては、各構成をわかりやすくするために、実際の構造と各構成における縮尺や数等を異ならせる場合がある。

【0030】

< 第 1 実施形態 >

図 1 に示すように、本実施形態のプロジェクター 500 は、光源装置 200 と、平行化レンズ 305 と、照明光学系 310 と、色分離光学系 320 と、3つの液晶ライトバルブ（光変調装置）330R、330G、330B と、クロスダイクロイックプリズム 340 と、投射光学系 350 と、を備えている。

【0031】

20

光源装置 200 から射出された光は、平行化レンズ 305 を通過して照明光学系 310 に入射する。平行化レンズ 305 は、光源装置 200 からの光を平行化する。

【0032】

照明光学系 310 は、光源装置 200 から射出される光の照度を、液晶ライトバルブ 330R、330G、330B 上において均一化するように調整する。さらに、照明光学系 310 は、光源装置 200 から射出される光の偏光方向を一方向に揃える。その理由は、光源装置 200 から射出される光を液晶ライトバルブ 330R、330G、330B で有効に利用するためである。

【0033】

照度分布と偏光方向とが調整された光は、色分離光学系 320 に入射する。色分離光学系 320 は、入射光を赤色光（R）、緑色光（G）、青色光（B）の3つの色光に分離する。3つの色光は、各色光に対応付けられた液晶ライトバルブ 330R、330G、330B により、映像信号に応じてそれぞれ変調される。液晶ライトバルブ 330R、330G、330B は、後述する液晶パネル 560R、560G、560B と、偏光板（図示せず）と、を備えている。偏光板は、液晶パネル 560R、560G、560B のそれぞれの光入射側および光射出側に配置される。

30

【0034】

変調された3つの色光は、クロスダイクロイックプリズム 340 により合成される。合成光は投射光学系 350 に入射する。投射光学系 350 は、入射光をスクリーン 700（図 3 参照）に投射する。これにより、スクリーン 700 上に映像が表示される。なお、平行化レンズ 305、照明光学系 310、色分離光学系 320、クロスダイクロイックプリズム 340、投射光学系 350 の各々の構成としては、周知の構成を採用することができる。

40

【0035】

図 2 は、光源装置 200 の構成を示す断面図である。光源装置 200 は、光源ユニット 210 と、放電灯点灯装置（放電灯駆動装置）10 と、を備えている。図 2 には、光源ユニット 210 の断面図が示されている。光源ユニット 210 は、主反射鏡 112 と、放電灯 90 と、副反射鏡 113 と、を備えている。

【0036】

放電灯点灯装置 10 は、放電灯 90 に駆動電流 I を供給して放電灯 90 を点灯させる。

50

主反射鏡 1 1 2 は、放電灯 9 0 から放出された光を照射方向 D に向けて反射する。照射方向 D は、放電灯 9 0 の光軸 A X と平行である。

【 0 0 3 7 】

放電灯 9 0 の形状は、照射方向 D に沿って延びる棒状である。放電灯 9 0 の一方の端部を第 1 端部 9 0 e 1 とし、放電灯 9 0 の他方の端部を第 2 端部 9 0 e 2 とする。放電灯 9 0 の材料は、例えば、石英ガラス等の透光性材料である。放電灯 9 0 の中央部は球状に膨らんでおり、その内部は放電空間 9 1 である。放電空間 9 1 には、希ガス、金属ハロゲン化合物等を含む放電媒体であるガスが封入されている。

【 0 0 3 8 】

放電空間 9 1 には、第 1 電極（電極）9 2 および第 2 電極（電極）9 3 の先端が突出している。第 1 電極 9 2 は、放電空間 9 1 の第 1 端部 9 0 e 1 側に配置されている。第 2 電極 9 3 は、放電空間 9 1 の第 2 端部 9 0 e 2 側に配置されている。第 1 電極 9 2 および第 2 電極 9 3 の形状は、光軸 A X に沿って延びる棒状である。放電空間 9 1 には、第 1 電極 9 2 および第 2 電極 9 3 の電極先端部が、所定距離だけ離れて対向するように配置されている。第 1 電極 9 2 および第 2 電極 9 3 の材料は、例えば、タングステン等の金属である。

10

【 0 0 3 9 】

放電灯 9 0 の第 1 端部 9 0 e 1 に、第 1 端子 5 3 6 が設けられている。第 1 端子 5 3 6 と第 1 電極 9 2 とは、放電灯 9 0 の内部を貫通する導電性部材 5 3 4 により電氣的に接続されている。同様に、放電灯 9 0 の第 2 端部 9 0 e 2 に、第 2 端子 5 4 6 が設けられている。第 2 端子 5 4 6 と第 2 電極 9 3 とは、放電灯 9 0 の内部を貫通する導電性部材 5 4 4 により電氣的に接続されている。第 1 端子 5 3 6 および第 2 端子 5 4 6 の材料は、例えば、タングステン等の金属である。導電性部材 5 3 4 , 5 4 4 の材料としては、例えば、モリブデン箔が利用される。

20

【 0 0 4 0 】

第 1 端子 5 3 6 および第 2 端子 5 4 6 は、放電灯点灯装置 1 0 に接続されている。放電灯点灯装置 1 0 は、第 1 端子 5 3 6 および第 2 端子 5 4 6 に、放電灯 9 0 を駆動するための駆動電流 I を供給する。その結果、第 1 電極 9 2 および第 2 電極 9 3 の間でアーク放電が起きる。アーク放電により発生した光（放電光）は、破線の矢印で示すように、放電位置から全方向に向かって放射される。

30

【 0 0 4 1 】

主反射鏡 1 1 2 は、固定部材 1 1 4 により、放電灯 9 0 の第 1 端部 9 0 e 1 に固定されている。主反射鏡 1 1 2 は、放電光のうち、照射方向 D と反対側に向かって進む光を照射方向 D に向かって反射する。主反射鏡 1 1 2 の反射面（放電灯 9 0 側の面）の形状は、放電光を照射方向 D に向かって反射できる範囲内において、特に限定されず、例えば、回転楕円形状であっても、回転放物線形状であってもよい。例えば、主反射鏡 1 1 2 の反射面の形状を回転放物線形状とした場合、主反射鏡 1 1 2 は、放電光を光軸 A X に略平行な光に変換することができる。これにより、平行化レンズ 3 0 5 を省略することができる。

【 0 0 4 2 】

副反射鏡 1 1 3 は、固定部材 5 2 2 により、放電灯 9 0 の第 2 端部 9 0 e 2 側に固定されている。副反射鏡 1 1 3 の反射面（放電灯 9 0 側の面）の形状は、放電空間 9 1 の第 2 端部 9 0 e 2 側の部分を囲む球面形状である。副反射鏡 1 1 3 は、放電光のうち、主反射鏡 1 1 2 が配置された側と反対側に向かって進む光を主反射鏡 1 1 2 に向かって反射する。これにより、放電空間 9 1 から放射される光の利用効率を高めることができる。

40

【 0 0 4 3 】

固定部材 1 1 4 , 5 2 2 の材料は、放電灯 9 0 からの発熱に耐え得る耐熱材料である範囲内において、特に限定されず、例えば、無機接着剤である。主反射鏡 1 1 2 および副反射鏡 1 1 3 と放電灯 9 0 との配置を固定する方法としては、主反射鏡 1 1 2 および副反射鏡 1 1 3 を放電灯 9 0 に固定する方法に限らず、任意の方法を採用できる。例えば、放電灯 9 0 と主反射鏡 1 1 2 とを、独立にプロジェクター 5 0 0 の筐体（図示せず）に固定し

50



てもよい。副反射鏡 113 についても同様である。

【0044】

以下、プロジェクター 500 の回路構成について説明する。

図 3 は、本実施形態のプロジェクター 500 の回路構成の一例を示す図である。プロジェクター 500 は、図 1 に示した光学系その他、画像信号変換部 510 と、直流電源装置 80 と、液晶パネル 560R、560G、560B と、画像処理装置 570 と、CPU (Central Processing Unit) 580 と、を備えている。

【0045】

画像信号変換部 510 は、外部から入力された画像信号 502 (輝度 - 色差信号やアナログ RGB 信号など) を所定のワード長のデジタル RGB 信号に変換して画像信号 512R、512G、512B を生成し、画像処理装置 570 に供給する。

10

【0046】

画像処理装置 570 は、3つの画像信号 512R、512G、512B に対してそれぞれ画像処理を行う。画像処理装置 570 は、液晶パネル 560R、560G、560B をそれぞれ駆動するための駆動信号 572R、572G、572B を液晶パネル 560R、560G、560B に供給する。

【0047】

直流電源装置 80 は、外部の交流電源 600 から供給される交流電圧を一定の直流電圧に変換する。直流電源装置 80 は、トランス (図示しないが、直流電源装置 80 に含まれる) の 2 次側にある画像信号変換部 510、画像処理装置 570 およびトランスの 1 次側

20

【0048】

放電灯点灯装置 10 は、起動時に放電灯 90 の電極間に高電圧を発生し、絶縁破壊を生じさせて放電路を形成する。以後、放電灯点灯装置 10 は、放電灯 90 が放電を維持するための駆動電流 I を供給する。

【0049】

液晶パネル 560R、560G、560B は、前述した液晶ライトバルブ 330R、330G、330B にそれぞれ備えられている。液晶パネル 560R、560G、560B は、それぞれ駆動信号 572R、572G、572B に基づいて、前述した光学系を介して各液晶パネル 560R、560G、560B に入射される色光の透過率 (輝度) を変調

30

【0050】

CPU 580 は、プロジェクター 500 の点灯開始から消灯に至るまでの各種の動作を制御する。例えば、図 3 の例では、通信信号 582 を介して点灯命令や消灯命令を放電灯点灯装置 10 に出力する。CPU 580 は、放電灯点灯装置 10 から通信信号 584 を介して放電灯 90 の点灯情報を受け取る。

【0051】

以下、放電灯点灯装置 10 の構成について説明する。

図 4 は、放電灯点灯装置 10 の回路構成の一例を示す図である。

放電灯点灯装置 10 は、図 4 に示すように、電力制御回路 20 と、極性反転回路 30 と、制御部 40 と、動作検出部 60 と、イグナイター回路 70 と、を備えている。

40

【0052】

電力制御回路 20 は、放電灯 90 に供給する駆動電力  $W_d$  を生成する。本実施形態においては、電力制御回路 20 は、直流電源装置 80 からの電圧を入力とし、入力電圧を降圧して直流電流  $I_d$  を出力するダウンチョッパ回路で構成されている。

【0053】

電力制御回路 20 は、スイッチ素子 21、ダイオード 22、コイル 23 およびコンデンサ 24 を含んで構成される。スイッチ素子 21 は、例えば、トランジスタで構成される。本実施形態においては、スイッチ素子 21 の一端は直流電源装置 80 の正電圧側に接続され、他端はダイオード 22 のカソード端子およびコイル 23 の一端に接続されている

50

。

## 【 0 0 5 4 】

コイル 2 3 の他端にコンデンサ 2 4 の一端が接続され、コンデンサ 2 4 の他端はダイオード 2 2 のアノード端子および直流電源装置 8 0 の負電圧側に接続されている。スイッチ素子 2 1 の制御端子には、後述する制御部 4 0 から電流制御信号が入力されてスイッチ素子 2 1 の ON / OFF が制御される。電流制御信号には、例えば、PWM (Pulse Width Modulation) 制御信号が用いられてもよい。

## 【 0 0 5 5 】

スイッチ素子 2 1 が ON すると、コイル 2 3 に電流が流れ、コイル 2 3 にエネルギーが蓄えられる。その後、スイッチ素子 2 1 が OFF すると、コイル 2 3 に蓄えられたエネルギーがコンデンサ 2 4 とダイオード 2 2 とを通る経路で放出される。その結果、スイッチ素子 2 1 が ON する時間の割合に応じた直流電流  $I_d$  が発生する。

## 【 0 0 5 6 】

極性反転回路 3 0 は、電力制御回路 2 0 から入力される直流電流  $I_d$  を所定のタイミングで極性反転させる。これにより、極性反転回路 3 0 は、制御された時間だけ継続する直流である駆動電流  $I$ 、もしくは、任意の周波数を持つ交流である駆動電流  $I$  を生成し、出力する。本実施形態において、極性反転回路 3 0 は、インバータブリッジ回路 (フルブリッジ回路) で構成されている。

## 【 0 0 5 7 】

極性反転回路 3 0 は、例えば、トランジスタなどで構成される第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3、および第 4 のスイッチ素子 3 4 を含んでいる。極性反転回路 3 0 は、直列接続された第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 2 のスイッチ素子 3 2 と、直列接続された第 3 のスイッチ素子 3 3 および第 4 のスイッチ素子 3 4 と、が互いに並列接続された構成を有する。第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3、および第 4 のスイッチ素子 3 4 の制御端子には、それぞれ制御部 4 0 から極性反転制御信号が入力される。この極性反転制御信号に基づいて、第 1 のスイッチ素子 3 1、第 2 のスイッチ素子 3 2、第 3 のスイッチ素子 3 3 および第 4 のスイッチ素子 3 4 の ON / OFF 動作が制御される。

## 【 0 0 5 8 】

極性反転回路 3 0 においては、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 と、第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 と、を交互に ON / OFF させる動作が繰り返される。これにより、電力制御回路 2 0 から出力される直流電流  $I_d$  の極性が交互に反転する。極性反転回路 3 0 は、第 1 のスイッチ素子 3 1 と第 2 のスイッチ素子 3 2 との共通接続点、および第 3 のスイッチ素子 3 3 と第 4 のスイッチ素子 3 4 との共通接続点から、制御された時間だけ同一極性状態を継続する直流である駆動電流  $I$ 、もしくは制御された周波数をもつ交流である駆動電流  $I$  を生成し、出力する。

## 【 0 0 5 9 】

すなわち、極性反転回路 3 0 は、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が ON のときには第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が OFF であり、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が OFF のときには第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が ON であるように制御される。したがって、第 1 のスイッチ素子 3 1 および第 4 のスイッチ素子 3 4 が ON のときには、コンデンサ 2 4 の一端から第 1 のスイッチ素子 3 1、放電灯 9 0、第 4 のスイッチ素子 3 4 の順に流れる駆動電流  $I$  が発生する。第 2 のスイッチ素子 3 2 および第 3 のスイッチ素子 3 3 が ON のときには、コンデンサ 2 4 の一端から第 3 のスイッチ素子 3 3、放電灯 9 0、第 2 のスイッチ素子 3 2 の順に流れる駆動電流  $I$  が発生する。

## 【 0 0 6 0 】

本実施形態において、電力制御回路 2 0 と極性反転回路 3 0 とを合わせた部分が放電灯駆動部 2 3 0 に対応する。すなわち、放電灯駆動部 2 3 0 は、放電灯 9 0 を駆動する駆動電流  $I$  を放電灯 9 0 に供給する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 1 】

制御部 4 0 は、放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。図 4 の例では、制御部 4 0 は、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御することにより、駆動電流  $I$  が同一極性を継続する保持時間、駆動電流  $I$  の電流値（駆動電力  $W_d$  の電力値）、周波数等のパラメータを制御する。制御部 4 0 は、極性反転回路 3 0 に対して、駆動電流  $I$  の極性反転タイミングにより、駆動電流  $I$  が同一極性で継続する保持時間、駆動電流  $I$  の周波数等を制御する極性反転制御を行う。制御部 4 0 は、電力制御回路 2 0 に対して、出力される直流電流  $I_d$  の電流値を制御する電流制御を行う。

## 【 0 0 6 2 】

本実施形態において制御部 4 0 は、交流駆動と、分割直流駆動と、混合駆動と、を実行可能である。交流駆動は、放電灯 9 0 に交流電流が供給される駆動である。分割直流駆動は、第 1 極性および第 2 極性のうちの一方の極性を有する直流電流が放電灯 9 0 に供給される期間が、第 1 極性および第 2 極性のうちの他方の極性を有する直流電流が放電灯 9 0 に供給される期間を挟んで複数設けられる期間である。混合駆動は、交流駆動と分割直流駆動とが交互に実行される駆動である。各放電灯駆動によって放電灯 9 0 に供給される駆動電流  $I$  の駆動電流波形については、後段において詳述する。

## 【 0 0 6 3 】

制御部 4 0 の構成は、特に限定されない。本実施形態においては、制御部 4 0 は、システムコントローラ 4 1、電力制御回路コントローラ 4 2、および極性反転回路コントローラ 4 3 を含んで構成されている。なお、制御部 4 0 は、その一部または全てを半導体集積回路で構成してもよい。

## 【 0 0 6 4 】

システムコントローラ 4 1 は、電力制御回路コントローラ 4 2 および極性反転回路コントローラ 4 3 を制御することにより、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御する。システムコントローラ 4 1 は、動作検出部 6 0 が検出したランプ電圧（電極間電圧） $V_{la}$  および駆動電流  $I$  に基づき、電力制御回路コントローラ 4 2 および極性反転回路コントローラ 4 3 を制御してもよい。

## 【 0 0 6 5 】

本実施形態においては、システムコントローラ 4 1 には、記憶部 4 4 が接続されている。

システムコントローラ 4 1 は、記憶部 4 4 に格納された情報に基づき、電力制御回路 2 0 および極性反転回路 3 0 を制御してもよい。記憶部 4 4 には、例えば、駆動電流  $I$  が同一極性で継続する保持時間、駆動電流  $I$  の電流値、周波数、波形、変調パターン等の駆動パラメータに関する情報が格納されていてもよい。

## 【 0 0 6 6 】

電力制御回路コントローラ 4 2 は、システムコントローラ 4 1 からの制御信号に基づき、電力制御回路 2 0 へ電流制御信号を出力することにより、電力制御回路 2 0 を制御する。

## 【 0 0 6 7 】

極性反転回路コントローラ 4 3 は、システムコントローラ 4 1 からの制御信号に基づき、極性反転回路 3 0 へ極性反転制御信号を出力することにより、極性反転回路 3 0 を制御する。

## 【 0 0 6 8 】

制御部 4 0 は、専用回路を用いて実現され、上述した制御や後述する処理の各種制御を行うようにすることができる。これに対して、制御部 4 0 は、例えば、CPU が記憶部 4 4 に記憶された制御プログラムを実行することによりコンピューターとして機能し、これらの処理の各種制御を行うようにすることもできる。

## 【 0 0 6 9 】

図 5 は、制御部 4 0 の他の構成例について説明するための図である。図 5 に示すように、制御部 4 0 は、制御プログラムにより、電力制御回路 2 0 を制御する電流制御手段 4 0

10

20

30

40

50

- 1、極性反転回路 30 を制御する極性反転制御手段 40 - 2 として機能するように構成されてもよい。

【0070】

図 4 に示した例では、制御部 40 は、放電灯点灯装置 10 の一部として構成されている。これに対して、制御部 40 の機能の一部を CPU 580 が担うように構成されていてもよい。

【0071】

動作検出部 60 は、本実施形態においては、放電灯 90 のランプ電圧  $V_{1a}$  を検出して制御部 40 にランプ電圧情報を出力する電圧検出部を含む。また、動作検出部 60 は、駆動電流  $I$  を検出して制御部 40 に駆動電流情報を出力する電流検出部などを含んでいてもよい。本実施形態においては、動作検出部 60 は、第 1 の抵抗 61、第 2 の抵抗 62 および第 3 の抵抗 63 を含んで構成されている。

10

【0072】

本実施形態において、動作検出部 60 の電圧検出部は、放電灯 90 と並列に、互いに直列接続された第 1 の抵抗 61 および第 2 の抵抗 62 で分圧した電圧によりランプ電圧  $V_{1a}$  を検出する。また、本実施形態において、電流検出部は、放電灯 90 に直列に接続された第 3 の抵抗 63 に発生する電圧により駆動電流  $I$  を検出する。

【0073】

イグナイター回路 70 は、放電灯 90 の点灯開始時にのみ動作する。イグナイター回路 70 は、放電灯 90 の点灯開始時に放電灯 90 の電極間（第 1 電極 92 と第 2 電極 93 との間）を絶縁破壊して放電路を形成するために必要な高電圧（放電灯 90 の通常点灯時よりも高い電圧）を、放電灯 90 の電極間（第 1 電極 92 と第 2 電極 93 との間）に供給する。本実施形態においては、イグナイター回路 70 は、放電灯 90 と並列に接続されている。

20

【0074】

図 6 (A)、(B) には、第 1 電極 92 および第 2 電極 93 の先端部分が示されている。第 1 電極 92 および第 2 電極 93 の先端にはそれぞれ突起 552 p、562 p が形成されている。

【0075】

第 1 電極 92 と第 2 電極 93 の間で生じる放電は、主として突起 552 p と突起 562 p との間で生じる。本実施形態のように突起 552 p、562 p がある場合には、突起が無い場合と比べて、第 1 電極 92 および第 2 電極 93 における放電位置（アーク位置）の移動を抑えることができる。

30

【0076】

図 6 (A) は、第 1 電極 92 が陽極として動作し、第 2 電極 93 が陰極として動作する第 1 極性状態を示している。第 1 極性状態では、放電により、第 2 電極 93（陰極）から第 1 電極 92（陽極）へ電子が移動する。陰極（第 2 電極 93）からは電子が放出される。陰極（第 2 電極 93）から放出された電子は陽極（第 1 電極 92）の先端に衝突する。この衝突によって熱が生じ、陽極（第 1 電極 92）の先端（突起 552 p）の温度が上昇する。

40

【0077】

図 6 (B) は、第 1 電極 92 が陰極として動作し、第 2 電極 93 が陽極として動作する第 2 極性状態を示している。第 2 極性状態では、第 1 極性状態とは逆に、第 1 電極 92 から第 2 電極 93 へ電子が移動する。その結果、第 2 電極 93 の先端（突起 562 p）の温度が上昇する。

【0078】

このように、放電灯 90 に駆動電流  $I$  が供給されることで、電子が衝突する陽極の温度は上昇する。一方、電子を放出する陰極は、陽極に向けて電子を放出している間、温度は低下する。

【0079】

50

第1電極92と第2電極93との電極間距離は、突起552p, 562pの劣化とともに大きくなる。突起552p, 562pが損耗するためである。電極間距離が大きくなると、第1電極92と第2電極93との間の抵抗が大きくなるため、ランプ電圧 $V_{1a}$ が大きくなる。したがって、ランプ電圧 $V_{1a}$ を参照することによって、電極間距離の変化、すなわち、放電灯90の劣化度合いを検出することができる。

【0080】

なお、第1電極92と第2電極93とは、同様の構成であるため、以下の説明においては、代表して第1電極92についてのみ説明する場合がある。また、第1電極92の先端の突起552pと第2電極93の先端の突起562pとは、同様の構成であるため、以下の説明においては、代表して突起552pについてのみ説明する場合がある。

10

【0081】

以下、本実施形態の制御部40による放電灯駆動部230の制御について説明する。本実施形態において制御部40は、交流駆動および分割直流駆動を交互に繰り返す混合駆動によって放電灯駆動部230を制御する。

【0082】

図7は、本実施形態の駆動電流波形の一例を示す図である。図7において、縦軸は駆動電流 $I$ を示しており、横軸は時間 $T$ を示している。駆動電流 $I$ は、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

【0083】

図7に示すように、本実施形態においては、第1期間（交流駆動期間） $P_1$ と第2期間（分割直流駆動期間） $P_2$ とが交互に繰り返される混合期間 $P_{H1}$ が設けられる。混合期間 $P_{H1}$ は、混合駆動が実行される期間である。第1期間 $P_1$ は、交流駆動が実行される期間である。第2期間 $P_2$ は、分割直流駆動が実行される期間である。混合期間 $P_{H1}$ における第1期間 $P_1$ の数と第2期間 $P_2$ の数とは、特に限定されない。

20

【0084】

第1期間 $P_1$ は、放電灯90に第1周波数 $f_1$ を有する交流電流が供給される期間である。本実施形態において第1期間 $P_1$ は、第1交流期間（交流期間） $P_{11}$ と、第2交流期間（交流期間） $P_{12}$ と、第3交流期間（交流期間） $P_{13}$ と、第4交流期間（交流期間） $P_{14}$ と、を有する。第1交流期間 $P_{11}$ と、第2交流期間 $P_{12}$ と、第3交流期間 $P_{13}$ と、第4交流期間 $P_{14}$ とは、この順に連続して設けられる。

30

【0085】

本実施形態において第1交流期間 $P_{11}$ と、第2交流期間 $P_{12}$ と、第3交流期間 $P_{13}$ と、第4交流期間 $P_{14}$ と、における交流電流は、例えば、電流値 $I_{m1}$ と電流値 $-I_{m1}$ との間で極性が複数回反転される矩形波交流電流である。

【0086】

第1交流期間 $P_{11}$ における第1周波数 $f_{11}$ と、第2交流期間 $P_{12}$ における第1周波数 $f_{12}$ と、第3交流期間 $P_{13}$ における第1周波数 $f_{13}$ と、第4交流期間 $P_{14}$ における第1周波数 $f_{14}$ と、は、互いに異なる。すなわち、第1周波数 $f_1$ は、互いに異なる複数の周波数を含み、第1期間 $P_1$ は、放電灯90に供給される交流電流の周波数が互いに異なる交流期間を複数有している。

40

【0087】

第1周波数 $f_{11}$ と、第1周波数 $f_{12}$ と、第1周波数 $f_{13}$ と、第1周波数 $f_{14}$ と、は、この順に小さくなる。すなわち、第1期間 $P_1$ において、時間的に後に設けられる交流期間ほど交流電流の周波数が小さくなる。

【0088】

本実施形態において制御部40は、動作検出部60における電圧検出部によって検出されたランプ電圧 $V_{1a}$ および放電灯90に供給される駆動電力 $W_d$ の両方に基づいて、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ を設定する。すなわち、制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ を設定する。本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に

50

基づいて、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  を変化させる。

【0089】

図8は、ランプ電圧  $V_{1a}$  と第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  との関係の一例を示すグラフである。図8において、縦軸は第1周波数  $f_1$  を示しており、横軸はランプ電圧  $V_{1a}$  を示している。図8は、駆動電力  $W_d$  が一定の値である場合のランプ電圧  $V_{1a}$  と第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  との関係を示している。

【0090】

図8の例では、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の値  $V_{1a0}$  未満の範囲において、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  は、一定である。図8の例では、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の値  $V_{1a0}$  以上の範囲において、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される。ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の値  $V_{1a0}$  以上の範囲において、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  とランプ電圧  $V_{1a}$  との関係は、例えば、1次関数で表される。

10

【0091】

図8の例では、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の値  $V_{1a0}$  以上の範囲におけるランプ電圧  $V_{1a}$  に対する第1周波数  $f_1$  の変化の傾きは、第1周波数  $f_{14}$ 、第1周波数  $f_{13}$ 、第1周波数  $f_{12}$ 、第1周波数  $f_{11}$  の順で大きくなる。すなわち、ランプ電圧  $V_{1a}$  が大きくなるほど、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  間の値の差は大きくなる。

【0092】

図9は、駆動電力  $W_d$  と第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  との関係の一例を示すグラフである。図9において、縦軸は第1周波数  $f_1$  を示しており、横軸は駆動電力  $W_d$  を示している。図9は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が一定の値である場合の駆動電力  $W_d$  と第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  との関係を示している。

20

【0093】

図9の例では、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  は、駆動電力  $W_d$  が小さいほど大きく設定される。第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  と駆動電力  $W_d$  との関係は、例えば、1次関数で表される。図9の例では、駆動電力  $W_d$  に対する第1周波数  $f_1$  の変化の傾きは、例えば、第1周波数  $f_{11} \sim f_{14}$  のいずれにおいても同じである。

【0094】

本実施形態においては、図8に示すランプ電圧  $V_{1a}$  に対する第1周波数  $f_1$  の変化と、図9に示す駆動電力  $W_d$  に対する第1周波数  $f_1$  の変化との両方に基づいて、第1周波数  $f_1$  が設定される。具体的には、例えば、ランプ電圧  $V_{1a}$  に対して設定される第1周波数  $f_1$  の値に、駆動電力  $W_d$  の変化による第1周波数  $f_1$  の変化分を足し合わせる、あるいは減じることで、第1周波数  $f_1$  の値が設定される。第1周波数  $f_1$  の値は、例えば、50Hz以上、50kHz以下の間である。

30

【0095】

なお、本明細書において、第1周波数  $f_1$  はランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される、とは、図8の例のようにランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【0096】

また、本明細書において、第1周波数  $f_1$  は駆動電力  $W_d$  が小さいほど大きく設定される、とは、図9の例のように駆動電力  $W_d$  の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよいし、駆動電力  $W_d$  の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよい。

40

【0097】

また、本明細書において、第1周波数  $f_1$  はランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される、とは、駆動電力  $W_d$  を一定とした場合について、このように設定されることを含む。また、本明細書において、第1周波数  $f_1$  は駆動電力  $W_d$  が小さいほど大きく設定される、とは、ランプ電圧  $V_{1a}$  を一定とした場合について、このように設定されることを含む。

50

## 【 0 0 9 8 】

すなわち、例えば、本実施形態のように第 1 周波数  $f_1$  がランプ電圧  $V_{1a}$  と駆動電力  $W_d$  との両方に基づいて設定される場合、ランプ電圧  $V_{1a}$  が大きくなった場合でも駆動電力  $W_d$  が大きくなることで、設けられる第 1 周波数  $f_1$  は小さくなることもあり、駆動電力  $W_d$  が大きくなった場合でもランプ電圧  $V_{1a}$  が小さくなることで、設けられる第 1 周波数  $f_1$  は大きくなることもある。

## 【 0 0 9 9 】

本実施形態において、第 1 期間  $P_1$  の開始極性は、例えば、直前に設けられる期間、すなわち本実施形態では第 2 期間  $P_2$  の終了極性と反対の極性である。開始極性とは、ある期間が開始した時点における駆動電流  $I$  の極性である。終了極性とは、ある期間が終了した時点における駆動電流  $I$  の極性である。

10

## 【 0 1 0 0 】

具体的には、例えば、第 1 期間  $P_1$  の直前に設けられた第 2 期間  $P_2$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性が第 2 極性であった場合、第 2 期間  $P_2$  の終了極性は第 2 極性となるため、第 1 期間  $P_1$  の開始極性は第 1 極性である。本実施形態において第 1 期間  $P_1$  の開始極性とは、第 1 交流期間  $P_{11}$  の開始極性である。

## 【 0 1 0 1 】

図 7 に示すように、本実施形態において、第 1 交流期間  $P_{11}$  の長さ  $t_{11}$  と、第 2 交流期間  $P_{12}$  の長さ  $t_{12}$  と、第 3 交流期間  $P_{13}$  の長さ  $t_{13}$  と、第 4 交流期間  $P_{14}$  の長さ  $t_{14}$  とは、例えば、同じである。各交流期間に含まれる交流電流の周期数  $T_1$  は、例えば、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の両方に基づいて設定される。本実施形態において各交流期間に含まれる交流電流の周期数  $T_1$  は、例えば、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の両方に基づいて設定される第 1 周波数  $f_1$  に基づいて設定される。

20

## 【 0 1 0 2 】

すなわち、第 1 交流期間  $P_{11}$  における周期数  $T_{11}$  は、第 1 周波数  $f_{11}$  に基づいて設定される。第 2 交流期間  $P_{12}$  の周期数  $T_{12}$  は、第 1 周波数  $f_{12}$  に基づいて設定される。第 3 交流期間  $P_{13}$  の周期数  $T_{13}$  は、第 1 周波数  $f_{13}$  に基づいて設定される。第 4 交流期間  $P_{14}$  の周期数  $T_{14}$  は、第 1 周波数  $f_{14}$  に基づいて設定される。具体的には、例えば、各第 1 周波数  $f_1$  に各期間の長さを乗じた値が、周期数  $T_1$  となる。

## 【 0 1 0 3 】

第 2 期間  $P_2$  は、第 1 直流期間  $P_{21}$  および第 2 直流期間  $P_{22}$  を交互に含む期間である。第 1 直流期間  $P_{21}$  は、放電灯 90 に直流電流が供給される期間である。図 7 に示す例では、第 1 直流期間  $P_{21}$  においては、一定の電流値  $I_{m1}$  を有する第 1 極性の駆動電流  $I$  が放電灯 90 に供給される。

30

## 【 0 1 0 4 】

本実施形態において、第 1 期間  $P_1$  の長さ  $t_1$ 、すなわち、長さ  $t_{11} \sim t_{14}$  の合計の長さは、例えば、10ms（ミリ秒）以上、10s（秒）以下である。第 1 期間  $P_1$  の長さ  $t_1$  がこのように設定されることで、第 1 電極 92 の突起 552p および第 2 電極 93 の突起 553p に好適に熱負荷を加えることができる。

## 【 0 1 0 5 】

第 2 直流期間  $P_{22}$  は、第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が放電灯 90 に供給される期間である。すなわち、図 7 に示す例では、第 2 直流期間  $P_{22}$  においては、一定の電流値  $-I_{m1}$  を有する第 2 極性の駆動電流  $I$  が放電灯 90 に供給される。

40

## 【 0 1 0 6 】

第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間  $P_{22}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性は、第 2 期間  $P_2$  が設けられるごとに反転する。すなわち、図 7 に示される第 2 期間  $P_2$  の次に設けられる第 2 期間  $P_2$  においては、第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性は、第 2 極性となり、第 2 直流期間  $P_{22}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性は、

50

第1極性となる。

【0107】

第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、第2直流期間P22の長さ $t_{22}$ よりも大きい。第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、例えば、第2直流期間P22の長さ $t_{22}$ の10倍以上である。第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ がこのように設定されることで、第2期間P2において、一方の電極を好適に加熱しつつ、他方の電極の温度が低下し過ぎることを好適に抑制できる。

【0108】

第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、例えば、5.0ms(ミリ秒)以上、20ms(ミリ秒)以下である。第2直流期間P22の長さ $t_{22}$ は、0.5ms(ミリ秒)よりも

10

【0109】

1つの第2期間P2における複数の第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、少なくとも2つの第1直流期間P21において、互いに異なる。すなわち、制御部40は、1つの第2期間P2に含まれる複数の第1直流期間P21のうち少なくとも2つの第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ が、互いに異なるように放電灯駆動部230を制御する。

【0110】

本実施形態において第2期間P2に含まれる第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、それぞれ互いに異なる。図7の例では、第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、第1直流期間P21が設けられる順に大きくなる。すなわち、図7の例において制御部40は、1つの第2期間P2に含まれる複数の第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ が、第1直流期間P21が設けられる順に大きくなるように放電灯駆動部230を制御する。

20

【0111】

第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ が大きくなるパターンは、特に限定されない。一例として、1つの第2期間P2に含まれる第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、第2期間P2において初めに設けられる第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ を基準として、第1直流期間P21が設けられごとに2倍、3倍、4倍と変化してもよい。また、一例として、1つの第2期間P2に含まれる第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、等差的に大きくなってよいし、等比的に大きくなってよい。また、一例として、1つの第2期間P2に含まれる第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ は、複数の第1直流期間P21が設けられるごとに段階的に大きくなってよい。

30

【0112】

なお、本明細書において、1つの第2期間P2に含まれる複数の第1直流期間のうち少なくとも2つの第1直流期間の長さが互いに異なる、とは、第2期間P2が、ある長さを有する第1直流期間と、その第1直流期間と異なる長さを有する第1直流期間と、を少なくとも1つずつ有することを含む。

【0113】

第2直流期間P22の長さ $t_{22}$ は、互いに同じであってもよいし、互いに異なってもよい。図7の例では、第2直流期間P22の長さ $t_{22}$ は、例えば、互いに同じである。

【0114】

本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の両方に基づいて、第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計を設定する。すなわち、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に基づいて、第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計を変化させる。

40

【0115】

第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計とは、第2期間P2に含まれるすべての第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ を足し合わせた長さである。図7の例では、第2期間P2には、例えば、4つの第1直流期間P21が含まれている。そのため、第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計とは、4つの第1直流期間

50



P 2 1 の長さ  $t_{21}$  を足し合わせた長さである。

【 0 1 1 6 】

なお、以下の説明においては、第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の合計を、単に、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さ、と呼ぶ場合がある。

【 0 1 1 7 】

第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、例えば、ランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される。第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、例えば、駆動電力  $W_d$  が大きいほど小さく設定される。第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さとランプ電圧  $V_{1a}$  との関係は、駆動電力  $W_d$  を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さと駆動電力  $W_d$  との関係は、ランプ電圧  $V_{1a}$  を一定とした場合、例えば、1 次関数で表せる。

10

【 0 1 1 8 】

なお、本明細書において、第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の合計はランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される、とは、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、ランプ電圧  $V_{1a}$  の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

【 0 1 1 9 】

また、本明細書において、第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の合計は駆動電力  $W_d$  が大きいほど小さく設定される、とは、駆動電力  $W_d$  の値が所定の範囲内のみにおいてのことであってもよいし、駆動電力  $W_d$  の値が取り得るすべての範囲内においてのことであってもよい。

20

【 0 1 2 0 】

すなわち、ランプ電圧  $V_{1a}$  が所定の値以下である場合には、例えば、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さを一定としてもよい。また、駆動電力  $W_d$  が所定の値以下である場合には、例えば、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さを一定としてもよい。

【 0 1 2 1 】

また、本明細書において、第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の合計はランプ電圧  $V_{1a}$  が大きいほど大きく設定される、とは、駆動電力  $W_d$  を一定とした場合について、このように設定されることを含む。また、本明細書において、第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の合計は駆動電力  $W_d$  が大きいほど小さく設定される、とは、ランプ電圧  $V_{1a}$  を一定とした場合について、このように設定されることを含む。

30

【 0 1 2 2 】

すなわち、例えば、本実施形態のように第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さがランプ電圧  $V_{1a}$  と駆動電力  $W_d$  との両方に基づいて設定される場合、ランプ電圧  $V_{1a}$  が大きくなった場合でも駆動電力  $W_d$  が大きくなることで、設けられる第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは小さくなることもあり、駆動電力  $W_d$  が大きくなった場合でもランプ電圧  $V_{1a}$  が大きくなることで、設けられる第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは大きくなることもある。

【 0 1 2 3 】

第 2 期間 P 2 に含まれる第 1 直流期間 P 2 1 の数は、例えば、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さに基づいて決まる。第 1 直流期間 P 2 1 の数は、例えば、各第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  が所定の値以下となる範囲内で、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さを実現できるように決められる。すなわち、第 2 期間 P 2 に含まれる第 1 直流期間 P 2 1 の数は、例えば、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが大きくなるほど多くなる。

40

【 0 1 2 4 】

1 つの第 2 期間 P 2 に含まれる第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  は少なくとも 2 つの第 1 直流期間 P 2 1 において互いに異なるため、1 つの第 2 期間 P 2 に含まれる第 1 直流期間 P 2 1 の数は、第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  の最大値が所定の値以下となるように決められる。すなわち、図 7 の例では、第 2 期間 P 2 に含まれる第 1 直流期間 P 2 1 の数は、第 2 期間 P 2 内において時間的に最も後ろに設けられる第 1 直流期間 P 2 1 の長さ  $t_{21}$  が所定の値以下となるように決められる。

50

## 【 0 1 2 5 】

具体的には、例えば所定の値が  $20\text{ ms}$ （ミリ秒）と設定される場合、第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さが  $20\text{ ms}$ （ミリ秒）よりも大きいとき、第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の数は 2 つ以上である。また、第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さが  $40\text{ ms}$ （ミリ秒）よりも大きいとき、第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の数は 3 つ以上である。

## 【 0 1 2 6 】

図 7 に示す例では、第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の数は 4 つである。すなわち、例えば所定の値が  $20\text{ ms}$ （ミリ秒）と設定される場合、第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さは、 $60\text{ ms}$ （ミリ秒）よりも大きい。

10

## 【 0 1 2 7 】

以上のように設定することで、各第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  を所定の値（ $20\text{ ms}$ ）以下としつつ、設定された第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さを実現できる。

## 【 0 1 2 8 】

第 2 期間  $P_2$  における第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  の合計は、例えば、 $50\text{ ms}$ （ミリ秒）以上、 $100\text{ ms}$ （ミリ秒）以下である。第 2 期間  $P_2$  における第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  の合計がこのように設定されることで、第 1 電極 92 の突起  $552\text{ p}$  に加えられる熱負荷を好適に大きくできる。

## 【 0 1 2 9 】

上述した制御部 40 による制御は、放電灯駆動方法としても表現できる。すなわち、本実施形態の放電灯駆動方法の一つの態様は、第 1 電極 92 および第 2 電極 93 を有する放電灯 90 に駆動電流  $I$  を供給して、放電灯 90 を駆動する放電灯駆動方法であって、第 1 期間  $P_1$  と、第 2 期間  $P_2$  と、が交互に繰り返される混合期間  $PH_1$  が設けられ、第 1 期間  $P_1$  は、放電灯 90 に第 1 周波数  $f_1$  を有する交流電流が供給される期間であり、第 2 期間  $P_2$  は、放電灯 90 に直流電流が供給される第 1 直流期間  $P_{21}$ 、および第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が放電灯 90 に供給される第 2 直流期間  $P_{22}$  を交互に含む期間であり、第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、第 2 直流期間  $P_{22}$  の長さ  $t_{22}$  よりも大きく、第 2 直流期間  $P_{22}$  の長さ  $t_{22}$  は、 $0.5\text{ ms}$  よりも小さく、1 つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  のうち少なくとも 2 つの第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  を、互いに異ならせることを特徴とする。

20

30

## 【 0 1 3 0 】

本実施形態によれば、混合期間  $PH_1$  において第 1 期間  $P_1$  と第 2 期間  $P_2$  とが交互に繰り返される。第 2 期間  $P_2$  においては、放電灯 90 に直流電流が供給されるため、第 1 期間  $P_1$  に比べて第 1 電極 92 に加えられる熱負荷が大きい。そのため、第 2 期間  $P_2$  において第 1 電極 92 の突起  $552\text{ p}$  は溶融される。溶融された突起  $552\text{ p}$  は、交流電流が放電灯 90 に供給される第 1 期間  $P_1$  において凝固する。これを繰り返すことで、突起  $552\text{ p}$  は成長する。

## 【 0 1 3 1 】

そして、本実施形態によれば、第 2 期間  $P_2$  ごとに含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  が、少なくとも 2 つの第 1 直流期間  $P_{21}$  において互いに異なる。第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  が大きいほど、第 1 電極 92 に加えられる熱負荷は大きくなる。そのため、第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  を変化させることで、第 1 直流期間  $P_{21}$  において第 1 電極 92 に加えられる熱負荷を、第 1 直流期間  $P_{21}$  ごとに変化させることができる。これにより、第 2 期間  $P_2$  において、第 1 電極 92 の突起  $552\text{ p}$  の溶融を制御しやすい。したがって、本実施形態によれば、第 2 期間  $P_2$  において好適に突起  $552\text{ p}$  を溶融させやすく、混合期間  $PH_1$  における突起  $552\text{ p}$  の成長を促せる。その結果、放電灯 90 の寿命を向上できる。

40

## 【 0 1 3 2 】

具体的に本実施形態によれば、第 2 期間  $P_2$  ごとに含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$

50

の長さ $t_{21}$ は、第1直流期間 $P_{21}$ が設けられる順に大きくなる。第1直流期間 $P_{21}$ の長さ $t_{21}$ が大きくなり第1電極92に加えられる熱負荷が大きくなるほど、第1電極92における突起552pの溶融する部分の体積は、突起552pを中心として大きくなる。そのため、第2期間 $P_2$ における突起552pの溶融する部分の体積は、第1直流期間 $P_{21}$ が設けられるごとに大きくなる。これにより、第2期間 $P_2$ において、突起552pを先端から徐々に溶融させることができ、突起552pを安定して溶融させやすい。したがって、本実施形態によれば、混合期間 $PH_1$ において突起552pの安定した成長を促しやすく、放電灯90の寿命をより向上できる。

#### 【0133】

また、例えば、放電灯90が劣化すると、第1電極92の突起552pが溶融しにくくなり、突起552pの形状を維持しにくくなる。そのため、第1電極92に加えられる熱負荷が比較的大きい第2期間 $P_2$ によっても、突起552pの形状を十分に維持しにくくなる虞がある。

#### 【0134】

また、例えば、放電灯90に供給される駆動電力 $W_d$ が比較的大きい場合には、第1電極92に加えられる熱負荷が大きくなりやすい。そのため、第2期間 $P_2$ が設けられることで、第1電極92に加えられる熱負荷が過剰に大きくなる虞がある。

#### 【0135】

これらの問題に対して、本実施形態によれば、制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に基づいて、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さを設定する。そのため、上記問題の少なくとも一方を解決できる。

#### 【0136】

具体的には、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さがランプ電圧 $V_{1a}$ に基づいて設定される場合、ランプ電圧 $V_{1a}$ が大きくなるほど、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さを大きく設定することで、放電灯90が劣化した場合に第2期間 $P_2$ において第1電極92に加えられる熱負荷をより大きくできる。これにより、放電灯90が劣化した場合に、第2期間 $P_2$ によって好適に第1電極92の突起552pを溶融させやすく、突起552pの形状を維持しやすい。

#### 【0137】

一方、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さが駆動電力 $W_d$ に基づいて設定される場合、駆動電力 $W_d$ が大きくなるほど、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さを小さく設定することで、駆動電力 $W_d$ が比較的に大きい場合に、第2期間 $P_2$ において第1電極92に加えられる熱負荷を小さくできる。これにより、第1電極92の突起552pが過剰に溶融されることを抑制でき、突起552pの形状を維持しやすい。

#### 【0138】

本実施形態によれば、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さは、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の両方に基づいて設定されるため、上記問題をいずれも解決することができる。

#### 【0139】

また、例えば、第2期間 $P_2$ において、第1直流期間 $P_{21}$ の長さ $t_{21}$ と第2直流期間 $P_{22}$ の長さ $t_{22}$ との差(比)が小さいと、第1直流期間 $P_{21}$ における第1電極92の温度の上昇幅と、第2直流期間 $P_{22}$ における第1電極92の温度の下降幅との差が小さい。そのため、第2期間 $P_2$ において第1電極92の温度を上昇させにくい。これにより、第2期間 $P_2$ において第1電極92に加えられる熱負荷を十分に大きくできず、突起552pを十分に溶融できない虞がある。

#### 【0140】

これに対して、本実施形態によれば、第1直流期間 $P_{21}$ の長さ $t_{21}$ は、第2直流期間 $P_{22}$ の長さ $t_{22}$ の10倍以上である。そのため、第1直流期間 $P_{21}$ における第1電極92の温度の上昇幅を、第2直流期間 $P_{22}$ における第1電極92の温度の下降幅に対して十分に大きくできる。これにより、本実施形態によれば、第2期間 $P_2$ において第1電極92に好適に熱負荷を加えることができ、突起552pの形状をより維持しやすい

10

20

30

40

50

。

【0141】

また、本実施形態によれば、第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計は、5.0ms(ミリ秒)以上、100ms(ミリ秒)以下である。そのため、第2期間P2において第1電極92に加えられる熱負荷を十分に大きくしやすく、突起552pの形状をより維持しやすい。

【0142】

また、本実施形態によれば、第2期間P2の第1直流期間P21において放電灯90に供給される直流電流の極性、および第2期間P2の第2直流期間P22において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第2期間P2が設けられるごとに反転する。そのため、混合期間PH1において、第1電極92の突起552pおよび第2電極93の突起562pをバランスよく成長させることができ、突起552pの形状および突起562pの形状を共に維持しやすい。

10

【0143】

また、本実施形態によれば、第1周波数 $f_1$ は、互いに異なる複数の周波数を含む。そのため、第1期間P1内において、第1電極92に加えられる熱負荷を変動させることができる。したがって、本実施形態によれば、第1電極92の突起552pをより成長させやすい。

【0144】

また、本実施形態によれば、第1期間P1において、時間的に後に設けられる交流期間ほど第1周波数 $f_1$ が小さくなる。すなわち、第1期間P1においては、時間的に最も前に設けられる第1交流期間P11において、第1周波数 $f_1$ が最も大きい。言い換えれば、第1周波数 $f_1$ のうちで、第1交流期間P11において放電灯90に供給される交流電流の第1周波数 $f_{11}$ が最も大きい。放電灯90に供給される交流電流の周波数が大きいほど、第1電極92の温度は低下しやすい。

20

【0145】

そのため、混合期間PH1において、第1期間P1よりも熱負荷が大きい第2期間P2の直後に、第1周波数 $f_1$ が大きい第1交流期間P11を設けることで、第2期間P2によって加熱された第1電極92の温度を急激に低下させやすく、第1電極92に熱負荷の変動による刺激を加えやすい。その結果、本実施形態によれば、突起552pをより成長させやすい。

30

【0146】

また、例えば、放電灯90が劣化してランプ電圧 $V_{1a}$ が大きくなる場合、放電灯90に供給される駆動電流 $I$ が小さくなるため、アーク放電の輝点が不安定になりやすく、移動しやすい。アーク放電の輝点が移動すると、第1電極92における溶融する位置および溶融量が変化する。これにより、第1電極92の形状が不安定になり、消耗しやすくなる虞があった。したがって、放電灯90の寿命を十分に向上できない虞があった。

【0147】

また、同様にして、駆動電力 $W_d$ が小さい場合においても、駆動電流 $I$ が小さくなる。そのため、アーク放電の輝点が不安定になり、第1電極92が消耗しやすくなる虞があった。したがって、放電灯90の寿命を十分に向上できない虞があった。

40

【0148】

これらの問題に対して、本実施形態によれば、制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に基づいて、第1周波数 $f_1$ を設定する。そのため、上記問題の少なくとも一方を解決できる。

【0149】

具体的には、第1周波数 $f_1$ がランプ電圧 $V_{1a}$ に基づいて設定される場合、ランプ電圧 $V_{1a}$ が大きくなるほど、第1周波数 $f_1$ を大きく設定することで、放電灯90が劣化した場合に、アーク放電の輝点を安定させやすい。これは、以下の理由による。

【0150】

50

放電灯 90 に供給される交流電流の周波数が比較的大きい場合、第 1 電極 92 の突起 552 p における溶融される部分の体積が比較的小さくなる。アーク放電の輝点は、突起 552 p が溶融されて平坦化された先端面に位置する。突起 552 p における溶融される部分の体積が小さい場合、平坦化される先端面の面積が比較的小さい。そのため、アーク放電の輝点が移動する領域が小さくなり、アーク放電の輝点の位置を安定化できる。

【0151】

したがって、本実施形態によれば、放電灯 90 が劣化した場合に、第 1 電極 92 が消耗しやすくなることを抑制できる。

【0152】

一方、第 1 周波数  $f_1$  が駆動電力  $W_d$  に基づいて設定される場合、駆動電力  $W_d$  が小さくなるほど、第 1 周波数  $f_1$  を大きく設定することで、駆動電力  $W_d$  が比較的に小さい場合に、第 1 周波数  $f_1$  を比較的大きくできる。これにより、上記と同様にして、アーク放電の輝点を安定化でき、第 1 電極 92 が消耗しやすくなることを抑制できる。

【0153】

以上のように、本実施形態によれば、第 1 電極 92 が消耗することを抑制でき、放電灯 90 の寿命をより向上させることができる。

【0154】

本実施形態によれば、第 1 周波数  $f_1$  は、ランプ電圧  $V_{la}$  および駆動電力  $W_d$  の両方に基づいて設定されるため、上記問題をいずれも解決することができる。したがって、放電灯 90 の寿命をより向上できる。

【0155】

なお、本実施形態においては、以下の構成および方法を採用することもできる。

【0156】

本実施形態において混合期間  $P_{H1}$  は、放電灯 90 が点灯している間、常に設けられていてもよいし、他の期間を挟みつつ、断続的に複数設けられていてもよい。

【0157】

また、本実施形態において、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、少なくとも 2 つの第 1 直流期間  $P_{21}$  において互いに異なれば、特に限定されない。本実施形態においては、例えば、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  が、1つの第 1 直流期間  $P_{21}$  を除いて互いに同じであってもよいし、互いに長さ  $t_{21}$  が同じ複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  が 2 組以上設けられてもよい。

【0158】

また、本実施形態において、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、例えば、第 2 期間  $P_2$  において第 1 直流期間  $P_{21}$  が設けられる順に小さくなくてもよい。すなわち、本実施形態において制御部 40 は、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  が、第 1 直流期間  $P_{21}$  が設けられる順に小さくなるように放電灯駆動部 230 を制御してもよい。

【0159】

第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  が小さくなるパターンは、特に限定されない。一例として、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、第 2 期間  $P_2$  において初めに設けられる第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  を基準として、第 1 直流期間  $P_{21}$  が設けられごとに  $1/2$  倍、 $1/3$  倍、 $1/4$  倍と変化してもよい。また、一例として、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、等差的に小さくなくてもよいし、等比的に小さくなくてもよい。また、一例として、1つの第 2 期間  $P_2$  に含まれる第 1 直流期間  $P_{21}$  の長さ  $t_{21}$  は、複数の第 1 直流期間  $P_{21}$  が設けられるごとに段階的に小さくなくてもよい。

【0160】

この構成によれば、第 2 期間  $P_2$  における突起 552 p の溶融する部分の体積は、第 1 直流期間  $P_{21}$  が設けられるごとに小さくなる。これにより、第 2 期間  $P_2$  において、初

10

20

30

40

50

めの第1直流期間P21で突起552pが溶融された後、突起552pの根本から徐々に溶融した突起552pが凝固する。したがって、成長する突起552pの形状を安定させやすい。その結果、この構成によれば、突起552pの形状を維持しやすく、放電灯90の寿命をより向上できる。

#### 【0161】

また、本実施形態において、1つの第2期間P2に含まれる複数の第1直流期間P21の長さt21は、図10に示すように変化してもよい。図10は、本実施形態の他の一例である第2期間P2aを示すグラフである。図10において、縦軸は駆動電流Iを示しており、横軸は時間Tを示している。駆動電流Iは、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

10

#### 【0162】

図10に示すように、第2期間P2aは、第1直流期間P21aと、第2直流期間P22aと、を交互に有する。1つの第2期間P2aに含まれる第1直流期間P21aの長さt21aは、初めのうちは第1直流期間P21aが設けられるごとに大きくなり、ある時点から第1直流期間P21aが設けられるごとに小さくなる。すなわち、この構成において制御部40は、1つの第2期間P2aに含まれる複数の第1直流期間P21aの長さt21aが、第1直流期間P21aが設けられる順に大きくなった後、第1直流期間P21aが設けられる順に小さくなるように放電灯駆動部230を制御する。

#### 【0163】

具体的には、図10の例において第1直流期間P21aは、例えば、1つの第2期間P2aにおいて7つ設けられている。第2期間P2aにおいて初めに設けられる第1直流期間P21aから、4番目に設けられる第1直流期間P21aまでの間では、第1直流期間P21aの長さt21aは、第1直流期間P21aが設けられるごとに大きくなる。第2期間P2aにおいて4番目に設けられる第1直流期間P21aから、最後に設けられる第1直流期間P21aまでの間では、第1直流期間P21aの長さt21aは、第1直流期間P21aが設けられるごとに小さくなる。

20

#### 【0164】

1つの第2期間P2aにおける第1直流期間P21aの長さt21aの変化のパターンは、特に限定されず、上述した図7に示す第1直流期間P21の長さt21の変化のパターンと同様の方法を採用できる。第1直流期間P21aのその他の構成は、図7に示す第1直流期間P21の構成と同様である。第2直流期間P22aの構成は、図7に示す第2直流期間P22の構成と同様である。

30

#### 【0165】

この構成によれば、第1直流期間P21aの長さt21aが徐々に大きくなる期間において突起552pを徐々に溶融させつつ、第1直流期間P21aの長さt21aが徐々に小さくなる期間において溶融した突起552pを徐々に凝固させることができる。これにより、突起552pの形状を安定させつつ、成長を促すことができる。

#### 【0166】

また、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧V1aのみに基づいて第2期間P2の第1直流期間P21の合計長さを変化させてもよいし、駆動電力Wdのみに基づいて第2期間P2の第1直流期間P21の合計長さを変化させてもよい。また、本実施形態において第2期間P2の第1直流期間P21の合計長さは、変化しなくてもよい。

40

#### 【0167】

また、本実施形態において制御部40は、第2期間P2が設けられるごとに、ランプ電圧V1aおよび駆動電力Wdの少なくとも一方に基づいて第1直流期間P21の合計長さを変化させてもよいし、混合期間PH1が複数設けられる場合、混合期間PH1が設けられるごとに1度ずつランプ電圧V1aおよび駆動電力Wdの少なくとも一方に基づいて第1直流期間P21の合計長さを変化させてもよい。

#### 【0168】

第1直流期間P21の合計長さが、第2期間P2が設けられるごとに変化する場合、1

50

つの混合期間  $P_{H1}$  において各第 2 期間  $P_2$  における第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さは、互いに異なる場合がある。一方、第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さが、混合期間  $P_{H1}$  が設けられるごとに 1 度ずつ変化する場合、1 つの混合期間  $P_{H1}$  において各第 2 期間  $P_2$  における第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さは、互いに同じである。

【0169】

また、本実施形態において制御部 40 は、混合期間  $P_{H1}$  が複数設けられる場合、混合期間  $P_{H1}$  が所定の数だけ設けられるごとに 1 度ずつランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の少なくとも一方に基づいて第 2 期間  $P_2$  における第 1 直流期間  $P_{21}$  の合計長さを変化させてもよい。

【0170】

10

また、本実施形態において制御部 40 は、第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間  $P_{22}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性を、第 2 期間  $P_2$  が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、2 回以上連続して、第 1 直流期間  $P_{21}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性および第 2 直流期間  $P_{22}$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性がそれぞれ同じである第 2 期間  $P_2$  が設けられてもよい。

【0171】

また、本実施形態において第 1 期間  $P_1$  に含まれる各交流期間の長さは、互いに異なってもよい。すなわち、第 1 交流期間  $P_{11}$  の長さ  $t_{11}$  と、第 2 交流期間  $P_{12}$  の長さ  $t_{12}$  と、第 3 交流期間  $P_{13}$  の長さ  $t_{13}$  と、第 4 交流期間  $P_{14}$  の長さ  $t_{14}$  と、

20

は、互いに異なってもよい。

【0172】

また、本実施形態において複数の第 1 周波数  $f_1$  は、どのように設けられてもよい。本実施形態においては、例えば、第 1 期間  $P_1$  において、時間的に後に設けられる交流期間ほど、第 1 周波数  $f_1$  が大きくなる構成であってもよい。

【0173】

また、本実施形態において第 1 期間  $P_1$  に含まれる交流期間の数は、特に限定されない。本実施形態において第 1 期間  $P_1$  は、2 つまたは 3 つの交流期間を有していてもよいし、5 つ以上の交流期間を有していてもよい。また、本実施形態においては、例えば、第 1 期間  $P_1$  ごとに有する交流期間の数が異なってもよい。

30

【0174】

また、本実施形態において制御部 40 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  のみに基づいて第 1 周波数  $f_1$  を設定してもよいし、駆動電力  $W_d$  のみに基づいて第 1 周波数  $f_1$  を設定してもよい。また、本実施形態において第 1 周波数  $f_1$  は変化しなくてもよい。

【0175】

< 第 2 実施形態 >

第 2 実施形態は、第 1 実施形態に対して、第 3 期間（直流駆動期間） $P_3$  が設けられる点において異なる。なお、上記実施形態と同様の構成については、適宜同一の符号を付す等により説明を省略する場合がある。

【0176】

40

本実施形態において制御部 40 は、第 1 実施形態で説明した各駆動に加えて、直流駆動を実行可能である。本実施形態において制御部 40 は、直流駆動が実行される期間である第 3 期間  $P_3$  が設けられるように、放電灯駆動部 230 を制御する。第 3 期間  $P_3$  は、所定の条件下で、第 2 期間  $P_2$  の代わりに設けられる期間である。

【0177】

図 11 は、本実施形態の駆動電流波形の一例を示す図である。図 11 において、縦軸は駆動電流  $I$  を示しており、横軸は時間  $T$  を示している。駆動電流  $I$  は、第 1 極性状態である場合を正とし、第 2 極性状態となる場合を負として示している。

【0178】

図 11 に示すように、本実施形態においては、混合期間  $P_{H2}$  が設けられる。混合期間

50

P H 2 においては、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返されるか、または第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される。すなわち、混合期間 P H 2 においては、所定の条件に応じて、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返されるか、第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返されるか、が異なる。

【 0 1 7 9 】

図 1 1 の例では、混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される場合について示している。混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される場合、混合期間 P H 2 における駆動電流波形は、第 1 実施形態の混合期間 P H 1 の駆動電流波形と同様である。

【 0 1 8 0 】

10

第 3 期間 P 3 は、放電灯 9 0 に直流電流が供給される期間である。図 1 1 に示す例では、第 3 期間 P 3 においては、一定の電流値  $I_{m1}$  を有する第 1 極性の駆動電流  $I$  が放電灯 9 0 に供給される。混合期間 P H 2 の第 3 期間 P 3 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 3 期間 P 3 が設けられるごとに反転する。

【 0 1 8 1 】

すなわち、混合期間 P H 2 において、第 1 期間 P 1 の直前に設けられる第 3 期間 P 3 の直流電流と、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 3 期間 P 3 の直流電流とでは、互いに極性が異なる。例えば、第 1 期間 P 1 の直前に設けられる第 3 期間 P 3 の直流電流の極性が、図 1 1 に示す第 3 期間 P 3 の直流電流と同様に第 1 極性である場合、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 3 期間 P 3 の直流電流の極性は、第 1 極性と反対の第 2 極性である。この場合、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる第 3 期間 P 3 においては、一定の電流値  $-I_{m1}$  を有する第 2 極性の駆動電流  $I$  が放電灯 9 0 に供給される。

20

【 0 1 8 2 】

図 1 1 に示す第 3 期間 P 3 の長さ  $t_3$  は、第 1 期間 P 1 における第 1 周波数  $f_{11}$  を有する交流電流の半周期の長さよりも大きい。第 3 期間 P 3 の長さ  $t_3$  は、例えば、 $10\text{ms}$  (ミリ秒) 以上、 $20\text{ms}$  (ミリ秒) 以下である。第 3 期間 P 3 の長さ  $t_3$  がこのように設定されることで、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に好適に熱負荷を加えることができる。

【 0 1 8 3 】

本実施形態において、制御部 4 0 は、混合期間 P H 2 において交互に繰り返される期間が、所定の条件に応じて切り替えられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。すなわち、制御部 4 0 は、所定の条件に応じて、第 2 期間 P 2 の代わりに第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。以下、詳細に説明する。

30

【 0 1 8 4 】

図 1 2 は、混合期間 P H 2 における制御部 4 0 の制御の一例を示すフローチャートである。図 1 2 に示すように、制御部 4 0 は、混合駆動を開始した (ステップ S 1 1) 後、交流駆動を実行する (ステップ S 1 2)。これにより、混合期間 P H 2 における第 1 期間 P 1 が開始される。

【 0 1 8 5 】

次に、制御部 4 0 は、第 1 実施形態で述べたように、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  に基づいて、分割直流駆動を実行する第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さを設定する (ステップ S 1 3)。そして、制御部 4 0 は、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値よりも大きいかな否かを判断する (ステップ S 1 4)。すなわち、本実施形態において、所定の条件は、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値よりも大きいかな否かということである。

40

【 0 1 8 6 】

第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値よりも大きい場合 (ステップ S 1 4 : YES)、制御部 4 0 は、分割直流駆動を実行する (ステップ S 1 6)。これにより、第 2 期間 P 2 が開始される。すなわち、この場合においては、混合期間 P H 2 における駆動電流波形は、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される波形となる。

50



## 【 0 1 8 7 】

一方、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値以下の場合（ステップ S 1 4 : N O）、制御部 4 0 は、直流駆動を実行する（ステップ S 1 5）。これにより、第 3 期間 P 3 が開始される。すなわち、この場合においては、混合期間 P H 2 における駆動電流波形は、第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される波形となる。ステップ S 1 4 における所定値は、例えば、2 0 m s（ミリ秒）である。

## 【 0 1 8 8 】

このように、本実施形態において制御部 4 0 は、設定された第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値以下である場合、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。すなわち、本実施形態において、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値以下に設定されると、第 2 期間 P 2 は設けられない。そのため、設けられる第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、所定値よりも大きくなる。

10

## 【 0 1 8 9 】

図 1 1 に示す第 3 期間 P 3 の長さ t 3 は、設定された第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さと同じである。すなわち、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値以下の場合、第 2 期間 P 2 が設けられない代わりに、第 2 期間 P 2 において分割されて設けられた第 1 直流期間 P 2 1 が、第 3 期間 P 3 として 1 つの直流期間にまとめられる。

## 【 0 1 9 0 】

上述したように、本実施形態において制御部 4 0 は、設定される第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さに基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれが設けられるかを決定する。本実施形態において第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の両方に基づいて設定される。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の両方に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定する。

20

## 【 0 1 9 1 】

第 1 実施形態で述べたように、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、例えば、ランプ電圧 V 1 a が大きいほど大きく設定される。そのため、放電灯 9 0 を使用し始めた直後においては、ランプ電圧 V 1 a が比較的 low、設定される第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、比較的小さい。これにより、放電灯 9 0 を使用し始めた直後においては、第 2 期間 P 2 の代わりに第 3 期間 P 3 が設けられやすい。そして、放電灯 9 0 の使用と共にランプ電圧 V 1 a が上昇し、設定される第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値を超えると、第 3 期間 P 3 の代わりに第 2 期間 P 2 が設けられる。

30

## 【 0 1 9 2 】

図 1 2 の例では、混合期間 P H 2 において、交流駆動（第 1 期間 P 1）が実行されるごとに、次に、分割直流駆動（第 2 期間 P 2）と直流駆動（第 3 期間 P 3）とのうちのいずれを実行するかを選択する構成である。そのため、1 つの混合期間 P H 2 内において、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とが共に設けられる場合がある。

## 【 0 1 9 3 】

例えば、混合期間 P H 2 の開始初期の段階において第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とが交互に繰り返される場合を考える。この場合、途中でランプ電圧 V 1 a が大きくなる等によって第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さの設定値が所定値よりも大きくなった場合には、混合期間 P H 2 の駆動電流波形は、途中から第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とが交互に繰り返される駆動電流波形となる。

40

## 【 0 1 9 4 】

例えば、図 7 に示す第 2 期間 P 2 における第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが比較的小さい場合、第 1 直流期間 P 2 1 の間に第 2 直流期間 P 2 2 を挟む第 2 期間 P 2 の構成では、十分に第 1 電極 9 2 に熱負荷を加えられない虞がある。

## 【 0 1 9 5 】

50

一方、図 11 に示す第 3 期間 P 3 の長さ  $t_3$  が比較的大きい場合、第 3 期間 P 3 で加熱される電極と反対の電極、例えば第 2 電極 9 3 の温度が低下し過ぎる虞がある。

【0196】

これに対して、本実施形態によれば、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さに応じ、混合期間 P H 2 において第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とが切り替えられる。そのため、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値以下の場合に、混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 3 期間 P 3 とを交互に繰り返すことで、十分に第 1 電極 9 2 に熱負荷を加えやすい。

【0197】

また、設定された第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値よりも大きい場合に、混合期間 P H 2 において第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とを繰り返すことで、第 2 直流期間 P 2 2 によって第 2 電極 9 3 を加熱することができ、第 2 電極 9 3 の温度が低下し過ぎることを抑制できる。

【0198】

なお、本実施形態においては、以下の構成を採用することもできる。

【0199】

本実施形態において制御部 4 0 は、混合期間 P H 2 が複数設けられる場合、混合期間 P H 2 が設けられるごとに 1 度ずつ、混合期間 P H 2 において第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定してもよい。この場合、1 つの混合期間 P H 2 においては、第 1 期間 P 1 および第 2 期間 P 2 のみが交互に繰り返される、あるいは、第 1 期間 P 1 および第 3 期間 P 3 のみが交互に繰り返される。すなわち、この場合、1 つの混合期間 P H 2 においては、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれか一方のみと、第 1 期間 P 1 と、が設けられる。

【0200】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、混合期間 P H 2 が複数設けられる場合、混合期間 P H 2 が所定の数だけ設けられるごとに 1 度ずつ、混合期間 P H 2 において第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのいずれが設けられるかを決定してもよい。

【0201】

また、上記説明においては、制御部 4 0 が、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  に応じて設定される第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さに基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれを設けるかを決定する構成としたが、これに限られない。本実施形態においては、制御部 4 0 が、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  に応じて設定される第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さが所定値より大きいか否かを判断するのではなく、より直接的にランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の少なくとも一方に基づいて、第 2 期間 P 2 と第 3 期間 P 3 とのうちのいずれを設けるかを決定してもよい。

【0202】

また、この場合、第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さは、ランプ電圧  $V_{1a}$  あるいは駆動電力  $W_d$  に応じて変化しなくてもよい。すなわち、制御部 4 0 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の少なくとも一方に基づいて、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御してもよい。より具体的には、制御部 4 0 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が所定の値（第 1 所定値）以下の場合、または駆動電力  $W_d$  が所定の値（第 2 所定値）以上の場合に、第 2 期間 P 2 の代わりに、第 3 期間 P 3 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御してもよい。すなわち、この構成において、所定の条件は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が所定の値以下か否か、あるいは駆動電力  $W_d$  が所定の値以上か否か、ということである。

【0203】

また、言い換えれば、制御部 4 0 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が所定の値（第 1 所定値）よりも大きい場合、または駆動電力  $W_d$  が所定の値（第 2 所定値）よりも小さい場合に、第 3 期間 P 3 の代わりに、第 2 期間 P 2 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御してもよい。すなわち、この構成において、所定の条件は、ランプ電圧  $V_{1a}$  が所定の値よりも

10

20

30

40

50

大きいかな否か、あるいは駆動電力 $W_d$ が所定の値よりも小さいかな否か、ということである。

#### 【0204】

また、本実施形態において制御部40は、混合期間 $P_H2$ の第3期間 $P_3$ において放電灯90に供給される直流電流の極性を、第3期間 $P_3$ が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、放電灯90に同じ極性の直流電流が供給される第3期間 $P_3$ が、第1期間 $P_1$ を挟んで2回以上連続して設けられてもよい。

#### 【0205】

また、本実施形態において、第1直流期間 $P_{21}$ の合計長さを設定するとは、第3期間 $P_3$ の長さ $t_3$ を設定することに、置き換えることができる。すなわち、設定された第3期間 $P_3$ の長さ $t_3$ に応じて、混合期間 $P_H2$ において第2期間 $P_2$ と第3期間 $P_3$ とが切り替えられる構成としてもよい。この場合、第3期間 $P_3$ の長さ $t_3$ が所定値よりも大きい場合、第3期間 $P_3$ の代わりに、第2期間 $P_2$ が設けられる。

10

#### 【0206】

<第3実施形態>

第3実施形態は、第1実施形態に対して、第4期間（低周波交流駆動期間） $P_4$ および第5期間（片寄駆動期間） $P_5$ が設けられる点において異なる。なお、上記実施形態と同様の構成については、適宜同一の符号を付す等により説明を省略する場合がある。

#### 【0207】

本実施形態において制御部40は、第1実施形態で説明した各駆動に加えて、低周波交流駆動と、片寄駆動と、を実行可能である。低周波交流駆動は、放電灯90に交流駆動の交流電流よりも周波数の低い交流電流が供給される駆動である。片寄駆動は、放電灯90に極性の異なる直流電流が交互に供給され、一方の極性の直流電流の長さが、他方の極性の直流電流の長さよりも十分に長い駆動である。

20

#### 【0208】

本実施形態において制御部40は、第1期間 $P_1$ と第2期間 $P_2$ とが交互に繰り返される混合期間 $P_H1$ に加えて、低周波交流駆動が実行される期間である第4期間 $P_4$ と、片寄駆動が実行される期間である第5期間 $P_5$ と、が設けられるように、放電灯駆動部230を制御する。

#### 【0209】

図13は、本実施形態における放電灯90に駆動電流 $I$ が供給される期間の変化を示す模式図である。図13に示すように、本実施形態において制御部40は、駆動サイクル $C$ が繰り返されるように、放電灯駆動部230を制御する。本実施形態において駆動サイクル $C$ は、第1期間 $P_1$ と、第2期間 $P_2$ と、第4期間 $P_4$ と、第5期間 $P_5$ と、を有する。すなわち、駆動サイクル $C$ は、制御部40が4つの駆動を行うことで実行される。駆動サイクル $C$ には、第1期間 $P_1$ と第2期間 $P_2$ とが交互に繰り返される混合期間 $P_H1$ が設けられる。本実施形態において混合期間 $P_H1$ は、複数設けられる。

30

#### 【0210】

本実施形態において第4期間 $P_4$ は、時間的に隣り合う混合期間 $P_H1$ の間に設けられる。第4期間 $P_4$ は、例えば、第1期間 $P_1$ の直後に設けられる。第4期間 $P_4$ は、例えば、第1期間 $P_1$ の直前に設けられる。

40

#### 【0211】

図14は、第4期間 $P_4$ の駆動電流波形の一例を示す図である。図14において、縦軸は駆動電流 $I$ を示しており、横軸は時間 $T$ を示している。駆動電流 $I$ は、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

#### 【0212】

図14に示すように、第4期間 $P_4$ は、放電灯90に第1周波数 $f_1$ よりも小さい第2周波数 $f_2$ を有する交流電流が供給される期間である。すなわち、第4期間 $P_4$ における交流電流の第2周波数 $f_2$ は、第1周波数 $f_{11} \sim f_{14}$ のいずれよりも小さい。第2周波数 $f_2$ の値は、例えば、10Hz以上、100Hz以下の間である。

50

## 【0213】

第4期間P4は、設けられるごとに開始極性が反転する。図14の例では、第4期間P4の開始極性は、例えば、第1極性である。そのため、図14に示す第4期間P4の次に設けられる第4期間P4においては、開始極性は第2極性となる。

## 【0214】

第4期間P4の長さ $t_4$ は、例えば、第2実施形態の第3期間P3の長さ $t_3$ よりも大きい。第4期間P4の長さ $t_4$ は、第2周波数 $f_2$ を有する交流電流の6周期の長さ以上、30周期の長さ以下である。第4期間P4の長さ $t_4$ がこのように設定されることで、第1電極92の突起552pの形状を好適に整えることができる。

## 【0215】

図13に示すように、第5期間P5は、時間的に隣り合う混合期間PH1の間に設けられる。第5期間P5は、例えば、第1期間P1の直後に設けられる。第5期間P5は、例えば、第1期間P1の直前に設けられる。

## 【0216】

図15は、第5期間P5の駆動電流波形の一例を示す図である。図15において、縦軸は駆動電流 $I$ を示しており、横軸は時間 $T$ を示している。駆動電流 $I$ は、第1極性状態である場合を正とし、第2極性状態となる場合を負として示している。

## 【0217】

図15に示すように、第5期間P5は、第3直流期間P51および第4直流期間P52を交互に含む期間である。第3直流期間P51は、放電灯90に直流電流が供給される期間である。図15に示す例では、第3直流期間P51においては、一定の電流値 $I_{m1}$ を有する第1極性の駆動電流 $I$ が放電灯90に供給される。

## 【0218】

第4直流期間P52は、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性と反対の極性を有する直流電流が放電灯90に供給される期間である。すなわち、図15に示す例では、第4直流期間P52においては、一定の電流値 $-I_{m1}$ を有する第2極性の駆動電流 $I$ が放電灯90に供給される。

## 【0219】

第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性および第4直流期間P52において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第5期間P5が設けられるごとに反転する。すなわち、図15に示される第5期間P5の次に設けられる第5期間P5においては、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第2極性となり、第4直流期間P52において放電灯90に供給される直流電流の極性は、第1極性となる。

## 【0220】

第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ よりも大きい。第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、例えば、第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ の10倍以上である。第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ がこのように設定されることで、第5期間P5において、一方の電極を好適に加熱しつつ、他方の電極の温度が低下し過ぎることを好適に抑制できる。

## 【0221】

第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、例えば、5.0ms(ミリ秒)以上、20ms(ミリ秒)以下である。第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ は、0.5ms(ミリ秒)よりも小さい。

## 【0222】

第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計は、第2実施形態の第3期間P3の長さ $t_3$ よりも大きく、第4期間P4の交流電流、すなわち第2周波数 $f_2$ を有する交流電流の半周期の長さよりも大きい。第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計は、第2期間P2における第1直流期間P21の長さ $t_{21}$ の合計よりも大きい。

10

20

30

40

50

## 【0223】

第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計とは、第5期間P5に含まれるすべての第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ を足し合わせた長さである。図15の例では、第5期間P5には、例えば、4つの第3直流期間P51が含まれている。そのため、第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計とは、4つの第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ を足し合わせた長さである。

## 【0224】

第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計は、例えば、10ms（ミリ秒）以上、1.0s（秒）以下である。第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計がこのように設定されることで、第1電極92の突起552pに加えられる熱負荷を好適に大きくできる。

10

## 【0225】

なお、以下の説明においては、第5期間P5における第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ の合計を、単に、第3直流期間P51の合計長さ、と呼ぶ場合がある。

## 【0226】

第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、それぞれ同じであってもよいし、互いに異なってもよい。図15の例では、第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、それぞれ同じである。

## 【0227】

また、第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、少なくとも2つの第3直流期間P51において、互いに異なってもよい。すなわち、制御部40は、1つの第5期間P5に含まれる複数の第3直流期間P51のうち少なくとも2つの第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ が、互いに異なるように放電灯駆動部230を制御してもよい。この場合、第5期間P5は、第2期間P2の第1直流期間P21に対応する第3直流期間P51の合計長さが、第1直流期間P21の合計長さよりも大きい点を除いて、第2期間P2の構成と同様である。

20

## 【0228】

本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の両方に基づいて、第3直流期間P51の合計長さを設定する。すなわち、本実施形態において制御部40は、ランプ電圧 $V_{1a}$ および駆動電力 $W_d$ の少なくとも一方に基づいて、第3直流期間P51の合計長さを変化させる。第3直流期間P51の合計長さの変化は、第2期間P2の第1直流期間P21の合計長さの変化と同様の方法を採用できる。

30

## 【0229】

上述したように、本実施形態において第4期間P4と第5期間P5とは、時間的に隣り合う混合期間PH1同士の間に設けられる。本実施形態において第4期間P4と第5期間P5とは、一定のパターンに沿って周期的に設けられる。以下、詳細に説明する。

## 【0230】

図16は、本実施形態の制御部40による駆動サイクルCにおける制御の一例について示すフローチャートである。図16に示すように、制御部40は、駆動サイクルCを開始する（ステップS21）と、まず混合駆動を実行する（ステップS22）。これにより、混合期間PH1が開始される。そして、制御部40は、駆動サイクルCを開始してから第1所定時間が経過したか否かを判断する（ステップS23）。

40

## 【0231】

ここで、第1所定時間とは、駆動サイクルCが開始された時点から第1所定時刻までの間の時間である。本実施形態において第1所定時刻は、等間隔に複数設定される。そのため、本実施形態において第1所定時間は、複数設けられる。

## 【0232】

具体的には、例えば、本実施形態において所定時刻は、30s（秒）ごとに設定される。すなわち、第1所定時刻は、例えば、駆動サイクルCが開始された時点をもとに、30s（秒）、60s（秒）、90s（秒）となる時刻である。すなわち、第1所定時間は、例えば、30s（秒）、60s（秒）、90s（秒）である。駆動サイクルCを開始

50

した直後においては、第 1 所定時間は、初期値 ( 3 0 s ) に設定されている。

【 0 2 3 3 】

駆動サイクル C を開始してから第 1 所定時間が経過していない場合 ( ステップ S 2 3 : N O )、制御部 4 0 は、混合駆動を続行する。一方、駆動サイクル C を開始してから第 1 所定時間が経過した場合 ( ステップ S 2 3 : Y E S )、制御部 4 0 は、駆動サイクル C を開始してから第 2 所定時間が経過したか否かを判断する ( ステップ S 2 4 )。

【 0 2 3 4 】

ここで、第 2 所定時間とは、駆動サイクル C が開始された時点から第 2 所定時刻までの間の時間である。第 2 所定時刻は、例えば、駆動サイクル C が開始された時点をもととして、9 0 s ( 秒 ) となる時刻である。すなわち、第 2 所定時間は、例えば、9 0 s ( 秒 ) である。第 2 所定時間は、第 1 所定時間の初期値 ( 例えば、3 0 s ) よりも大きい。

10

【 0 2 3 5 】

駆動サイクル C を開始してから第 2 所定時間が経過していない場合 ( ステップ S 2 4 : N O )、制御部 4 0 は、片寄駆動を実行する ( ステップ S 2 5 )。これにより、第 5 期間 P 5 が開始される。制御部 4 0 は、第 5 期間 P 5 が終了した後、第 1 所定時間を次の値 ( 6 0 s ) に設定し ( ステップ S 2 6 )、再び混合駆動を実行する ( ステップ S 2 2 )。

【 0 2 3 6 】

一方、駆動サイクル C を開始してから第 2 所定時間が経過した場合 ( ステップ S 2 4 : Y E S )、制御部 4 0 は、低周波交流駆動を実行する ( ステップ S 2 7 )。これにより、第 4 期間 P 4 が開始される。制御部 4 0 は、第 4 期間 P 4 が終了した後、駆動サイクル C を終了し ( ステップ S 2 8 )、次の駆動サイクル C を開始する ( ステップ S 2 1 )。

20

【 0 2 3 7 】

以上のように、例えば、駆動サイクル C が開始してから初めの第 1 所定時間 ( 3 0 s ) が経過した場合、および駆動サイクル C が開始してから 2 番目の第 1 所定時間 ( 6 0 s ) が経過した場合には、片寄駆動が実行され、第 5 期間 P 5 が設けられる。

【 0 2 3 8 】

一方、駆動サイクル C が開始してから 3 番目の第 1 所定時間 ( 9 0 s ) が経過した場合には、第 2 所定時間 ( 9 0 s ) も経過しているため、低周波交流駆動が実行され、第 4 期間 P 4 が設けられる。

【 0 2 3 9 】

30

このように、第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 とは、一定のパターンに沿って周期的に設けられる。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、第 1 所定間隔、上記例では 3 0 s ( 秒 ) ごとに、第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 とのうちのいずれか一方が設けられるように、かつ、第 2 所定間隔 ( 所定間隔 )、上記例では 9 0 s ( 秒 ) ごとに、第 4 期間 P 4 が設けられるように放電灯駆動部 2 3 0 を制御する。第 2 所定間隔は、第 1 所定間隔よりも大きい。

【 0 2 4 0 】

上記例では、第 5 期間 P 5 が 3 0 s ( 秒 ) ごとに 2 つ設けられた後に、第 4 期間 P 4 が設けられる。すなわち、第 4 期間 P 4 が設けられてから次の第 4 期間 P 4 が設けられるまでの間に、2 つの第 5 期間 P 5 が設けられる。第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性、および第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は、第 5 期間 P 5 が設けられるごとに反転する。そのため、時間的に隣り合う第 4 期間 P 4 に挟まれて設けられる 2 つの第 5 期間 P 5 においては、放電灯 9 0 に供給される駆動電流 I の極性が互いに逆となる。

40

【 0 2 4 1 】

すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、第 4 期間 P 4 が設けられる第 2 所定間隔において、第 1 極性の直流電流が放電灯 9 0 に供給される第 3 直流期間 P 5 1、および第 2 極性の直流電流が放電灯 9 0 に供給される第 4 直流期間 P 5 2 を交互に含む第 5 期間 P 5 と、第 2 極性の直流電流が放電灯 9 0 に供給される第 3 直流期間 P 5 1、および第 1 極性の直流電流が放電灯 9 0 に供給される第 4 直流期間 P 5 2 を交互に含む第 5 期間 P 5 と

50

、の２つの第５期間  $P_5$  が設けられるように放電灯駆動部 230 を制御する。言い換えると、時間的に隣り合う第４期間  $P_4$  に挟まれる期間において、これら２つの第５期間  $P_5$  が設けられる。

【0242】

また、第４期間  $P_4$  が設けられる第２所定間隔においては、混合期間  $P_{H1}$  が設けられる。混合期間  $P_{H1}$  においては、第１期間  $P_1$  と第２期間  $P_2$  とが交互に設けられ、第２期間  $P_2$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性は、第２期間  $P_2$  が設けられるごとに反転する。そのため、第２所定間隔においては、極性が互いに反転した第２期間  $P_2$  が設けられる。すなわち、本実施形態において制御部 40 は、第２所定間隔において、第１極性の直流電流が放電灯 90 に供給される第１直流期間  $P_{21}$ 、および第２極性の直流電流が放電灯 90 に供給される第２直流期間  $P_{22}$  を交互に含む第２期間  $P_2$  と、第２極性の直流電流が放電灯 90 に供給される第１直流期間  $P_{21}$ 、および第１極性の直流電流が放電灯 90 に供給される第２直流期間  $P_{22}$  を交互に含む第２期間  $P_2$  と、が設けられるように放電灯駆動部 230 を制御する。

10

【0243】

本実施形態によれば、混合期間  $P_{H1}$  に加えて、第４期間  $P_4$  が設けられる。第４期間  $P_4$  においては、第１期間  $P_1$  の交流電流の第１周波数  $f_1$  よりも小さい第２周波数  $f_2$  を有する交流電流が放電灯 90 に供給される。そのため、第４期間  $P_4$  において第１電極 92 に加えられる熱負荷は、第１期間  $P_1$  において第１電極 92 に加えられる熱負荷よりも大きい。そのため、第４期間  $P_4$  を周期的に設けることで、第１電極 92 に加えられる熱負荷を、混合期間  $P_{H1}$  のみの場合に比べて、より大きく変動させることができる。これにより、本実施形態によれば、突起 552 p の形状をより維持しやすく、放電灯 90 の寿命をより向上できる。

20

【0244】

また、本実施形態によれば、第４期間  $P_4$  は、時間的に隣り合う混合期間  $P_{H1}$  の間に設けられる。そのため、第１電極 92 に加えられる熱負荷が比較的大きい第４期間  $P_4$  を適切に設けやすい。したがって、本実施形態によれば、突起 552 p の形状をより維持しやすく、放電灯 90 の寿命をより向上できる。

【0245】

また、本実施形態によれば、第４期間  $P_4$  は、第１期間  $P_1$  の直後に設けられる。第１期間  $P_1$  および第４期間  $P_4$  においては、放電灯 90 に交流電流が供給される。そのため、放電灯 90 に交流電流が供給される期間が連続し、第１期間  $P_1$  から第４期間  $P_4$  に移行変わる際に、周波数が第１周波数  $f_1$  から、第１周波数  $f_1$  よりも小さい第２周波数  $f_2$  となる。これにより、放電灯 90 に直流電流が供給される第２期間  $P_2$  の直後に第４期間  $P_4$  が設けられる場合に比べて、第１電極 92 に加えられる熱負荷の変動を緩やかにしやすく、第４期間  $P_4$  において第１電極 92 の突起 552 p の形状を整えやすい。

30

【0246】

また、本実施形態によれば、第４期間  $P_4$  は、設けられるごとに開始極性が反転する。そのため、第２期間  $P_2$  において放電灯 90 に供給される直流電流の極性を反転させる場合においても、第４期間  $P_4$  の直前の期間から第４期間  $P_4$  に移行変わる際、および第４期間  $P_4$  から直後の期間に移り変わる際に、極性を反転させることができる。すなわち、期間が移行変わる前後で、放電灯 90 に供給される駆動電流  $I$  の極性を逆にすることができる。したがって、本実施形態によれば、第１電極 92 の突起 552 p および第２電極 93 の突起 562 p をよりバランスよく成長させることができ、突起 552 p の形状および突起 562 p の形状をより維持しやすい。

40

【0247】

また、本実施形態によれば、第４期間  $P_4$  が設けられる第２所定間隔において、放電灯 90 に供給される直流電流の極性が互いに反転した第２期間  $P_2$  が設けられる。そのため、第２所定間隔において第１電極 92 の突起 552 p および第２電極 93 の突起 562 p をバランスよく溶融させることができ、第４期間  $P_4$  によって突起 552 p , 562 p の

50

両方の形状を好適に整えることができる。

【0248】

また、本実施形態によれば、第4期間P4の長さ $t_4$ は、第4期間P4において放電灯90に供給される第2周波数 $f_2$ を有する交流電流の6周期の長さ以上、30周期の長さ以下である。そのため、第4期間P4において第1電極92の突起552pの形状をより好適に整えることができる。

【0249】

また、本実施形態によれば、混合期間PH1と第4期間P4とに加えて、第5期間P5が設けられる。第5期間P5においては、第3直流期間P51と第4直流期間P52とが設けられる。第3直流期間P51の長さ $t_{51}$ は、第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ よりも大きく、第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ は、0.5ms(ミリ秒)よりも小さい。そのため、第5期間P5においては、第3直流期間P51において陽極となる側の電極を加熱することができる。なお、以下の説明においては、加熱される側の電極が、例えば、第1電極92であるものとして説明する。

10

【0250】

また、第3直流期間P51の合計長さは、第2期間P2における第1直流期間P21の合計長さよりも大きく、第4期間P4における交流電流の半周期の長さよりも大きい。そのため、第5期間P5において加熱される第1電極92に加えられる熱負荷は、第2期間P2において加熱される第1電極92に加えられる熱負荷よりも大きい。

【0251】

20

そのため、第4期間P4に加えて第5期間P5を周期的に設けることで、第1電極92に加えられる熱負荷を、混合期間PH1のみの場合に比べて、より大きく変動させることができる。これにより、本実施形態によれば、突起552pの形状をより維持しやすく、放電灯90の寿命をより向上できる。

【0252】

また、第5期間P5には、第3直流期間P51において放電灯90に供給される直流電流と反対極性の直流電流が放電灯90に供給される第4直流期間P52が設けられるため、第5期間P5において加熱する第1電極92と反対側の第2電極93の温度が低下し過ぎることを抑制できる。例えば、第2電極93の温度が低下し過ぎると、第2電極93を加熱して溶融させる際に、第2電極93の温度を高くしにくく、第2電極93の突起562pを溶融させにくい虞がある。

30

【0253】

また、第4直流期間P52の長さ $t_{52}$ は、0.5ms(ミリ秒)よりも小さいため、第4直流期間P52において第1電極92の温度が低下しにくい。そのため、第3直流期間P51によって第1電極92を好適に加熱しやすい。

【0254】

また、第4期間P4と第5期間P5とでは、第5期間P5の方が、第1電極92に加えられる熱負荷が大きくなりやすい。そのため、例えば、第5期間P5が周期的に設けられる期間が長く続くと、第1電極92の突起552pが過剰に溶融される虞がある。

【0255】

40

これに対して、本実施形態によれば、第5期間P5に加えて、第5期間P5よりも第1電極92に加えられる熱負荷が小さくなりやすい第4期間P4を周期的に設けることで、第5期間P5によって突起552pが過剰に溶融されることを抑制でき、突起552pの形状を整えることができる。

【0256】

また、本実施形態によれば、第5期間P5は、時間的に隣り合う混合期間PH1の間に設けられる。そのため、第1電極92に加えられる熱負荷が比較的大きい第5期間P5を適切に設けやすい。したがって、本実施形態によれば、突起552pの形状をより維持しやすく、放電灯90の寿命をより向上できる。

【0257】

50



また、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とでは、第 1 期間 P 1 の方が、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が小さくなりやすい。本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 は、第 1 期間 P 1 の直後に設けられる。そのため、混合期間 P H 1 から第 5 期間 P 5 に移り変わることに  
よる熱負荷の変動をより大きくしやすい。したがって、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p をより  
成長させやすい。

【 0 2 5 8 】

また、本実施形態によれば、第 1 所定間隔ごとに、第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 との  
うちのいずれか一方が設けられる。そのため、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p に加えられる熱  
負荷を周期的に大きくすることができ、突起 5 5 2 p の形状を好適に維持しやすい。

【 0 2 5 9 】

10

また、本実施形態によれば、第 1 所定間隔よりも大きい第 2 所定間隔ごとに、第 4 期間  
P 4 が設けられる。そのため、第 4 期間 P 4 が設けられる頻度を、第 5 期間 P 5 が設けら  
れる頻度よりも低くしやすい。これにより、第 5 期間 P 5 が数回設けられた後に、第 4 期  
間 P 4 を設けることができる。したがって、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p を好適に溶融さ  
せつつ、突起 5 5 2 p の形状を整えることができる。

【 0 2 6 0 】

また、本実施形態によれば、第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流  
電流の極性および第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性は  
、第 5 期間 P 5 が設けられるごとに反転する。そのため、第 1 電極 9 2 と第 2 電極 9 3 と  
を交互にバランスよく加熱しやすい。したがって、本実施形態によれば、第 1 電極 9 2 の  
突起 5 5 2 p および第 2 電極 9 3 の突起 5 6 2 p をバランスよく成長させることができ、  
突起 5 5 2 p の形状および突起 5 6 2 p の形状を共に維持しやすい。

20

【 0 2 6 1 】

また、例えば、放電灯 9 0 が劣化すると、第 1 電極 9 2 の突起 5 5 2 p が溶融しにくく  
なり、突起 5 5 2 p の形状を維持しにくくなる。そのため、第 1 電極 9 2 に加えられる熱  
負荷が比較的大きい第 5 期間 P 5 によっても、突起 5 5 2 p の形状を十分に維持しにくく  
なる虞がある。

【 0 2 6 2 】

また、例えば、放電灯 9 0 に供給される駆動電力 W d が比較的大きい場合には、第 1 電  
極 9 2 に加えられる熱負荷が大きくなりやすい。そのため、第 5 期間 P 5 が設けられるこ  
とで、第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷が過剰に大きくなる虞がある。

30

【 0 2 6 3 】

これらの問題に対して、本実施形態によれば、制御部 4 0 は、ランプ電圧 V 1 a および  
駆動電力 W d の少なくとも一方に基づいて、第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定する。  
そのため、上記問題の少なくとも一方を解決できる。本実施形態によれば、第 3 直流期間  
P 5 1 の合計長さは、ランプ電圧 V 1 a および駆動電力 W d の両方に基づいて設定される  
ため、上記問題をいずれも解決することができる。

【 0 2 6 4 】

また、例えば、第 5 期間 P 5 において、第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t 5 1 と第 4 直流期  
間 P 5 2 の長さ t 5 2 との差（比）が小さいと、第 3 直流期間 P 5 1 における第 1 電極 9  
2 の温度の上昇幅と、第 4 直流期間 P 5 2 における第 1 電極 9 2 の温度の下降幅との差が  
小さい。そのため、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 の温度を上昇させにくい。これに  
より、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷を十分に大きくできず、突  
起 5 5 2 p を十分に溶融できない虞がある。

40

【 0 2 6 5 】

これに対して、本実施形態によれば、第 3 直流期間 P 5 1 の長さ t 5 1 は、第 4 直流期  
間 P 5 2 の長さ t 5 2 の 1 0 倍以上である。そのため、第 3 直流期間 P 5 1 における第 1  
電極 9 2 の温度の上昇幅を、第 4 直流期間 P 5 2 における第 1 電極 9 2 の温度の下降幅に  
対して十分に大きくできる。これにより、本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 において第  
1 電極 9 2 に好適に熱負荷を加えることができ、突起 5 5 2 p の形状をより維持しやすい

50

。

## 【 0 2 6 6 】

また、本実施形態によれば、第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の長さ  $t_{51}$  の合計は、 $10\text{ ms}$ （ミリ秒）以上、 $1.0\text{ s}$ （秒）以下である。そのため、第 5 期間 P 5 において第 1 電極 9 2 に加えられる熱負荷を十分に大きくしやすく、突起 5 5 2 p の形状をより維持しやすい。

## 【 0 2 6 7 】

なお、本実施形態においては、以下の構成および方法を採用することもできる。

## 【 0 2 6 8 】

本実施形態において、第 1 期間 P 1 と、第 2 期間 P 2 と、第 4 期間 P 4 と、第 5 期間 P 5 とは、混合期間 P H 1 が設けられる範囲内において、どのように設けられてもよい。例えば、上記の説明においては、第 1 期間 P 1 と第 2 期間 P 2 とは、混合期間 P H 1 において交互に連続して設けられる場合のみを説明したが、これに限られず、それぞれ離れて設けられてもよい。また、例えば、第 2 期間 P 2 と第 4 期間 P 4、第 2 期間 P 2 と第 5 期間 P 5、および第 4 期間 P 4 と第 5 期間 P 5 が、それぞれ連続して設けられてもよい。

10

## 【 0 2 6 9 】

また、本実施形態において、時間的に隣り合う混合期間 P H 1 の間に設けられる第 4 期間 P 4 および第 5 期間 P 5 は、第 2 期間 P 2 の直後に設けられてもよい。

## 【 0 2 7 0 】

また、上記説明においては、ある期間の終了極性と、ある期間の直後に設けられる期間の開始極性とは、互いに異なる構成としたが、これに限られない。本実施形態においては、ある期間の終了極性と、ある期間の直後に設けられる期間の開始極性とが同じであってもよい。

20

## 【 0 2 7 1 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  のみに基づいて第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定してもよいし、駆動電力  $W_d$  のみに基づいて第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さを設定してもよい。また、本実施形態において第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さは、変化しなくてもよい。

## 【 0 2 7 2 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、第 5 期間 P 5 における第 3 直流期間 P 5 1 の合計長さ、および第 1 直流期間 P 2 1 の合計長さと同様に、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の少なくとも一方に基づいて第 4 期間 P 4 の長さ  $t_4$  を設定してもよい。すなわち、本実施形態において制御部 4 0 は、ランプ電圧  $V_{1a}$  および駆動電力  $W_d$  の少なくとも一方に基づいて、第 4 期間 P 4 の長さ  $t_4$  を変化させてもよい。

30

## 【 0 2 7 3 】

また、本実施形態においては、混合期間 P H 1 の代わりに、第 2 実施形態の混合期間 P H 2 が設けられてもよい。

## 【 0 2 7 4 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、第 4 期間 P 4 の開始極性を、第 4 期間 P 4 が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、開始極性が同じ極性の第 2 周波数  $f_2$  を有する交流電流が放電灯 9 0 に供給される第 4 期間 P 4 が、2 回以上連続して設けられてもよい。

40

## 【 0 2 7 5 】

また、本実施形態において制御部 4 0 は、第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性を、第 5 期間 P 5 が設けられるごとに反転しなくてもよい。すなわち、本実施形態においては、2 回以上連続して、第 3 直流期間 P 5 1 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性および第 4 直流期間 P 5 2 において放電灯 9 0 に供給される直流電流の極性がそれぞれ同じである第 5 期間 P 5 が設けられてもよい。

50

## 【 0 2 7 6 】

なお、上記の各実施形態において、透過型のプロジェクターに本発明を適用した場合の例について説明したが、本発明は、反射型のプロジェクターにも適用することも可能である。ここで、「透過型」とは、液晶パネル等を含む液晶ライトバルブが光を透過するタイプであることを意味する。「反射型」とは、液晶ライトバルブが光を反射するタイプであることを意味する。なお、光変調装置は、液晶パネル等に限られず、例えばマイクロミラーを用いた光変調装置であってもよい。

## 【 0 2 7 7 】

また、上記の各実施形態において、3つの液晶パネル560R, 560G, 560B(液晶ライトバルブ330R, 330G, 330B)を用いたプロジェクター500の例を挙げたが、本発明は、1つの液晶パネルのみを用いたプロジェクター、4つ以上の液晶パネルを用いたプロジェクターにも適用可能である。

10

## 【 0 2 7 8 】

また、上記説明した第1実施形態から第3実施形態の各構成は、相互に矛盾しない範囲内において、適宜組み合わせることができる。

## 【 符号の説明 】

## 【 0 2 7 9 】

10...放電灯点灯装置(放電灯駆動装置)、40...制御部、90...放電灯、92...第1電極(電極)、93...第2電極(電極)、200...光源装置、230...放電灯駆動部、350...投射光学系、500...プロジェクター、502, 512R, 512G, 512B...画像信号、I...駆動電流、T...時間、330R, 330G, 330B...液晶ライトバルブ(光変調装置)、f1, f11, f12, f13, f14...第1周波数、f2...第2周波数、P1...第1期間、P11...第1交流期間(交流期間)、P12...第2交流期間(交流期間)、P13...第3交流期間(交流期間)、P14...第4交流期間(交流期間)、P2, P2a...第2期間、P3...第3期間、P4...第4期間、P21, P21a...第1直流期間、P22, P22a...第2直流期間、PH1, PH2...混合期間、V1a...ランプ電圧(電極間電圧)、Wd...駆動電力

20

【図 1】

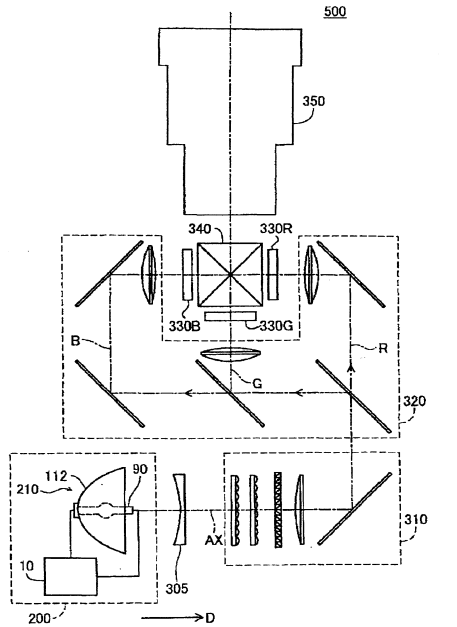


図 1

【図 2】

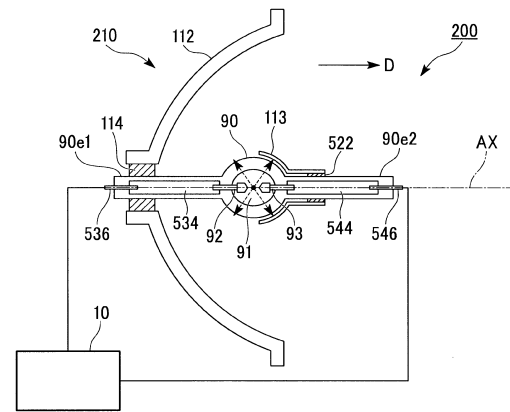


図 2

【図 3】

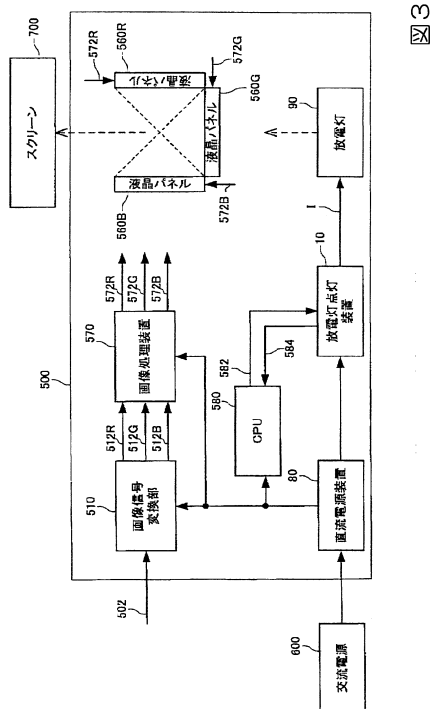


図 3

【図 4】

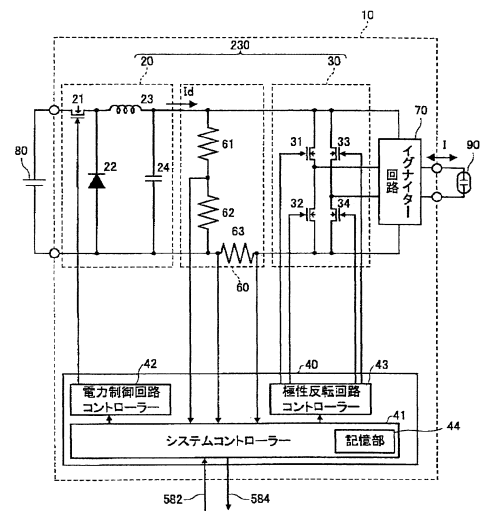


図 4

【図 5】

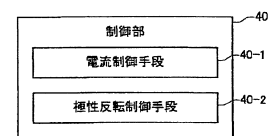
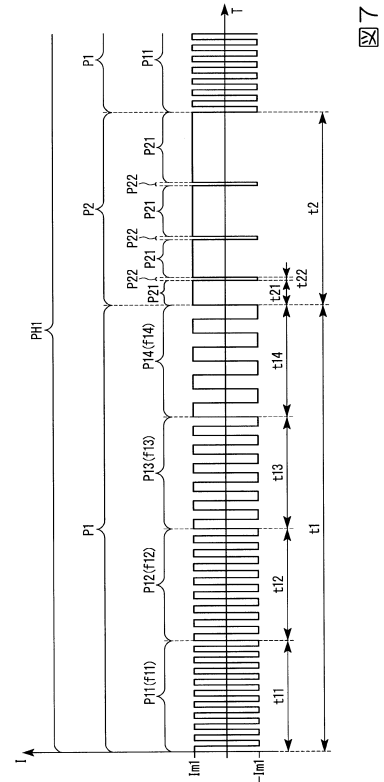


図 5

【圖 7】



【 図 9 】

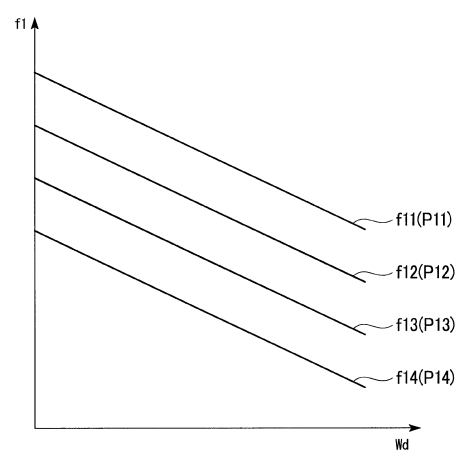
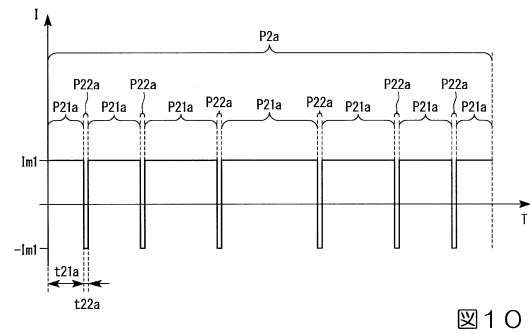
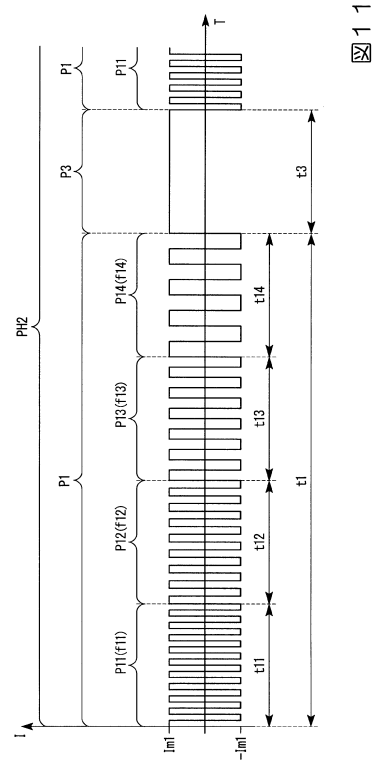


图 9

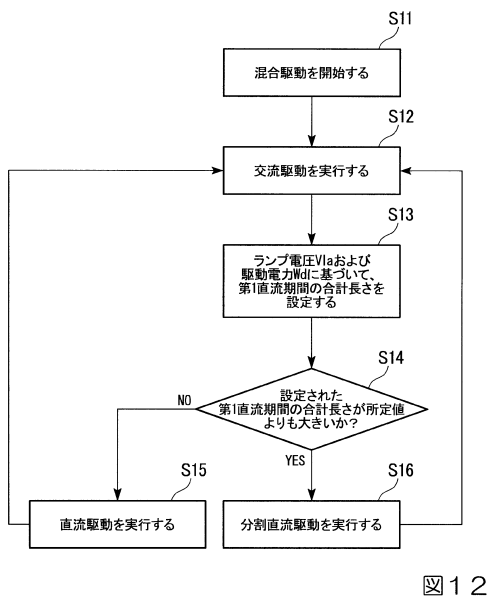
【図 10】



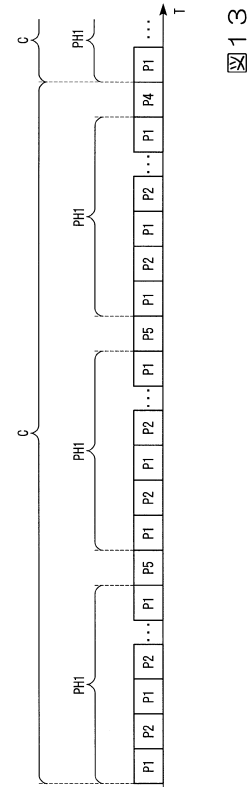
【図 11】



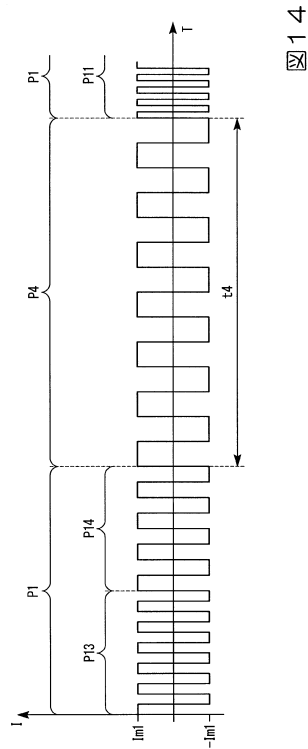
【図 12】



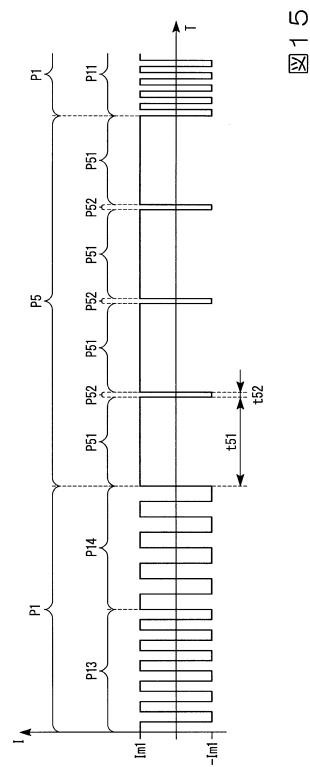
【図 13】



【図14】



【図15】



【図16】

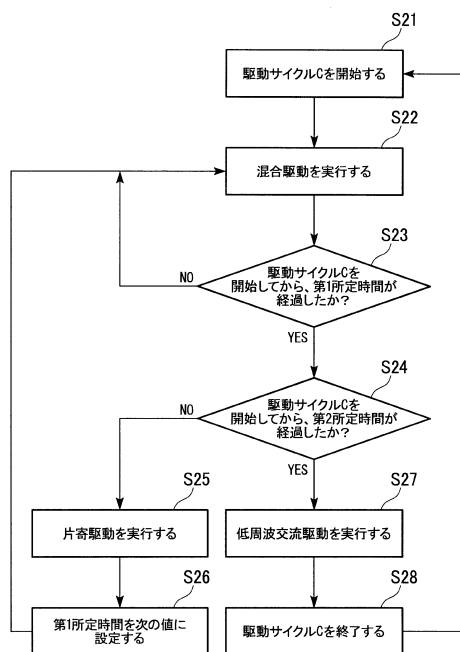


図16

---

フロントページの続き

- (72)発明者 鬼頭 聡  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 鈴木 淳一  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 竹澤 武士  
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 安井 寿儀

- (56)参考文献 特開2014-212120(JP,A)  
特開2012-109159(JP,A)  
特開2013-175491(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H05B 41/24