

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年6月8日(08.06.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/094459 A1

- (51) 国際特許分類:
H01S 3/225 (2006.01) H01S 3/134 (2006.01)
H01S 3/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/083147
- (22) 国際出願日: 2016年11月8日(08.11.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
PCT/JP2015/083708 2015年12月1日(01.12.2015) JP
- (71) 出願人: ギガフォトン株式会社(GIGAPHOTON INC.) [JP/JP]; 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 Tochigi (JP).
- (72) 発明者: 藤巻 洋介(FUJIMAKI Yousuke); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 対馬 弘朗(TSUSHIMA Hiroaki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 池田 宏幸(IKEDA Hiroyuki); 〒3238558 栃木県小山市大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP). 若林 理(WAKABAYASHI Osamu); 〒3238558 栃木県小山市

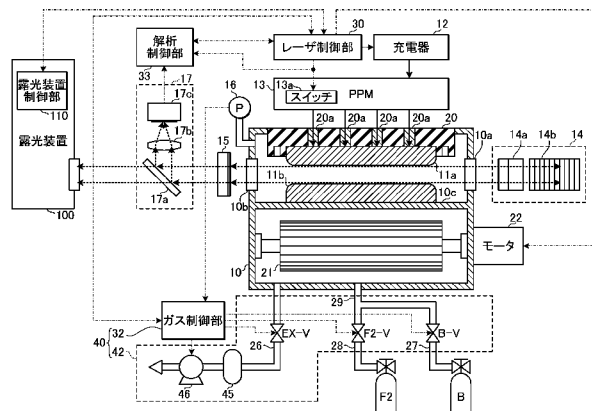
大字横倉新田400番地 ギガフォトン株式会社内 Tochigi (JP).

- (74) 代理人: 保坂 延寿(HOSAKA Nobuhisa); 〒1010025 東京都千代田区神田佐久間町3-2-2 神田SKビル4階 新井・橋本・保坂国際特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

[続葉有]

(54) Title: EXCIMER LASER DEVICE

(54) 発明の名称: エキシマレーザ装置



12 Charger
13a Switch
22 Motor
30 Laser control unit
32 Gas control unit
33 Analysis control unit
100 Exposure device
110 Exposure device control unit

(57) Abstract: An excimer laser device is provided with: an optical resonator; a chamber positioned in the optical resonator, the chamber including a pair of discharge electrodes and accommodating a laser gas; a power supply for receiving a trigger signal and applying a pulsed voltage to the pair of discharge electrodes on the basis of the trigger signal; an energy monitor for measuring the pulse energy of pulsed laser light outputted from the optical resonator; a halogen gas partial pressure regulation unit configured so as to be capable of exhausting some of the laser gas accommodated in the chamber and supplying the laser gas into the chamber; and a control unit for acquiring the result of the pulse energy measurements performed by the energy monitor, detecting an energy dip on the basis of the pulse energy measurement result, and controlling the halogen gas partial pressure regulation unit on the basis of the result of detecting an energy dip, whereby the halogen gas partial pressure in the chamber is adjusted.

(57) 要約: エキシマレーザ装置は、光共振器と、一対の放電電極を含み、光共振器の間に配置され、レーザガスを収容するチャンバと、トリガ信号を受信して、トリガ信号に基づいて一対の放電電極にパルス状の電圧を印加する電源と、光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測するエネルギーモニタと、チャンバ内に収容されたレーザガスの一部の排気と、チャンバ内へのレーザガスの供給と、を実行可能に構成

されたハロゲンガス分圧調節部と、エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、パルスエネルギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出し、エネルギーディップの検出結果に基づいてハロゲンガス分圧調節部を制御することによりチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する制御部と、を備えてもよい。

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：エキシマレーザ装置

技術分野

[0001] 本開示は、エキシマレーザ装置に関する。

背景技術

[0002] 近年、半導体露光装置（以下、「露光装置」という）においては、半導体集積回路の微細化および高集積化につれて、解像力の向上が要請されている。このため、露光用光源から放出される光の短波長化が進められている。一般的に、露光用光源には、従来の水銀ランプに代わってガスレーザ装置が用いられる。たとえば、露光用のガスレーザ装置としては、波長248nmの紫外線のレーザ光を出力するKrFエキシマレーザ装置、ならびに波長193nmの紫外線のレーザ光を出力するArFエキシマレーザ装置が用いられる。

[0003] 次世代の露光技術としては、露光装置側の露光用レンズとウエハとの間が液体で満たされる液浸露光が実用化されている。この液浸露光では、露光用レンズとウエハとの間の屈折率が変化するため、露光用光源の見かけの波長が短波長化する。ArFエキシマレーザ装置を露光用光源として液浸露光が行われた場合、ウエハには水中における波長134nmの紫外光が照射される。この技術をArF液浸露光（又はArF液浸リソグラフィー）という。

[0004] KrFエキシマレーザ装置およびArFエキシマレーザ装置の自然発振幅は、約350～400pmと広い。そのため、KrF及びArFレーザ光のような紫外線を透過する材料で投影レンズを構成すると、色収差が発生してしまう場合がある。その結果、解像力が低下し得る。そこで、ガスレーザ装置から出力されるレーザ光のスペクトル線幅を、色収差が無視できる程度となるまで狭帯域化する必要がある。そのため、ガスレーザ装置のレーザ共振器内には、スペクトル線幅を狭帯域化するために、狭帯域化素子（エタロン、グレーティング等）を有する狭帯域化モジュール（Line Narrow

w Module : LNM) が設けられる場合がある。以下では、スペクトル線幅が狭帯域化されるレーザ装置を狭帯域化レーザ装置という。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第2015/068205号

特許文献2：特開2000-306813号公報

特許文献3：米国特許第6330261号

概要

[0006] 本開示の1つの観点に係るエキシマレーザ装置は、光共振器と、一対の放電電極を含み、光共振器の間に配置され、レーザガスを収容するチャンバと、トリガ信号を受信して、トリガ信号に基づいて一対の放電電極にパルス状の電圧を印加する電源と、光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測するエネルギーモニタと、チャンバ内に収容されたレーザガスの一部の排気と、チャンバ内へのレーザガスの供給と、を実行可能に構成されたハロゲンガス分圧調節部と、エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、パルスエネルギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出し、エネルギーディップの検出結果に基づいてハロゲンガス分圧調節部を制御することによりチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する制御部と、を備えてもよい。

[0007] 本開示の他の1つの観点に係るエキシマレーザ装置は、光共振器と、一対の放電電極を含み、光共振器の間に配置され、レーザガスを収容するチャンバと、チャンバ内においてレーザガスを循環させるファンと、トリガ信号を受信して、トリガ信号に基づいて一対の放電電極にパルス状の電圧を印加する電源と、光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測するエネルギーモニタと、ファンの回転数を第1の回転数に設定して、光共振器から出力されたパルスレーザ光を外部に出力させる第1の動作モードと、ファンの回転数を第1の回転数より小さい第2の回転数に設定して、エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、パルスエネル

ギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出する第2の動作モードと、を実行するように構成された制御部と、を備えてもよい。

本開示の他の1つの観点に係るエキシマレーザ装置は、第1の光共振器と、第1の一对の放電電極を含み、第1の光共振器の間に配置され、レーザガスを收容する第1のチャンバと、第1のトリガ信号を受信して、第1のトリガ信号に基づいて第1の一对の放電電極にパルス状の電圧を印加する第1の電源と、第1の光共振器から出力された第1のパルスレーザ光の第1のパルスエネルギーを計測する第1のエネルギーモニタと、第1のパルスレーザ光が入射する第2の光共振器と、第2の一对の放電電極を含み、第2の光共振器の間に配置され、レーザガスを收容する第2のチャンバと、第2のトリガ信号を受信して、第2のトリガ信号に基づいて第2の一对の放電電極にパルス状の電圧を印加する第2の電源と、第2の光共振器から出力された第2のパルスレーザ光の第2のパルスエネルギーを計測する第2のエネルギーモニタと、第1のチャンバ内に收容されたレーザガスの一部の排気と、第1のチャンバ内へのレーザガスの供給と、第2のチャンバ内に收容されたレーザガスの一部の排気と、第2のチャンバ内へのレーザガスの供給と、を実行可能に構成されたハロゲンガス分圧調節部と、第1のエネルギーモニタによる第1のパルスエネルギーの計測結果に基づいて第1のチャンバのエネルギーディップを検出し、第1のチャンバのエネルギーディップの検出結果に基づいてハロゲンガス分圧調節部を制御することにより第1のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節し、第2のエネルギーモニタによる第2のパルスエネルギーの計測結果に基づいて第2のチャンバのエネルギーディップを検出し、第2のチャンバのエネルギーディップの検出結果に基づいてハロゲンガス分圧調節部を制御することにより第2のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する制御部と、を備えてもよい。

図面の簡単な説明

[0008] 本開示のいくつかの実施形態を、単なる例として、添付の図面を参照して以下に説明する。

[図1]図1は、比較例に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図2]図2は、比較例に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるエネルギー制御を示すフローチャートである。

[図3]図3は、比較例に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。

[図4]図4は、図3に示される全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図5]図5は、図3に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図6]図6は、比較例に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるショット数 N_s の計測の処理を示すフローチャートである。

[図7]図7は、図3に示される部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図8]図8A及び図8Bは、エネルギーディップの発生について推定されるメカニズムを説明する図である。

[図9]図9は、本開示の第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図10]図10は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理を示すフローチャートである。

[図11]図11は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第1の例を示すフローチャートである。

[図12]図12は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第2の例を示すフローチャートである。

[図13]図13は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第3の例を示すフローチャートである。

[図14]図14は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第4の例を示すフローチャートである。

[図15]図15は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部3

2によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。

[図16]図16は、図15に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図17]図17は、図15に示されるエネルギーディップ改善制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図18]図18は、図17に示されるハロゲン分圧降下制御の第1の例を示すフローチャートである。

[図19]図19は、図17に示されるハロゲン分圧降下制御の第2の例を示すフローチャートである。

[図20]図20は、本開示の第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図21]図21は、第2の実施形態におけるエネルギーディップ改善制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図22]図22は、第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理を示すフローチャートである。

[図23]図23は、エネルギーディップ指数EDの計算式を説明する図である。

[図24]図24は、図21に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理を示すフローチャートである。

[図25]図25は、クロスフローファン21の回転数Rc f fとエネルギーディップ指数EDとの関係を示す。

[図26]図26は、本開示の第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。

[図27]図27は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理の第1の例を示すフローチャートである。

[図28]図28は、図27に示されるMOのエネルギーディップ検出回数Nm o dをカウントする処理の例を示すフローチャートである。

[図29]図29は、図27に示されるPOのエネルギーディップ検出回数N p

o dをカウントする処理の例を示すフローチャートである。

[図30]図30は、図27に示されるエネルギーディップフラグを設定する処理の例を示すフローチャートである。

[図31]図31は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理の第2の例を示すフローチャートである。

[図32]図32は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるMOのエネルギー制御を示すフローチャートである。

[図33]図33は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるPOのエネルギー制御を示すフローチャートである。

[図34]図34は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるMOのレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。

[図35]図35は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるPOのレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。

[図36]図36は、図34に示されるMOの全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図37]図37は、図35に示されるPOの全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図38]図38は、図34に示されるMOのガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図39]図39は、図35に示されるPOのガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図40]図40は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるMOのショット数 N_{mos} の計測の処理を示すフローチャートである。

[図41]図41は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるPOのショット数 N_{pos} の計測の処理を示すフローチャートである。

[図42]図42は、図34に示されるMOの部分ガス交換の処理の詳細を示す

フローチャートである。

[図43]図43は、図35に示されるPOの部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。

[図44]図44は、図34に示されるMOのエネルギーディップ改善制御の処理の第1の例を示すフローチャートである。

[図45]図45は、図35に示されるPOのエネルギーディップ改善制御の処理の第1の例を示すフローチャートである。

[図46]図46は、図34に示されるMOのエネルギーディップ改善制御の処理の第2の例を示すフローチャートである。

[図47]図47は、図35に示されるPOのエネルギーディップ改善制御の処理の第2の例を示すフローチャートである。

[図48]図48は、図44及び図46に示されるハロゲン分圧降下制御の例を示すフローチャートである。

[図49]図49は、図45及び図47に示されるハロゲン分圧降下制御の例を示すフローチャートである。

[図50]図50は、図34に示されるMOのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例を示すフローチャートである。

[図51]図51は、図35に示されるPOのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例を示すフローチャートである。

[図52]図52は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置においてMOのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例が行われる場合に解析制御部33が行う処理を示すフローチャートである。

[図53]図53は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置においてPOのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例が行われる場合に解析制御部33が行う処理を示すフローチャートである。

[図54]図54は、図50に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理を示すフローチャートである。

[図55]図55は、図51に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理

を示すフローチャートである。

[図56]図56は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

実施形態

[0009] 内容

1. 概要

2. 比較例に係るエキシマレーザ装置

2. 1 構成

2. 1. 1 レーザ発振システム

2. 1. 2 レーザガス制御システム

2. 2 動作

2. 2. 1 レーザ発振システムの動作

2. 2. 2 エネルギー制御

2. 2. 3 レーザガス制御

2. 2. 3. 1 全ガス交換

2. 2. 3. 2 ガス圧制御

2. 2. 3. 3 ショット数の計測

2. 2. 3. 4 部分ガス交換

2. 3 課題

3. エネルギーディップを検出してハロゲンガス分圧を調整するエキシマレーザ装置

3. 1 構成

3. 2 動作

3. 2. 1 エネルギーディップの検出

3. 2. 1. 1 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第1の例

3. 2. 1. 2 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第2の例

3. 2. 1. 3 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処

理の第3の例

3. 2. 1. 4 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第4の例

3. 2. 2 エネルギーディップ改善制御を含むレーザガス制御

3. 2. 2. 1 ガス圧制御

3. 2. 2. 2 エネルギーディップ改善制御

3. 2. 2. 2. 1 ハロゲン分圧降下制御の第1の例

3. 2. 2. 2. 2 ハロゲン分圧降下制御の第2の例

3. 3 その他

3. 4 作用

4. ファンの回転数を低くしてエネルギーディップを検出するエキシマレーザ装置

4. 1 構成

4. 2 動作

4. 2. 1 エネルギーディップ改善制御

4. 2. 1. 2 エネルギーディップ指数 E_D の計算

4. 2. 1. 3 エネルギーディップ指数 E_D の読み込み

4. 3 作用

5. レーザ発振器とレーザ増幅器とを含むエキシマレーザ装置

5. 1 構成

5. 1. 1 レーザ発振器

5. 1. 2 レーザ増幅器

5. 1. 3 配管

5. 2 動作

5. 2. 1 エネルギーディップを検出する処理の第1の例

5. 2. 1. 1 エネルギーディップ検出回数をカウントする処理の例

5. 2. 1. 2 エネルギーディップフラグを設定する処理の例

- 5. 2. 2 エネルギーディップを検出する処理の第2の例
- 5. 2. 3 エネルギー制御
- 5. 2. 4 エネルギーディップ改善制御を含むレーザガス制御
 - 5. 2. 4. 1 全ガス交換
 - 5. 2. 4. 2 ガス圧制御
 - 5. 2. 4. 3 ショット数の計測
 - 5. 2. 4. 4 部分ガス交換
 - 5. 2. 4. 5 エネルギーディップ改善制御の第1の例
 - 5. 2. 4. 6 エネルギーディップ改善制御の第2の例
 - 5. 2. 4. 7 ハロゲン分圧降下制御の例
 - 5. 2. 4. 8 エネルギーディップ改善制御の第3の例
 - 5. 2. 4. 8. 1 エネルギーディップ指数EDの計算
 - 5. 2. 4. 8. 2 エネルギーディップ指数EDの読み込み
- 5. 3 作用

6. 制御部の構成

[0010] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら詳しく説明する。
以下に説明される実施形態は、本開示の一例を示すものであって、本開示の内容を限定するものではない。また、各実施形態で説明される構成及び動作の全てが本開示の構成及び動作として必須であるとは限らない。なお、同一の構成要素には同一の参照符号を付して、重複する説明を省略する。

[0011] 1. 概要

本開示の実施形態は、エキシマレーザ装置に関するものであってもよい。エキシマレーザ装置は、光共振器と、この光共振器の間に配置されたチャンバとを含んでもよい。チャンバは一对の放電電極を含み、チャンバの内部にはレーザガスが収容されていてもよい。一对の放電電極にパルス電圧が印加されることにより、レーザガスが励起され、パルスレーザ光が出力されてもよい。

[0012] 本開示の実施形態において、エキシマレーザ装置は、エネルギーディップ

を検出して、この検出結果に基づいて、チャンバ内のハロゲンガス分圧を調整するように構成されてもよい。ハロゲンガス分圧の調整は、ハロゲンガス分圧の低減を含んでもよい。ハロゲンガス分圧を低減することにより、エネルギーディップの発生を抑制してもよい。

[0013] 本開示の実施形態において、エキシマレーザ装置は、安定したパルスレーザ光を露光装置に出力する第1の動作モードの他に、エネルギーディップを検出する第2の動作モードを実行するように構成されてもよい。第1の動作モードにおいては、クロスフローファンの回転数を高くし、第2の動作モードにおいては、クロスフローファンの回転数を低くしてもよい。クロスフローファンの回転数を低くすることにより、エネルギーディップの発生を短時間で検出し得る。

[0014] 2. 比較例に係るエキシマレーザ装置

2. 1 構成

図1は、比較例に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。

エキシマレーザ装置は、露光装置100と共に使用されてもよい。エキシマレーザ装置のチャンバ10から出力されたレーザ光は、露光装置100へ入射してもよい。露光装置100は、露光装置制御部110を含んでもよい。露光装置制御部110は、露光装置100を制御するように構成されてもよい。露光装置制御部110は、エキシマレーザ装置に含まれるレーザ制御部30に対して、目標パルスエネルギーの設定データを送信したり、発光トリガ信号を送信したりするように構成されてもよい。

[0015] 図1に示されるエキシマレーザ装置は、レーザ発振システムと、レーザ制御部30と、レーザガス制御システム40と、を含んでもよい。レーザ発振システムは、チャンバ10と、充電器12と、パルスパワーモジュール13と、狭帯域化モジュール14と、出力結合ミラー15と、チャンバ圧力センサ16と、エネルギーモニタ17と、クロスフローファン21と、モータ22と、を含んでもよい。

[0016] レーザ制御部30は、エキシマレーザ装置全体の制御を統括するように構

成されてもよい。レーザ制御部 30 は、エネルギーモニタ 17 から測定データを受信してもよい。

[0017] 2. 1. 1 レーザ発振システム

レーザ発振システムに含まれる上述のチャンバ 10 は、狭帯域化モジュール 14 と出力結合ミラー 15 とで構成されたレーザ共振器の光路に配置されてもよい。チャンバ 10 には、二つのウィンドウ 10a 及び 10b が設けられていてもよい。チャンバ 10 は、一对の放電電極 11a 及び 11b を収容していてもよい。チャンバ 10 は、レーザガスを収容してもよい。

[0018] チャンバ 10 には開口が形成され、この開口を電気絶縁部 20 が塞いでいてもよい。電極 11a は電気絶縁部 20 に支持され、電極 11b はチャンバ 10 の内部仕切板 10c に支持されていてもよい。電気絶縁部 20 には、導電部 20a が埋め込まれていてもよい。導電部 20a は、パルスパワーモジュール 13 から供給される高電圧を電極 11a に印加するものであってもよい。

[0019] 内部仕切板 10c は、チャンバ 10 の内部を完全に仕切るものではなくてもよい。内部仕切板 10c は、図 1 の紙面の奥行側と手前側とに、図示されない隙間を有していてもよい。

[0020] クロスフローファン 21 は、チャンバ 10 の内部に配置されてもよい。本開示において、クロスフローファン 21 のことを単にファンと称することがある。クロスフローファン 21 の回転軸は、チャンバ 10 の外部に配置されたモータ 22 に接続されていてもよい。モータ 22 は、レーザ制御部 30 の制御信号に従って、クロスフローファン 21 を回転させてもよい。モータ 22 がクロスフローファン 21 を回転させることにより、レーザガスがチャンバ 10 の内部で循環してもよい。

[0021] 充電器 12 は、パルスパワーモジュール 13 に供給するための電気エネルギーを保持してもよい。パルスパワーモジュール 13 は、スイッチ 13a を含んでいてもよい。パルスパワーモジュール 13 は、一对の放電電極 11a 及び 11b の間にパルス電圧を印加するように構成されてもよい。

狭帯域化モジュール１４は、プリズム１４ａ及びグレーティング１４ｂを含んでもよい。狭帯域化モジュール１４の代わりに、高反射ミラーが用いられてもよい。出力結合ミラー１５は、部分反射ミラーであってもよい。

[0022] チャンバ圧力センサ１６は、チャンバ１０内のレーザガスの圧力を測定するように構成されてもよい。チャンバ圧力センサ１６によって測定されるレーザガスの圧力は、レーザガスの全圧であってもよい。チャンバ圧力センサ１６は、圧力の測定データを、レーザガス制御システム４０に含まれるガス制御部３２に送信するように構成されてもよい。

[0023] エネルギーモニタ１７は、ビームスプリッタ１７ａと、集光レンズ１７ｂと、光センサ１７ｃと、を含んでもよい。ビームスプリッタ１７ａは、出力結合ミラー１５から出力されたレーザ光の光路に配置されてもよい。ビームスプリッタ１７ａは、出力結合ミラー１５から出力されたレーザ光の一部を露光装置１００に向けて高い透過率で透過させると共に、他の一部を反射させるように構成されてもよい。集光レンズ１７ｂ及び光センサ１７ｃは、ビームスプリッタ１７ａによって反射されたレーザ光の光路に配置されてもよい。集光レンズ１７ｂは、ビームスプリッタ１７ａによって反射されたレーザ光を光センサ１７ｃに集束させるように構成されてもよい。光センサ１７ｃは、集光レンズ１７ｂによって集束させられたレーザ光のパルスエネルギーに応じた電気信号を、測定データとしてレーザ制御部３０に送信するように構成されてもよい。

[0024] ２．１．２ レーザガス制御システム

エキシマレーザ装置に含まれる上述のレーザガス制御システム４０は、ガス供給装置と、排気装置と、ガス制御部３２と、を含んでもよい。ガス制御部３２は、レーザ制御部３０との間で信号を送受信してもよい。ガス制御部３２は、チャンバ圧力センサ１６から出力された測定データを受信するように構成されてもよい。

[0025] 上述のガス供給装置として、レーザガス制御システム４０は、配管２７と、配管２８と、配管２９と、バルブＢ－Ｖと、バルブＦ２－Ｖと、を含んで

もよい。

[0026] 配管 28 は、ハロゲン含有ガス供給源 F2 に接続されてもよい。配管 29 は、チャンバ 10 に接続されてもよい。配管 28 が配管 29 に接続されることにより、ハロゲン含有ガス供給源 F2 がチャンバ 10 にハロゲン含有ガスを供給可能であってもよい。ハロゲン含有ガス供給源 F2 は、フッ素を含むレーザガスを収容したガスボンベであってもよい。ハロゲン含有ガスは、フッ素ガス、アルゴンガス及びネオンガスを混合したレーザガスであってもよい。

バルブ F2-V は、配管 28 に設けられてもよい。ハロゲン含有ガス供給源 F2 から配管 29 を介したチャンバ 10 へのハロゲン含有ガスの供給は、バルブ F2-V の開閉によって制御されてもよい。バルブ F2-V の開閉は、ガス制御部 32 によって制御されてもよい。

[0027] 配管 27 は、バッファガス供給源 B と配管 29 との間に接続されてもよい。配管 27 が配管 29 に接続されることにより、バッファガス供給源 B がチャンバ 10 にバッファガスを供給可能であってもよい。バッファガスは、アルゴンガス及びネオンガスを含むレーザガスであってもよい。バッファガスには、ハロゲンガスがほとんど含まれていなくてもよい。あるいは、バッファガスには、ハロゲン含有ガス供給源 F2 から供給されるハロゲン含有ガスよりも低濃度のハロゲンガスが含まれていてもよい。

バルブ B-V は、配管 27 に設けられてもよい。バッファガス供給源 B から配管 29 を介したチャンバ 10 へのバッファガスの供給は、バルブ B-V の開閉によって制御されてもよい。バルブ B-V の開閉は、ガス制御部 32 によって制御されてもよい。

[0028] 上述の排気装置として、レーザガス制御システム 40 は、配管 26 と、バルブ EX-V と、ハロゲンガストラップ 45 と、排気ポンプ 46 と、を含んでもよい。

配管 26 は、チャンバ 10 と、装置外部の図示しない排気処理装置等との間に接続されてもよい。配管 26 により、チャンバ 10 から排気されたレー

ザガスが装置外部に排出可能であってもよい。

[0029] バルブE X-V、ハロゲンガストラップ4 5及び排気ポンプ4 6は、配管2 6に設けられてもよい。バルブE X-V、ハロゲンガストラップ4 5及び排気ポンプ4 6は、この順でチャンバ1 0側から配置されてもよい。チャンバ1 0からハロゲンガストラップ4 5への排出ガスの供給は、バルブE X-Vの開閉によって制御されてもよい。バルブE X-Vの開閉は、ガス制御部3 2によって制御されてもよい。

[0030] ハロゲンガストラップ4 5は、チャンバ1 0から排気されるレーザガスに含まれるハロゲンガスを捕捉するように構成されてもよい。ハロゲンガスを捕捉する処理剤は、例えば、活性炭であってもよい。

[0031] 排気ポンプ4 6は、バルブE X-Vが開いた状態で、チャンバ1 0内のレーザガスを、大気圧以下の圧力まで強制的に排気することができてよい。排気ポンプ4 6の動作は、ガス制御部3 2によって制御されてもよい。

[0032] 2. 2 動作

2. 2. 1 レーザ発振システムの動作

レーザ制御部3 0は、露光装置制御部1 1 0から、目標パルスエネルギーの設定データと、発光トリガ信号と、を受信してもよい。レーザ制御部3 0は、露光装置制御部1 1 0から受信した目標パルスエネルギーの設定データに基づいて、充電器1 2に充電電圧の設定データを送信してもよい。また、レーザ制御部3 0は、露光装置制御部1 1 0から受信した発光トリガ信号に基づいて、パルスパワーモジュール(P P M) 1 3に含まれるスイッチ1 3 aにトリガ信号を送信してもよい。

[0033] パルスパワーモジュール1 3のスイッチ1 3 aは、レーザ制御部3 0からトリガ信号を受信するとオン状態となってもよい。パルスパワーモジュール1 3は、スイッチ1 3 aがオン状態となると、充電器1 2に充電された電気エネルギーからパルス状の高電圧を生成し、この高電圧を一对の放電電極1 1 a及び1 1 bに印加してもよい。

[0034] 一对の放電電極1 1 a及び1 1 b間に高電圧が印加されると、一对の放電

電極 1 1 a 及び 1 1 b 間に放電が起こり得る。この放電のエネルギーにより、チャンバ 1 0 内のレーザガスが励起されて高エネルギー準位に移行し得る。励起されたレーザガスが、その後、低エネルギー準位に移行するとき、そのエネルギー準位差に応じた波長の光を放出し得る。

[0035] チャンバ 1 0 内で発生した光は、ウィンドウ 1 0 a 及び 1 0 b を介してチャンバ 1 0 の外部に出射してもよい。チャンバ 1 0 のウィンドウ 1 0 a から出射した光は、プリズム 1 4 a によってビーム幅を拡大させられて、グレーティング 1 4 b に入射し得る。プリズム 1 4 a からグレーティング 1 4 b に入射した光は、グレーティング 1 4 b の複数の溝によって反射されるとともに、光の波長に応じた方向に回折させられ得る。グレーティング 1 4 b は、プリズム 1 4 a からグレーティング 1 4 b に入射する光の入射角と、所望波長の回折光の回折角とが一致するようにリトロ配置されていてもよい。これにより、所望波長付近の光がプリズム 1 4 a を介してチャンバ 1 0 に戻され得る。

[0036] 出力結合ミラー 1 5 は、チャンバ 1 0 のウィンドウ 1 0 b から出射した光のうちの一部を透過させて出力し、他の一部を反射させてチャンバ 1 0 に戻してもよい。

[0037] このようにして、チャンバ 1 0 から出射した光は、狭帯域化モジュール 1 4 と出力結合ミラー 1 5 との間で往復し、一对の放電電極 1 1 a 及び 1 1 b 間の放電空間を通過する度に増幅され、レーザ発振し得る。この光は、狭帯域化モジュール 1 4 で折り返される度に狭帯域化され得る。こうして増幅され、狭帯域化された光が、出力結合ミラー 1 5 からレーザ光として出力され得る。

[0038] エネルギーモニタ 1 7 は、出力結合ミラー 1 5 から出力されたレーザ光のパルスエネルギーを検出してもよい。エネルギーモニタ 1 7 は、検出したパルスエネルギーのデータをレーザ制御部 3 0 に送信してもよい。

[0039] レーザ制御部 3 0 は、エネルギーモニタ 1 7 から受信したパルスエネルギーの測定データと、露光装置制御部 1 1 0 から受信した目標パルスエネルギー

一の設定データとに基づいて、充電器 12 に設定する充電電圧をフィードバック制御してもよい。

[0040] 2. 2. 2 エネルギー制御

図 2 は、比較例に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部 30 によるエネルギー制御を示すフローチャートである。レーザ制御部 30 は、以下の処理により、出力パルスレーザ光のパルスエネルギーが目標パルスエネルギーに近づくように制御を行ってもよい。

[0041] まず、S 10 において、レーザ制御部 30 は、充電電圧 V を初期値 V_0 に設定してもよい。初期値 V_0 は、一对の放電電極 11a 及び 11b の間で放電が起こってチャンバ 10 からパルスレーザ光が出力されるような値でもよい。

[0042] 次に、S 11 において、レーザ制御部 30 は、パルスエネルギー係数 V_k を記憶装置から読み込んでもよい。パルスエネルギー係数 V_k は、パルスエネルギーを ΔE 変化させたいときに充電電圧 V をどれだけ変化させればよいかを計算するための係数であってもよい。第 1 の実施形態において、記憶装置は、図 26 を参照しながら後述するメモリ 1002 であってもよい。

[0043] 次に、S 12 において、レーザ制御部 30 は、目標パルスエネルギー E_t を記憶装置から読み込んでもよい。目標パルスエネルギー E_t の値は、露光装置 100 によって指定された値であってもよい。

[0044] 次に、S 13 において、レーザ制御部 30 は、レーザ発振したか否かを判定してもよい。レーザ発振したか否かは、レーザ制御部 30 がパルスパワーモジュール 13 のスイッチ 13a にトリガ信号を出力したか否かによって判定してもよい。レーザ発振していない場合は、レーザ発振するまで待機してもよい。レーザ発振した場合は、レーザ制御部 30 は、処理を S 14 に進めてもよい。

S 14 において、レーザ制御部 30 は、エネルギーモニタ 17 の出力に基づいて、パルスエネルギー E を計測してもよい。

[0045] 次に、S 15 において、レーザ制御部 30 は、S 14 において計測された

パルスエネルギー E と、 $S12$ において読み込んだ目標パルスエネルギー E_t との差 ΔE を、以下の式により計算してもよい。

$$\Delta E = E - E_t$$

[0046] 次に、 $S16$ において、レーザ制御部30は、現在の充電電圧 V に基づいて、新たな充電電圧 V を以下の式により計算し、充電電圧 V の値を更新してもよい。新たな充電電圧 V は、パルスエネルギー E を目標パルスエネルギー E_t に近づけるための充電電圧であってもよい。

$$V = V + V_k \cdot \Delta E$$

[0047] 次に、 $S17$ において、レーザ制御部30は、充電器12に、 $S16$ で計算された充電電圧 V を設定してもよい。

次に、 $S18$ において、レーザ制御部30は、目標パルスエネルギー E_t が変更されたか否かを判定してもよい。目標パルスエネルギー E_t が変更された場合は、レーザ制御部30は、処理を上述の $S12$ に戻してもよい。目標パルスエネルギー E_t が変更されない場合は、処理を $S19$ に進めてもよい。

[0048] $S19$ において、レーザ制御部30は、エネルギー制御を終了するか否かを判定してもよい。エネルギー制御を終了しない場合、レーザ制御部30は、処理を上述の $S13$ に戻してもよい。エネルギー制御を終了する場合、レーザ制御部30は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0049] 2. 2. 3 レーザガス制御

図3は、比較例に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。ガス制御部32は、以下の処理により、全ガス交換、ガス圧制御、及び、部分ガス交換を行ってもよい。

[0050] まず、 $S1000$ において、ガス制御部32は、目標ハロゲン分圧 P_{F2t} を初期値 P_{F2t0} に設定してもよい。初期値 P_{F2t0} は、一対の放電電極11a及び11bの間での放電によりレーザガスが励起されてチャンバ10からパルスレーザ光が出力されるような値でもよい。初期値 P_{F2t0} は、 $0.13\text{ kPa} \sim 0.18\text{ kPa}$ の範囲であってもよい。

[0051] 次に、S 1 1 0 0において、ガス制御部32は、全ガス交換を行うように、レーザガス制御システム40を制御してもよい。この全ガス交換は、チャンバ10内のハロゲン分圧が、設定された初期値PF2t0となるように行われてもよい。全ガス交換の詳細については、図4を参照しながら後述する。

[0052] 次に、S 1 2 0 0において、ガス制御部32は、レーザ発振OK信号をレーザ制御部30に出力してもよい。レーザ制御部30は、レーザ発振OK信号に基づいて、チャンバ10内のガス条件が整ったと判断し、パルスレーザ光の出力を開始させてもよい。

次に、S 1 3 0 0において、ガス制御部32は、充電電圧Vに基づくガス圧制御を行うように、レーザガス制御システム40を制御してもよい。ガス圧制御の詳細については、図5を参照しながら後述する。

[0053] 次に、S 1 9 0 0において、ガス制御部32は、部分ガス交換フラグFpgの値が1であるか否かを判定してもよい。部分ガス交換フラグFpgは、部分ガス交換の要否を示すフラグであってもよい。部分ガス交換フラグFpgについては、図6を参照しながら後述する。部分ガス交換フラグの値が1である場合は、ガス制御部32は、処理をS 2 0 0 0に進めてもよい。部分ガス交換フラグの値が1ではない場合は、ガス制御部32は、処理を上述のS 1 3 0 0に戻してもよい。

[0054] S 2 0 0 0において、ガス制御部32は、部分ガス交換を行うように、レーザガス制御システム40を制御してもよい。部分ガス交換の詳細については、図7を参照しながら後述する。

次に、S 2 1 0 0において、ガス制御部32は、部分ガス交換フラグFpgの値を0にリセットしてもよい。

[0055] 次に、S 2 2 0 0において、ガス制御部32は、ガス制御を停止するか否かを判定してもよい。ガス制御を停止しない場合、ガス制御部32は、処理を上述のS 1 3 0 0に戻してもよい。ガス制御を停止する場合、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0056] 2. 2. 3. 1 全ガス交換

図4は、図3に示される全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図4に示される処理は、図3に示されるS1100のサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0057] まず、S1101において、ガス制御部32は、記憶装置から目標ハロゲン分圧PF2tの値を読み込んでよい。目標ハロゲン分圧PF2tは、図3のS1000で設定された目標ハロゲン分圧PF2tでもよい。

[0058] 次に、S1102において、ガス制御部32は、記憶装置から目標ガス圧Ptの値を読み込んでよい。目標ガス圧Ptは、一対の放電電極11a及び11bの間での放電によりレーザガスが励起されてチャンバ10からパルスレーザ光が出力されるような値でもよい。

[0059] 次に、S1103において、ガス制御部32は、排気ポンプ46の駆動を開始し、バルブEX-Vを開いてもよい。これにより、チャンバ10内のレーザガスの排気を開始されてもよい。

次に、S1104において、ガス制御部32は、チャンバ圧力センサ16からチャンバ10のガス圧Pを読み込んでよい。

[0060] 次に、S1105において、ガス制御部32は、ガス圧Pが所定値P0以下になったか否かを判定してもよい。所定値P0は、大気圧以下の圧力でもよい。所定値P0は、10hpa～50hpaの範囲でもよい。ガス圧Pが所定値P0以下になっていない場合（S1105；NO）、ガス制御部32は、処理を上述のS1104に戻してもよい。ガス圧Pが所定値P0以下になった場合（S1105；YES）、ガス制御部32は、処理をS1106に進めてもよい。

S1106において、ガス制御部32は、バルブEX-Vを閉じ、排気ポンプ46の駆動を停止してもよい。

[0061] 次に、S1107において、ガス制御部32は、バルブF2-Vを開いてもよい。これにより、チャンバ10内へのハロゲン含有ガスの注入が開始されてもよい。

次に、S 1 1 0 8において、ガス制御部3 2は、チャンバ圧力センサ1 6からチャンバ1 0のガス圧Pを読み込んでもよい。

[0062] 次に、S 1 1 0 9において、ガス制御部3 2は、ガス圧Pが所定値($P_0 + P_{F2t}/C$)以上になったか否かを判定してもよい。P F 2 tは、目標ハロゲン分圧であってもよい。Cは、ハロゲン含有ガスにおける体積比でのハロゲン濃度であってもよい。ガス圧Pが所定値($P_0 + P_{F2t}/C$)となるまでチャンバ1 0内にハロゲン含有ガスを注入することにより、チャンバ1 0内のハロゲン分圧を目標ハロゲン分圧に近い値にし得る。

ガス圧Pが所定値($P_0 + P_{F2t}/C$)以上になっていない場合(S 1 1 0 9 ; N O)、ガス制御部3 2は、処理を上述のS 1 1 0 8に戻してもよい。ガス圧Pが所定値($P_0 + P_{F2t}/C$)以上になった場合(S 1 1 0 9 ; Y E S)、ガス制御部3 2は、処理をS 1 1 1 0に進めてもよい。

S 1 1 1 0において、ガス制御部3 2は、バルブF 2 - Vを閉じてもよい。

[0063] 次に、S 1 1 1 1において、ガス制御部3 2は、バルブB - Vを開いてもよい。これにより、チャンバ1 0内へのバッファガスの注入が開始されてもよい。

次に、S 1 1 1 2において、ガス制御部3 2は、チャンバ圧力センサ1 6からチャンバ1 0のガス圧Pを読み込んでもよい。

[0064] 次に、S 1 1 1 3において、ガス制御部3 2は、ガス圧Pが目標ガス圧 P_t 以上になったか否かを判定してもよい。ガス圧Pが目標ガス圧 P_t 以上になっていない場合(S 1 1 1 3 ; N O)、ガス制御部3 2は、処理を上述のS 1 1 1 2に戻してもよい。ガス圧Pが目標ガス圧 P_t 以上になった場合(S 1 1 1 3 ; Y E S)、ガス制御部3 2は、処理をS 1 1 1 4に進めてもよい。

S 1 1 1 4において、ガス制御部3 2は、バルブB - Vを閉じてもよい。

S 1 1 1 4の後、ガス制御部3 2は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻ってもよい。

[0065] 2. 2. 3. 2 ガス圧制御

図5は、図3に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図5に示される処理は、図3に示されるS1300のサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。ガス制御部32は、図2に示されるエネルギー制御によって設定された充電電圧Vに基づいて、チャンバ10内のガス圧を制御してもよい。

[0066] まず、S1301において、ガス制御部32は、記憶装置からガス圧の制御パラメータを読み込んでもよい。ガス圧の制御パラメータは、充電電圧Vの最小値 V_{min} 、最大値 V_{max} 、及び、ガス圧Pの変化量 ΔP を含んでもよい。

[0067] 次に、S1302において、ガス制御部32は、チャンバ圧力センサ16からチャンバ10内のガス圧Pを読み込んでもよい。

次に、S1303において、ガス制御部32は、充電電圧Vの値をレーザ制御部30から受信してもよい。充電電圧Vの値は、図2を参照しながら説明した処理により、パルスエネルギーEが目標パルスエネルギー E_t に近づくように設定された値であってもよい。

[0068] 次に、S1304において、ガス制御部32は、受信した充電電圧Vが最小値 V_{min} 以上、最大値 V_{max} 以下であるか否かを判定してもよい。充電電圧Vが最小値 V_{min} 以上、最大値 V_{max} 以下である場合には、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻ってもよい。

[0069] 充電電圧Vが最小値 V_{min} より低い場合、ガス制御部32は、S1305において、ガス圧Pが ΔP 減少するように、バルブEX-Vを制御してもよい。バルブEX-Vを制御することにより、チャンバ10内のレーザガスの一部が排気されて、ガス圧Pが減少してもよい。その後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻ってもよい。

[0070] 充電電圧Vが最大値 V_{max} より高い場合、ガス制御部32は、S130

6において、ガス圧 P が ΔP 増加するように、バルブ $B-V$ を制御してもよい。バルブ $B-V$ を制御することにより、バッファガスがチャンバ10内に注入されて、ガス圧 P が増加してもよい。その後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了し、図3に示される処理に戻ってもよい。

[0071] 2. 2. 3. 3 ショット数の計測

図6は、比較例に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるショット数 N_s の計測の処理を示すフローチャートである。レーザ制御部30は、以下の処理により、部分ガス交換後のショット数 N_s を計測してもよい。部分ガス交換後のショット数 N_s は、図7を参照しながら後述するように、次回の部分ガス交換におけるバッファガス注入量 ΔP_{bg} 及びハロゲン含有ガス注入量 ΔP_{hg} を算出するために用いられてもよい。

[0072] まず、S20において、レーザ制御部30は、部分ガス交換フラグ F_{pg} を0にリセットしてもよい。部分ガス交換フラグ F_{pg} は、部分ガス交換の要否を示すフラグであってもよい。

次に、S21において、レーザ制御部30は、ショット数 N_s を初期値0に設定してもよい。

次に、S22において、レーザ制御部30は、部分ガス交換周期の計測タイマー T_{pg} をリセット及びスタートしてもよい。

[0073] 次に、S23において、レーザ制御部30は、レーザ発振したか否かを判定してもよい。レーザ発振したか否かは、レーザ制御部30がパルスパワーモジュール13のスイッチ13aにトリガ信号を出力したか否かによって判定してもよい。レーザ発振した場合は、レーザ制御部30は、処理をS24に進めてもよい。レーザ発振していない場合は、S24をスキップして、処理をS25に進めてもよい。

[0074] S24において、レーザ制御部30は、ショット数 N_s の値に1を加えて、 N_s の値を更新してもよい。S24の後、レーザ制御部30は、処理をS25に進めてもよい。

S25において、レーザ制御部30は、部分ガス交換周期の計測タイマー

T p g が所定値 T p g 0 以上になったか否かを判定してもよい。部分ガス交換周期の計測タイマー T p g が所定値 T p g 0 に達していない場合 (S 2 5 ; N O)、レーザ制御部 3 0 は、処理を上述の S 2 3 に戻してもよい。部分ガス交換周期の計測タイマー T p g が所定値 T p g 0 以上になった場合 (S 2 5 ; Y E S)、レーザ制御部 3 0 は、処理を S 2 6 に進めてもよい。

[0075] S 2 6 において、レーザ制御部 3 0 は、ショット数 N s のデータをガス制御部 3 2 に送信してもよい。

次に、S 2 7 において、レーザ制御部 3 0 は、部分ガス交換フラグ F p g の値を、要交換を示す値 1 に設定してもよい。この部分ガス交換フラグ F p g に基づき、ガス制御部 3 2 が、図 7 に示される処理により部分ガス交換を実行してもよい。

[0076] 次に、S 2 8 において、レーザ制御部 3 0 は、部分ガス交換フラグ F p g の値がリセットされたか否かを判定してもよい。例えば、部分ガス交換が実行された直後に、図 3 の S 2 1 0 0 によって部分ガス交換フラグ F p g の値がリセットされてもよい。部分ガス交換フラグ F p g の値がリセットされていない場合は、リセットされるまで待機してもよい。部分ガス交換フラグ F p g の値がリセットされた場合は、レーザ制御部 3 0 は、処理を上述の S 2 1 に戻してもよい。

[0077] 2. 2. 3. 4 部分ガス交換

図 7 は、図 3 に示される部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図 7 に示される処理は、図 3 に示される S 2 0 0 0 のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。図 4 を参照しながら説明した全ガス交換の処理がレーザ発振の停止中に行われ得るのに対し、以下に説明する部分ガス交換は、レーザ発振中に行われてもよい。

[0078] まず、S 2 0 0 1 において、ガス制御部 3 2 は、記憶装置からショット数 N s の値を読み込んでもよい。ショット数 N s の値は、図 6 を参照しながら説明したレーザ制御部 3 0 の処理によって計測されたものでもよい。

[0079] 次に、S 2 0 0 2 において、ガス制御部 3 2 は、バッファガス注入量 ΔP

b g を、以下の式により計算してもよい。

$$\Delta P_{bg} = K_{bg} \cdot N_s$$

ここで、 K_{bg} は、1ショットあたりのバッファガス注入量として予め設定された値でもよい。

[0080] 次に、S 2 0 0 3 において、ガス制御部 3 2 は、チャンバ 1 0 内のガス圧 P が ΔP_{bg} 増加するように、バルブ B-V を制御してもよい。バルブ B-V を制御を制御することにより、チャンバ 1 0 内にバッファガスが注入されて、ガス圧 P が増加してもよい。

[0081] 次に、S 2 0 0 4 において、ガス制御部 3 2 は、ハロゲン含有ガス注入量 ΔP_{hg} を、以下の式により計算してもよい。

$$\Delta P_{hg} = K_{hg} \cdot N_s + \Delta P_e$$

ここで、 K_{hg} は、1ショットあたりのハロゲン含有ガス注入量として予め設定された値でもよい。 ΔP_e は、後述の S 2 0 0 6 において排気されるレーザガスに含まれるハロゲンガスを補充するために、予め計算されるハロゲン含有ガス注入量であってもよい。後述の S 2 0 0 6 において排気されるレーザガスが、チャンバ 1 0 内のレーザガスに対して僅かな量であれば、 ΔP_e は無視されてもよい。

[0082] 次に、S 2 0 0 5 において、ガス制御部 3 2 は、チャンバ 1 0 内のガス圧 P が ΔP_{hg} 増加するように、バルブ F 2-V を制御してもよい。バルブ F 2-V を制御することにより、チャンバ 1 0 内にハロゲン含有ガスが注入されて、ガス圧 P が増加してもよい。

[0083] 次に、S 2 0 0 6 において、ガス制御部 3 2 は、チャンバ 1 0 内のガス圧 P が $(\Delta P_{bg} + \Delta P_{hg})$ 減少するように、バルブ E X-V を制御してもよい。バルブ E X-V を制御することにより、チャンバ 1 0 内のレーザガスが排気されて、ガス圧 P が減少してもよい。

S 2 0 0 6 の後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了し、図 3 に示される処理に戻ってもよい。

[0084] 2. 3 課題

エキシマレーザ装置を長期間にわたって運転し、例えば、出力されたパルスレーザ光のパルス数が数百億パルスに達すると、一对の放電電極 11a 及び 11b が劣化してくることがあり得る。その結果、エネルギーディップと呼ばれる現象が生じることがあり得る。すなわち、パルスレーザ光のうちのほとんどのパルスは目標パルスエネルギーに近いパルスエネルギーを有しているのに、一部のパルスだけは目標パルスエネルギーに比べてかなり小さなパルスエネルギーしか有しないことがある。このように、本明細書では目標パルスエネルギーに比べて小さなパルスエネルギーしか出ない現象をエネルギーディップと記載する。

[0085] 図 8A 及び図 8B は、エネルギーディップの発生について推定されるメカニズムを説明する図である。図 8A は、電極の劣化が進んでおらずエネルギーディップが発生しにくい正常な場合を示す。一对の放電電極 11a 及び 11b の間で放電が起こると、一对の放電電極 11a 及び 11b の間の放電空間においてレーザガスが励起され得る。レーザガスが励起されると、図 8A に示されるように、タイミング $T=0$ において放電生成物が生成され得る。放電生成物は、プラズマ状態のレーザガスを含み得る。上述のように、チャンバ 10 の内部では、クロスフローファン 21 によってレーザガスが循環していてもよい。レーザガスのガス流れの方向は、一对の放電電極 11a 及び 11b の間の放電方向と、パルスレーザ光の出力方向と、の両方にほぼ垂直な方向であり得る。このようなガス流れにより、タイミング $T=1$ までの間に放電生成物が移動し得る。タイミング $T=2$ において、次の放電が一对の放電電極 11a 及び 11b の間に起こり得る。このとき、放電生成物は一对の放電電極 11a 及び 11b から離れており、一对の放電電極 11a 及び 11b の間にはガス流れの上流側からレーザガスが供給されていてもよい。これにより、ガス流れの上流側から供給されたレーザガスが励起され、パルスレーザ光が出力され得る。

[0086] 図 8B は、電極の劣化が進み、エネルギーディップが発生しやすくなった場合を示す。電極の劣化が進むと、一对の放電電極 11a 及び 11b の間隔

Gが大きくなり得る。この場合、タイミング $T=2$ における放電が、前回の放電で生成されたプラズマ状態の放電生成物を通るアーク放電となってしまうことがあり得る。電極の間隔Gが大きくなるとアーク放電となる理由は、次の2つであると推定される。第1に、一对の放電電極11a及び11bの間隔Gが大きくなると、放電方向に放電空間が大きくなるだけでなく、放電方向と垂直なガス流れの方向にも放電空間が大きくなり得る。従って、 $T=0$ 及び $T=1$ において示されるように、放電生成物が比較的広い範囲に分布するので、 $T=2$ における放電生成物が電極から十分に離れていないことが起こり得る。第2に、クロスフローファン21の回転数を一定とした場合に、一对の放電電極11a及び11bの間隔Gが大きくなると、一对の放電電極11a及び11bの間を流れるレーザガスの流路の断面積が大きくなり得る。従って、クロスフローファン21の回転数が一定であっても、レーザガスの流速が低下し得る。従って、 $T=2$ における放電生成物が電極から十分に離れていないことが起こり得る。

このようにアーク放電が起こると、一对の放電電極11a及び11bの間に位置するレーザガスが十分に励起されず、パルスレーザ光のパルスエネルギーが不十分となり得る。

[0087] 露光装置100において露光をしているときに、このようなエネルギーディップが発生すると、露光性能に悪影響を及ぼすことがあり得る。エネルギーディップの発生を低減するために、一对の放電電極11a及び11bを含むチャンバ10を新品に交換することが考えられる。しかしながら、チャンバ10を交換するためには、パルスレーザ光の出力を停止させる必要があり得る。予めスケジュールされた定期的なメンテナンス時以外に、チャンバ10の交換のためにパルスレーザ光の出力を停止しなければならないとすれば、半導体工場における生産スケジュールに影響が生じる場合があり、生産性が低下し得る。

[0088] 以下に説明する第1の実施形態において、エキシマレーザ装置は、エネルギーディップを検出して、この検出結果に基づいて、チャンバ内のハロゲン

ガス分圧を調整するように構成されてもよい。ハロゲンガス分圧を低減することにより、エネルギーディップの発生を抑制してもよい。これにより、チャンバの寿命を長くすることができる。従って、チャンバの交換のためにパルスレーザ光の出力を停止するようなことは一時的に回避でき、半導体工場における生産スケジュールへの影響を抑制し得る。

[0089] ところで、パルスレーザ光を例えば数千万パルス出力した場合に、エネルギーディップが数十発程度であった場合でも、露光性能は悪化し得る。このような低頻度のエネルギーディップを検出するためには、長い時間を要することがあり得る。

[0090] 以下に説明する第2の実施形態において、エキシマレーザ装置は、パルスレーザ光の出力時よりもクロスフローファン21の回転数を低い回転数にしてエネルギーディップを検出してもよい。クロスフローファン21の回転数を低い回転数にすることにより、エネルギーディップが発生しやすくなり得る。これにより、クロスフローファン21の回転数を通常回転数とした場合よりも短い時間で、エネルギーディップの発生を検出し得る。

[0091] 3. エネルギーディップを検出してハロゲンガス分圧を調整するエキシマレーザ装置

3. 1 構成

図9は、本開示の第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。第1の実施形態において、エキシマレーザ装置は、解析制御部33を含んでもよい。

解析制御部33は、エネルギーモニタ17に接続され、エネルギーモニタ17の出力信号を受信するように構成されてもよい。解析制御部33は、レーザ制御部30がパルスパワーモジュール13のスイッチ13aに出力するトリガ信号の信号線にも接続され、トリガ信号を受信するように構成されてもよい。レーザガス制御システム40は、ガス制御部32と、ハロゲンガス分圧調節部42とを含む。

[0092] 解析制御部33は、エネルギーモニタ17の出力信号と、トリガ信号と、

に基づいて、エネルギーディップを検出するように構成されてもよい。エネルギーディップの検出については、図10～図14を参照しながら後述する。解析制御部33は、レーザ制御部30に接続されてもよい。解析制御部33は、目標パルスエネルギーの値をレーザ制御部30から受信するように構成されてもよい。解析制御部33は、エネルギーディップの検出結果をレーザ制御部30に出力するように構成されてもよい。レーザ制御部30と、ガス制御部32と、解析制御部33とが、本開示における制御部に含まれ得る。

他の点については、図1を参照しながら説明した比較例と同様の構成であってもよい。

[0093] 3. 2 動作

第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置において、レーザ制御部30の処理は、図2及び図6を参照しながら説明した比較例と同様でよい。

[0094] 3. 2. 1 エネルギーディップの検出

図10は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理を示すフローチャートである。解析制御部33は、以下の処理により、エネルギーディップの検出を行ってもよい。

[0095] まず、S100において、解析制御部33は、エネルギーディップフラグF_dを0にリセットしてもよい。エネルギーディップフラグF_dは、エネルギーディップが発生しにくい正常状態か、エネルギーディップが発生しやすい異常状態かを示すフラグであってもよい。

[0096] 次に、S110において、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT_dをリセット及びスタートしてもよい。

次に、S120において、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数N_dの値を0にリセットしてもよい。

次に、S130において、解析制御部33は、レーザ制御部30から目標パルスエネルギーE_tのデータを受信し、この目標パルスエネルギーE_tを読み込んでもよい。

- [0097] 次に、S 1 4 0において、解析制御部33は、トリガ信号が入力されたか否かを判定してもよい。トリガ信号が入力されない場合（S 1 4 0 ; N O）、解析制御部33は、トリガ信号が入力されるまで待機してもよい。トリガ信号が入力された場合（S 1 4 0 ; Y E S）、解析制御部33は、処理をS 1 5 0に進めてもよい。
- [0098] S 1 5 0において、解析制御部33は、エネルギーモニタ17の出力に基づいてパルスエネルギーEを計測し、パルスエネルギーEが0であるか否かを判定してもよい。トリガ信号が入力されたにも関わらずパルスエネルギーEが0である場合（S 1 5 0 ; Y E S）、解析制御部33は、処理をS 1 9 0に進めてもよい。パルスエネルギーEが0ではない場合（S 1 5 0 ; N O）、解析制御部33は、処理をS 1 6 0に進めてもよい。
- [0099] S 1 6 0において、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数N dをカウントする処理を実行してもよい。エネルギーディップ検出回数N dをカウントする処理として、第1～第4の例について、図11～図14を参照しながら説明する。
- [0100] 次に、S 1 7 0において、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数N dが所定値N d m a x未満か否かを判定してもよい。エネルギーディップ検出回数N dが所定値N d m a x以上となった場合（S 1 7 0 ; N O）、解析制御部33は、処理をS 1 9 0に進めてもよい。エネルギーディップ検出回数N dが所定値N d m a x未満である場合（S 1 7 0 ; Y E S）、解析制御部33は、処理をS 1 8 0に進めてもよい。所定値N d m a xは、20回～500回の範囲でもよい。
- [0101] S 1 9 0において、解析制御部33は、エネルギーディップフラグF dの値を、異常放電を示す値1に設定してもよい。このエネルギーディップフラグF dの値が、後述の図15に示されるガス制御部の処理において用いられてもよい。
- [0102] S 1 9 0の後、S 2 0 0において、解析制御部33は、エネルギーディップフラグF dがリセットされたか否かを判定してもよい。エネルギーディップ

プフラグF dがリセットされていない場合（S 2 0 0 ; N O）、エネルギーディップフラグF dがリセットされるまで待機してもよい。エネルギーディップフラグF dがリセットされた場合（S 2 0 0 ; Y E S）、解析制御部33は、処理を上述のS 1 1 0に戻してもよい。例えば、後述の図15に示されるガス制御部の処理においてエネルギーディップ改善制御が行われた場合には、エネルギーディップフラグF dがリセットされてもよい。

[0103] S 1 8 0において、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K d以上となったか否かを判定してもよい。所定値K dは、1時間～24時間の範囲でもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K dに達していない場合（S 1 8 0 ; N O）、解析制御部33は、処理を上述のS 1 3 0に戻してもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K d以上となった場合（S 1 8 0 ; Y E S）、解析制御部33は、処理を上述のS 1 1 0に戻してもよい。

[0104] 3. 2. 1. 1 エネルギーディップ検出回数N dをカウントする処理の第1の例

図11は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数N dをカウントする処理の第1の例を示すフローチャートである。図11に示される処理は、図10に示されるS 1 6 0のサブルーチンとして、解析制御部33によって行われてもよい。解析制御部33は、以下の処理により、パルスレーザ光のパルスエネルギーと目標パルスエネルギーとの比に基づいてエネルギーディップを検出し、エネルギーディップ検出回数N dをカウントしてもよい。

[0105] まず、S 1 6 5 aにおいて、解析制御部33は、S 1 5 0で計測されたパルスエネルギーEと、S 1 3 0で読み込まれた目標パルスエネルギーE tとの比Rを、以下の式により計算してもよい。

$$R = E / E t$$

[0106] 次に、S 1 6 7 aにおいて、解析制御部33は、比Rが所定値R t未満であるか否かを判定してもよい。所定値R tは、0.01～0.5の範囲であ

ってもよい。比 R が所定値 R_t 未満である場合（S167a；YES）、たとえば、パルスエネルギー E が目標パルスエネルギー E_t の50%未満となり、エネルギーディップが発生したと評価し得る。従って、解析制御部33は、処理をS168aに進めてもよい。

[0107] S168aにおいて、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数 N_d の値に1を加えて、 N_d の値を更新してもよい。S168aの後、解析制御部33は、本フローチャートの処理を終了し、図10に示される処理に戻ってもよい。S168aで更新されたエネルギーディップ検出回数 N_d の値が、図10のS170の処理において用いられてもよい。

[0108] S167aにおいて、比 R が所定値 R_t 未満ではない場合（S167a；NO）、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数 N_d を変更することなく、本フローチャートの処理を終了し、図10に示される処理に戻ってもよい。

[0109] 3. 2. 1. 2 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第2の例

図12は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第2の例を示すフローチャートである。図12に示される処理は、図10に示されるS160のサブルーチンとして、解析制御部33によって行われてもよい。解析制御部33は、以下の処理により、パルスエネルギー安定性を評価し、この評価に基づいてエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントしてもよい。

[0110] まず、S161bにおいて、解析制御部33は、サンプル数を計数するためのカウンタ N_p の値に1を加えて N_p の値を更新してもよい。サンプル数は、パルスエネルギーの平均値と標準偏差を算出するためのサンプル数であってもよい。

次に、S162bにおいて、解析制御部33は、S150において計測されたパルスエネルギー E を、カウンタ N_p の値と関連付けて記憶装置に記憶させてもよい。

[0111] 次に、S 1 6 3 bにおいて、解析制御部 3 3は、所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータが収集されたか否かを判定してもよい。この判定は、カウンタ N_p の値と所定パルス数 N_{pmax} とを比較することによって行われてもよい。所定パルス数 N_{pmax} は、40パルス～60パルスの範囲でもよい。所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータが未だ収集されていない場合（S 1 6 3 b ; NO）、解析制御部 3 3は、パルスエネルギー安定性を算出せずに、本フローチャートの処理を終了し、図 1 0に示される処理に戻ってもよい。図 1 0のフローチャートの処理と、S 1 6 1 b～S 1 6 3 bの処理を繰り返すことにより、所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータが収集された場合（S 1 6 3 b ; YES）、解析制御部 3 3は、処理をS 1 6 4 bに進めてもよい。

[0112] S 1 6 4 bにおいて、解析制御部 3 3は、所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータに基づいて、パルスエネルギー E の平均値 E_{av} と標準偏差 σ とを計算してもよい。

[0113] 次に、S 1 6 5 bにおいて、解析制御部 3 3は、以下の式により、 σ (%) の値を算出してもよい。

$$\sigma (\%) = (\sigma / E_{av}) \cdot 100$$

σ (%) は、パルスエネルギー E の値のばらつきが小さいほど、小さな値となり得る。従って、 σ (%) の値が小さいほど、パルスエネルギー安定性が高いことを示し得る。

[0114] 次に、S 1 6 6 bにおいて、解析制御部 3 3は、カウンタ N_p を0にリセットしてもよい。従って、この次に本フローチャートを実行するときに、サンプル数を0から数え直すことができる。

[0115] 次に、S 1 6 7 bにおいて、解析制御部 3 3は、 σ (%) が所定値 σ_{max} (%) より大きいかな否かを判定してもよい。所定値 σ_{max} (%) は、10%～30%の範囲であってもよい。 σ (%) が所定値 σ_{max} (%) より大きい場合には、パルスエネルギー E の値のばらつきが大きく、エネルギーディップが発生している可能性が高いと評価し得る。従って、解析制御部 3

3は、処理をS 1 6 8 aに進めてもよい。

[0116] S 1 6 8 aの処理は、図 1 1を参照しながら説明したものと同様でよい。

S 1 6 7 bにおいて、 σ (%) が所定値 σ_{max} (%) より大きくはない場合、解析制御部 3 3は、エネルギーディップ検出回数 N_d を変更することなく、本フローチャートの処理を終了し、図 1 0に示される処理に戻ってもよい。

なお、カウンタ N_p の初期値は図 1 0に示す解析制御部のスタートの後の図示しないステップにおいて $N_p = 0$ に設定しておいてもよい。

[0117] 3. 2. 1. 3 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第3の例

図 1 3は、図 1 0に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第3の例を示すフローチャートである。図 1 3に示される処理は、図 1 0に示されるS 1 6 0のサブルーチンとして、解析制御部 3 3によって行われてもよい。解析制御部 3 3は、以下の処理により、ドーズ安定性を評価し、この評価に基づいてエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントしてもよい。

[0118] まず、S 1 6 1 cにおいて、解析制御部 3 3は、累積パルス数を計数するためのカウンタ m の値に 1 を加えて m の値を更新してもよい。

次に、S 1 6 2 cにおいて、解析制御部 3 3は、S 1 5 0において計測されたパルスエネルギー E を、 n 番目のパルスエネルギー $E(n)$ として記憶装置に記憶させてもよい。 n の値は、S 1 6 2 cを実行した各時点での m の値と同じでよい。 m の値はS 1 6 1 cの処理により更新されていくのに対し、 n の値は、S 1 6 2 cを実行した回数に応じて複数の値が存在してもよい。従って、S 1 6 2 cが実行されるごとに、パルスエネルギー $E(n)$ の値が記憶装置に追加されてもよい。

[0119] 次に、S 1 6 3 cにおいて、解析制御部 3 3は、所定パルス数 M 以上のパルスエネルギー $E(n)$ のデータが収集されたか否かを判定してもよい。この判定は、カウンタ m の値と所定パルス数 M とを比較することによって行わ

れてもよい。所定パルス数Mは、40パルス～60パルスの範囲でもよい。所定パルス数M以上のパルスエネルギーE(n)のデータが未だ収集されていない場合(S163c; NO)、解析制御部33は、ドーズ安定性を算出せずに、本フローチャートの処理を終了し、図10に示される処理に戻ってもよい。図10のフローチャートの処理と、S161c～S163cの処理を繰り返すことにより、所定パルス数M以上のパルスエネルギーE(n)のデータが収集された場合(S163c; YES)、解析制御部33は、処理をS164cに進めてもよい。

[0120] S164cにおいて、解析制御部33は、所定パルス数MのパルスエネルギーE(n)のデータに基づいて、パルスエネルギーE(n)の移動積算エネルギーDを計算してもよい。移動積算エネルギーDは、以下の式により計算されてもよい。

[数1]

$$D = \sum_{n=m-M+1}^m E(n)$$

パルスエネルギーE(n)の移動積算エネルギーDは、直近の所定パルス数MのパルスエネルギーE(n)を合計した値であってもよい。S164cの処理を終了した後、次にS164cの処理を行うときは、最新のパルスエネルギーE(n)の値が追加され、古いパルスエネルギーE(n)の値は順次除去されてもよい。

[0121] 次に、S165cにおいて、解析制御部33は、以下の式により、D(%)の値を算出してもよい。

$$D(\%) = [|D - (E_t \cdot M)| / (E_t \cdot M)] \cdot 100$$

D(%)は、移動積算エネルギーDと目標積算エネルギー(E_t・M)との差の絶対値が小さいほど、小さな値となり得る。従って、D(%)の値が小さいほど、ドーズ安定性が高いことを示し得る。

[0122] 次に、S167cにおいて、解析制御部33は、D(%)が所定値D_{ma}

x (%) より大きいかな否かを判定してもよい。 D_{max} (%) は、0.5% ~ 1% の範囲であってもよい。 D (%) が所定値 D_{max} (%) より大きい場合 (S167c; YES)、ドーズ安定性が低く、エネルギーディップが発生している可能性が高いと評価し得る。従って、解析制御部33は、処理をS168aに進めてもよい。

[0123] S168aの処理は、図11を参照しながら説明したものと同様でよい。

S167cにおいて、 D (%) が所定値 D_{max} (%) より大きくはない場合 (S167c; NO)、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数 N_d を変更することなく、本フローチャートの処理を終了し、図10に示される処理に戻ってもよい。

なお、カウンタ m の初期値は図10に示す解析制御部のスタートの後の図示しないステップにおいて $m=0$ に設定しておいてもよい。

[0124] 3. 2. 1. 4 エネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第4の例

図14は、図10に示されるエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントする処理の第4の例を示すフローチャートである。図14に示される処理は、図10に示されるS160のサブルーチンとして、解析制御部33によって行われてもよい。解析制御部33は、以下の処理により、エネルギーディップ指数 ED を評価し、この評価に基づいてエネルギーディップ検出回数 N_d をカウントしてもよい。

[0125] まず、S161b~S163bの処理は、図12を参照しながら説明したものと同様でよい。S163bにおいて、所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータが収集されたと判定された場合 (S163b; YES)、解析制御部33は、処理をS164dに進めてもよい。このときの所定パルス数 N_{pmax} は、10000パルス~100000パルスであってもよい。

[0126] S164dにおいて、解析制御部33は、所定パルス数 N_{pmax} のパルスエネルギー E のデータに基づいて、エネルギーディップ指数 ED を計算し

てもよい。エネルギーディップ指数EDの計算については、図24及び図25を参照しながら後述する。

[0127] 次に、S166bにおいて、解析制御部33は、カウンタNpを0にリセットしてもよい。従って、この次に本フローチャートを実行するときに、サンプル数を0から数え直すことができる。

[0128] 次に、S167dにおいて、解析制御部33は、エネルギーディップ指数EDが所定値EDthより大きいかな否かを判定してもよい。エネルギーディップ指数EDが所定値EDthより大きい場合（S167d；YES）、エネルギーディップの頻度又は程度が大きいと評価し得る。従って、解析制御部33は、処理をS168aに進めてもよい。

[0129] S168aの処理は、図11を参照しながら説明したものと同様でよい。

S167dにおいて、エネルギーディップ指数EDが所定値EDthより大きくはない場合（S167d；NO）、解析制御部33は、エネルギーディップ検出回数Ndを変更せず、本フローチャートの処理を終了し、図10に示される処理に戻ってもよい。

なお、カウンタNpの初期値は図10に示す解析制御部のスタートの後の図示しないステップにおいてNp=0に設定しておいてもよい。

[0130] 3. 2. 2 エネルギーディップ改善制御を含むレーザガス制御

図15は、第1の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。ガス制御部32は、以下の処理により、全ガス交換、ガス圧制御、及び、部分ガス交換を行う他に、エネルギーディップ改善制御を行ってもよい。

[0131] まず、S1000～S1200の処理は、図3を参照しながら説明した比較例の処理と同様でよい。S1200の後、ガス制御部32は、処理をS1300aに進めてもよい。

S1300aにおいて、ガス制御部32は、充電電圧Vに基づくガス圧制御を行ってもよい。ガス圧制御の詳細については、図16を参照しながら後述する。

次に、S 1 4 0 0において、ガス制御部3 2は、エネルギーディップフラグF dの値が1であるか否かを判定してもよい。エネルギーディップフラグF dは、図1 0のS 1 9 0において解析制御部3 3によって設定されたものでもよい。

エネルギーディップフラグF dの値が1ではない場合（S 1 4 0 0 ; N O）、ガス制御部3 2は、処理をS 1 9 0 0に進めてもよい。エネルギーディップフラグF dの値が1である場合（S 1 4 0 0 ; Y E S）、ガス制御部3 2は、処理をS 1 5 0 0に進めてもよい。

[0132] S 1 5 0 0において、ガス制御部3 2は、エネルギーディップ改善制御により、チャンバ1 0内のハロゲン分圧を低減してもよい。エネルギーディップ改善制御の詳細については、図1 7～図1 9を参照しながら後述する。

[0133] 次に、S 1 6 0 0において、ガス制御部3 2は、チャンバ交換フラグF c hの値が1であるか否かを判定してもよい。チャンバ交換フラグF c hは、図1 6を参照しながら後述するS 1 3 0 9又は図1 7を参照しながら後述するS 1 5 0 3において設定されるものでもよい。

チャンバ交換フラグF c hの値が1ではない場合（S 1 6 0 0 ; N O）、ガス制御部3 2は、処理をS 1 8 0 0に進めてもよい。チャンバ交換フラグF c hの値が1である場合（S 1 6 0 0 ; Y E S）、ガス制御部3 2は、処理をS 1 7 0 0に進めてもよい。

[0134] S 1 7 0 0において、ガス制御部3 2は、チャンバ交換要求信号をレーザ制御部3 0に出力してもよい。S 1 7 0 0の後、ガス制御部3 2は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

S 1 8 0 0において、ガス制御部3 2は、エネルギーディップフラグ1 8 0 0を0にリセットしてもよい。これは、上述のS 1 5 0 0によってエネルギーディップ改善制御が行われたためであり得る。

[0135] S 1 8 0 0の後、ガス制御部3 2は、処理をS 1 9 0 0に進めてもよい。S 1 9 0 0～S 2 2 0 0の処理は、図3を参照しながら説明した比較例の処理と同様でよい。

[0136] 3. 2. 2. 1 ガス圧制御

図16は、図15に示されるガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図16に示される処理は、図15に示されるS1300aのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。ガス制御部32は、図2に示されるエネルギー制御によって設定された充電電圧Vに基づいて、チャンバ10内のガス圧を制御してもよい。

[0137] まず、S1301～S1306の処理は、図5を参照しながら説明した比較例の処理と同様でよい。S1304において充電電圧Vが最小値 V_{min} と最大値 V_{max} との間であった場合、あるいは、S1305又はS1306においてレーザガス制御システム40を制御した後、ガス制御部32は、処理をS1307に進めてもよい。

[0138] S1307において、ガス制御部32は、チャンバ圧力センサ16からチャンバ10内のガス圧Pを新たに読み込んでもよい。

次に、S1308において、ガス制御部32は、新たに読み込まれたガス圧Pが最大値 P_{max} 以下であるか否かを判定してもよい。ガス圧Pが最大値 P_{max} 以下であれば（S1308；YES）、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了して、図15に示される処理に戻ってもよい。ガス圧Pが最大値 P_{max} より大きい場合（S1308；NO）、ガス制御部32は、これ以上ガス圧Pを上げられないと判断し、処理をS1309に進めてもよい。

S1309において、ガス制御部32は、チャンバ交換フラグFchの値を、要交換を示す値1に設定してもよい。その後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了して、図15に示される処理に戻ってもよい。チャンバ交換フラグFchの値が、S1600で用いられてもよい。

[0139] 3. 2. 2. 2 エネルギーディップ改善制御

図17は、図15に示されるエネルギーディップ改善制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図17に示される処理は、図15に示されるS1500のサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

ガス制御部32は、エネルギーディップを改善するために、チャンバ内のハロゲン分圧を低減する処理を行ってもよい。

[0140] まず、S1501において、ガス制御部32は、目標ハロゲン分圧 $PF2_t$ の値を、現在の値よりも低い値に変更してもよい。具体的には、以下の計算を行うことにより、 $PF2_t$ の値を更新してもよい。

$$PF2_t = PF2_t - \Delta PF2$$

$\Delta PF2$ は、ハロゲン分圧を低下させる量を示す正の数であってもよい。

[0141] 次に、S1502において、ガス制御部32は、目標ハロゲン分圧 $PF2_t$ が最小値 $PF2_{min}$ 以上であるか否かを判定してもよい。目標ハロゲン分圧 $PF2_t$ が最小値 $PF2_{min}$ 以上ではない場合（S1502；NO）、ガス制御部32は、これ以上ハロゲン分圧を下げられないと判断し、処理をS1503に進めてもよい。

S1503において、ガス制御部32は、チャンバ交換フラグ Fch の値を、要交換を示す値1に設定してもよい。その後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了して、図15に示される処理に戻ってもよい。チャンバ交換フラグ Fch の値が、S1600で用いられてもよい。

[0142] 目標ハロゲン分圧 $PF2_t$ が最小値 $PF2_{min}$ 以上である場合（S1502；YES）、ガス制御部32は、処理をS1504に進めてもよい。

S1504において、ガス制御部32は、充電電圧 V の最小値 V_{min} 及び最大値 V_{max} を、それぞれ以下のように現在の値よりも高い値に変更してもよい。

$$V_{min} = V_{min} + \Delta V_{min}$$

$$V_{max} = V_{max} + \Delta V_{max}$$

充電電圧 V の最小値 V_{min} 及び最大値 V_{max} は、図16を参照しながら説明したガス圧制御において、ガス圧を制御する際の基準となる充電電圧であってもよい。ハロゲン分圧を低減すると、エネルギーディップは改善し得るが、パルスエネルギーが低下する可能性があり得る。そこで、S1504の処理により、充電電圧 V の最小値 V_{min} 及び最大値 V_{max} を高くして

、パルスエネルギーの低下を抑制し得る。

[0143] 次に、S 1 5 0 5 において、ガス制御部 3 2 は、充電電圧 V の最大値 V_{max} が許容範囲内か否かを判定してもよい。この判定は、充電電圧 V の最大値 V_{max} と閾値 V_{maxmax} とを比較することによって行われてもよい。充電電圧 V の最大値 V_{max} が許容範囲内ではない場合 (S 1 5 0 5 ; N O)、ガス制御部 3 2 は、これ以上充電電圧 V の最大値 V_{max} を上げられないと判断し、処理を上述の S 1 5 0 3 に進めてもよい。

[0144] 充電電圧 V の最大値 V_{max} が許容範囲内である場合 (S 1 5 0 5 ; Y E S)、ガス制御部 3 2 は、処理を S 1 5 0 6 に進めてもよい。

S 1 5 0 6 において、ガス制御部 3 2 は、充電電圧 V の最小値 V_{min} 及び最大値 V_{max} を、それぞれ記憶装置に記憶させてもよい。

[0145] 次に、S 1 5 4 0 において、ガス制御部 3 2 は、ハロゲン分圧の降下制御を行ってもよい。この処理の詳細については、図 1 8 及び図 1 9 を参照しながら後述する。

S 1 5 4 0 の後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了し、図 1 5 に示される処理に戻ってもよい。

[0146] 3. 2. 2. 2. 1 ハロゲン分圧降下制御の第 1 の例

図 1 8 は、図 1 7 に示されるハロゲン分圧降下制御の第 1 の例を示すフローチャートである。図 1 8 に示される処理は、図 1 7 に示される S 1 5 4 0 のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0147] まず、S 1 5 4 1 において、ガス制御部 3 2 は、チャンバ圧力センサ 1 6 からガス圧 P を読み込んで、全ガス圧 P_T として記憶装置に記憶させてもよい。

[0148] 次に、S 1 5 4 2 において、ガス制御部 3 2 は、ガス圧増減幅 ΔP_d を以下の式により計算してもよい。

$$\Delta P_d = P_T \cdot \Delta P_{F2} / (P_{F2t} + \Delta P_{F2})$$

ここで、 P_{F2t} は、目標ハロゲン分圧でもよい。

ΔP_{F2} は、S 1 5 0 1 において目標ハロゲン分圧 P_{F2t} の値を変更する

ために用いられた、ハロゲン分圧を低下させる量を示す正の数であってもよい。

[0149] 次に、S 1 5 4 3において、ガス制御部32は、ガス圧Pが ΔP_d 減少するように、バルブE X-Vを制御してもよい。バルブE X-Vを制御することにより、チャンバ10内のレーザガスの一部が排気されて、ガス圧Pが減少してもよい。排気されるレーザガスには、ハロゲンガスが含まれていてもよい。ハロゲンガスが排気されることにより、ハロゲン分圧が降下してもよい。

[0150] 次に、S 1 5 4 4において、ガス制御部32は、ガス圧Pが ΔP_d 増加するように、バルブB-Vを制御してもよい。バルブB-Vを制御することにより、バッファガスがチャンバ10内に注入されて、ガス圧Pが増加してもよい。バッファガスには、ハロゲンガスがほとんど含まれていなくてもよい。バッファガスが注入されても、ハロゲン分圧はほぼ変化しなくてもよい。

[0151] ここでは、S 1 5 4 3においてレーザガスを排気した後で、S 1 5 4 4においてバッファガスを注入する場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。バッファガスを注入した後で、排気を行ってもよい。

[0152] 以上の処理により、チャンバ10内のハロゲン分圧が降下してもよい。S 1 5 4 3において排気されるレーザガスの量と、S 1 5 4 4において注入されるバッファガスの量とはほぼ同じであるので、S 1 5 4 4の後におけるチャンバ10内のガス圧Pは、S 1 5 4 1で記憶された全ガス圧P Tとほぼ同じとなり得る。従って、S 1 5 4 4までで本フローチャートの処理を終了する場合には、本フローチャートの処理の前後で、ハロゲン分圧以外のガス条件をほぼ同じにし得る。

[0153] 但し、ハロゲン分圧を降下させて、他の条件をまったく変えない場合には、パルスレーザ光のパルスエネルギーが低下することがあり得る。そこで、S 1 5 4 4までの処理に追加して、さらにS 1 5 4 5の処理が行われてもよい。

S 1 5 4 5において、ガス制御部32は、ガス圧Pが ΔP_p 増加するよう

に、バルブB-Vを制御してもよい。バルブB-Vを制御することにより、バッファガスがチャンバ10内に注入されて、ガス圧Pが増加してもよい。ガス圧Pを増加させることにより、パルスエネルギーの低下を抑制してもよい。 ΔP_p は、出力レーザ光のパルスエネルギーの低下を抑制する量であってもよい。

[0154] S1544の後、又は、S1545の後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了し、図17に示される処理に戻ってもよい。

[0155] 3. 2. 2. 2. 2 ハロゲン分圧降下制御の第2の例

図19は、図17に示されるハロゲン分圧降下制御の第2の例を示すフローチャートである。図19に示される処理は、図17に示されるS1540のサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0156] まず、S1546において、ガス制御部32は、レーザ発振NG信号をレーザ制御部30に出力してもよい。レーザ制御部30は、レーザ発振NG信号に基づいて、チャンバ10内のガス条件が整っていないと判断し、パルスレーザ光の出力を停止させてもよい。

[0157] 次に、S1547において、ガス制御部32は、全ガス交換を行うように、レーザガス制御システム40を制御してもよい。この全ガス交換は、チャンバ10内のハロゲン分圧が、S1501において設定された目標ハロゲン分圧 P_{F2t} となるように行われてもよい。ガス圧Pは、全ガス交換の前後でほぼ同じガス圧Pとなるようにしてもよい。あるいは、全ガス交換前よりも全ガス交換後のガス圧Pを増加させることにより、パルスエネルギーの低下を抑制してもよい。

[0158] 次に、S1548において、ガス制御部32は、レーザ発振OK信号をレーザ制御部30に出力してもよい。レーザ制御部30は、レーザ発振OK信号に基づいて、チャンバ10内のガス条件が整ったと判断し、パルスレーザ光の出力を開始させてもよい。

[0159] 以上の処理により、チャンバ10内のハロゲン分圧が降下してもよい。

S1548の後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了し、

図 1 7 に示される処理に戻ってもよい。

[0160] 3. 3 その他

第 1 の実施形態においては、A r F エキシマレーザ装置の例を示したが、本開示はこれに限定されない。希ガスとして、アルゴンガスの代わりに、クリプトンガス又はキセノンガスが用いられてもよい。ハロゲンガスとして、フッ素ガスの代わりに、塩素ガスが用いられてもよい。ネオンガスの代わりに、ヘリウムガスが用いられてもよい。

[0161] 第 1 の実施形態においては、レーザ制御部 3 0 の他に解析制御部 3 3 が設けられる場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。解析制御部 3 3 の機能をレーザ制御部 3 0 に持たせてもよい。また、第 1 の実施形態においては、レーザ制御部 3 0 の他にガス制御部 3 2 が設けられる場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。ガス制御部 3 2 の機能をレーザ制御部 3 0 に持たせてもよい。

[0162] 第 1 の実施形態においては、エキシマレーザ装置が、1 つのチャンバ 1 0 を含むレーザ発振器である場合について説明したが、本開示はこれに限定されない。別の 1 つ又は複数のチャンバを含む増幅器をさらに備えたエキシマレーザ装置であってもよい。

[0163] 3. 4 作用

第 1 の実施形態によれば、エキシマレーザ装置は、エネルギーディップを検出して、この検出結果に基づいて、チャンバ内のハロゲンガス分圧を調整してもよい。ハロゲンガス分圧を低減することにより、エネルギーディップの発生を抑制してもよい。これにより、チャンバの寿命を長くすることができる。従って、チャンバの交換のためにパルスレーザ光の出力を停止することをしばらく回避し、半導体工場における生産スケジュールへの影響を抑制し得る。

[0164] ハロゲンガス分圧を低減した場合には、出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーが低下することがあり得る。従って、所望のパルスエネルギーを達成するためには、充電電圧 V を高くするか、チャンバ内のガス圧 P を高

くする必要が生じる場合があり得る。そのような場合でも、エネルギーディップの発生を抑制し得るので、チャンバの寿命を長くすることができる。

[0165] 4. ファンの回転数を低くしてエネルギーディップを検出するエキシマレーザ装置

4. 1 構成

図20は、本開示の第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。第2の実施形態において、エキシマレーザ装置は、回転数調節部31と、シャッタ18と、を含んでいてもよい。

[0166] 回転数調節部31は、モータ22に接続され、クロスフローファン21の回転数を調節するように構成されてもよい。回転数調節部31は、レーザ制御部30に接続され、レーザ制御部30によって制御されてもよい。モータ22が交流モータである場合、回転数調節部31は、インバータであってもよい。モータ22が直流モータである場合、回転数調節部31は、電圧可変器であってもよい。

[0167] シャッタ18は、エネルギーモニタ17と露光装置100との間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。シャッタ18は、アクチュエータ18aを含んでもよい。アクチュエータ18aは、シャッタ18によってパルスレーザ光を遮断するか、パルスレーザ光を露光装置100に向けて出力するかを切替え可能に構成されてもよい。アクチュエータ18aは、レーザ制御部30によって制御されてもよい。

他の点については、図9を参照しながら説明した第1の実施形態と同様の構成であってもよい。

[0168] 4. 2 動作

第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置において、レーザ制御部30の処理は、図2及び図6を参照しながら説明した比較例と同様でよい。

第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置において、解析制御部33及びガス制御部32の処理は、以下に説明する点を除き、図10～図19を参照しながら説明した第1の実施形態と同様でよい。

[0169] 4. 2. 1 エネルギーディップ改善制御

図 2 1 は、第 2 の実施形態におけるエネルギーディップ改善制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図 2 1 に示される処理は、図 1 5 に示される S 1 5 0 0 のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0170] まず、S 1 5 1 1 において、ガス制御部 3 2 は、レーザ発振 N G 信号をレーザ制御部 3 0 に出力してもよい。レーザ制御部 3 0 は、レーザ発振 N G 信号に基づいて、チャンバ 1 0 内のガス条件が整っていないと判断し、パルスレーザ光の出力を停止させてもよい。また、レーザ制御部 3 0 は、露光装置制御部 1 1 0 に露光 N G の信号を送信してもよい。

[0171] 次に、S 1 5 1 2 において、ガス制御部 3 2 は、シャッタ 1 8 を閉めるようにレーザ制御部 3 0 に信号を送信してもよい。レーザ制御部 3 0 は、この信号を受信すると、シャッタ 1 8 を閉めるように、アクチュエータ 1 8 a に制御信号を送信してもよい。

[0172] 次に、S 1 5 1 3 において、ガス制御部 3 2 は、目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ を最大値 $P F 2 m a x$ に設定してもよい。

[0173] 次に、S 1 5 1 4 において、ガス制御部 3 2 は、全ガス交換を行うように、レーザガス制御システム 4 0 を制御してもよい。この全ガス交換は、チャンバ 1 0 内のハロゲン分圧が、S 1 5 1 3 において設定された目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ となるように行われてもよい。

[0174] 次に、S 1 5 1 5 において、ガス制御部 3 2 は、レーザ制御部 3 0 を介して、クロスフローファン 2 1 の回転数 $R c f f$ を最大値 $R c f f m a x$ に設定してもよい。

さらに、ガス制御部 3 2 は、レーザ制御部 3 0 を介して、所定の繰り返し周波数でのレーザ発振を開始させてもよい。

[0175] 次に、S 1 5 2 0 において、ガス制御部 3 2 は、エネルギーディップ指数 $E D$ を、記憶装置から読み込んでもよい。エネルギーディップ指数 $E D$ は、図 2 4 を参照しながら後述する解析制御部 3 3 の処理によって計算されるも

のでもよい。S 1 5 2 0 の処理の詳細については、図 2 4 を参照しながら後述する。

[0176] 次に、S 1 5 3 1 において、ガス制御部 3 2 は、エネルギーディップ指数 E D が閾値より小さいか否かを判定してもよい。

S 1 5 3 1 において、エネルギーディップ指数 E D が閾値 E D t h より小さい場合 (S 1 5 3 1 ; Y E S) 、ガス制御部 3 2 は、S 1 5 3 2 に処理を進めてもよい。なお、エネルギーディップ指数 E D の代わりに、図 1 1 ~ 図 1 4 を参照しながら説明したエネルギーディップ検出回数 N d が用いられてもよい。

[0177] S 1 5 3 2 において、ガス制御部 3 2 は、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f が一定値 R c f f s より小さいか否かを判定してもよい。

S 1 5 3 2 において回転数 R c f f が一定値 R c f f s 以上である場合 (S 1 5 3 2 ; N O) 、ガス制御部 3 2 は、処理を S 1 5 3 3 に進めてもよい。

[0178] S 1 5 3 3 において、ガス制御部 3 2 は、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f を現在の値より小さい値に設定してもよい。回転数 R c f f は、以下のように設定されてもよい。

$$R c f f = R c f f - \Delta R c f f$$

$\Delta R c f f$ は、回転数 R c f f を低下させる量を示す正の数であってもよい。

S 1 5 3 3 の後、ガス制御部 3 2 は、処理を上述の S 1 5 2 0 に戻してもよい。

[0179] 上述の S 1 5 2 0 及び S 1 5 3 1 ~ S 1 5 3 3 の処理を繰り返すことにより、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f を次第に下げてもよい。クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f を下げることにより、エネルギーディップが発生しやすくなってもよい。

[0180] S 1 5 3 1 において、エネルギーディップ指数 E D が閾値 E D t h 以上となった場合 (S 1 5 3 1 ; N O) 、ガス制御部 3 2 は、S 1 5 3 4 に処理を

進めてもよい。

S 1 5 3 4 において、ガス制御部 3 2 は、目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ が閾値 $P F 2 m i n$ よりも小さいか否かを判定してもよい。

S 1 5 3 4 において目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ が閾値 $P F 2 m i n$ 以上である場合 (S 1 5 3 4 ; N O)、ガス制御部 3 2 は、処理を S 1 5 3 5 に進めてもよい。

[0181] S 1 5 3 5 において、ガス制御部 3 2 は、目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ の値を現在の値より小さくしてもよい。目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ は、以下のよう

$$P F 2 t = P F 2 t - \Delta P s$$

$\Delta P s$ は、目標ハロゲン分圧 $P F 2 t$ を低下させる量を示す正の数であってもよい。

[0182] 次に、S 1 5 4 0 において、ガス制御部 3 2 は、ハロゲン分圧の降下制御を行ってもよい。この処理の詳細については、図 1 8 及び図 1 9 を参照しながら説明したものと同様でよい。

S 1 5 4 0 の後、ガス制御部 3 2 は、処理を上述の S 1 5 2 0 に戻してもよい。

[0183] S 1 5 3 4、S 1 5 3 5 及び S 1 5 4 0 の処理を、エネルギーディップ指数 $E D$ が閾値 $E D t h$ 以上の場合に実行することにより、チャンバ 1 0 内のハロゲン分圧を低下させ得る。これにより、エネルギーディップを改善し得る。

S 1 5 3 4、S 1 5 3 5 及び S 1 5 4 0 の処理によりチャンバ 1 0 内のハロゲン分圧を低下させた後、S 1 5 2 0 及び S 1 5 3 1 ~ S 1 5 3 3 の処理を行うことにより、さらにクロスフローファン 2 1 の回転数 $R c f f$ を下げてもよい。回転数 $R c f f$ を一定値 $R c f f s$ 未満まで下げても、エネルギーディップ指数 $E D$ が閾値より小さい状態となるまで、ハロゲン分圧を降下させるようにしてもよい。

[0184] S 1 5 3 2 において回転数 $R c f f$ が一定値 $R c f f s$ より小さい場合 (

S 1 5 3 2 ; Y E S) 、ガス制御部 3 2 は、処理を S 1 5 5 2 に進めてもよい。

S 1 5 5 2 において、ガス制御部 3 2 は、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f をもとの値 R c f f 0 に設定してもよい。もとの値 R c f f 0 は、露光装置 1 0 0 にパルスレーザ光を出力していたときの回転数の値であってもよい。もとの値 R c f f 0 は、S 1 5 3 2 における判定に用いられた一定値 R c f f s よりも大きい値であってもよい。

さらに、ガス制御部 3 2 は、レーザ制御部 3 0 を介して、レーザ発振を停止させてもよい。

[0185] 次に、S 1 5 5 3 において、ガス制御部 3 2 は、シャッタ 1 8 を開けるようにレーザ制御部 3 0 に信号を送信してもよい。レーザ制御部 3 0 は、この信号を受信すると、シャッタ 1 8 を開けるように、アクチュエータ 1 8 a に制御信号を送信してもよい。

[0186] 次に、S 1 5 5 4 において、ガス制御部 3 2 は、レーザ発振 O K 信号をレーザ制御部 3 0 に出力してもよい。レーザ制御部 3 0 は、レーザ発振 O K 信号に基づいて、チャンバ 1 0 内のガス条件が整ったと判断し、露光装置制御部 1 1 0 に露光 O K 信号を出力してもよい。そして、レーザ制御部は、露光装置制御部 1 1 0 からの発光トリガ信号によって、パルスレーザ光の出力を開始させてもよい。

S 1 5 5 4 の後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了して、図 1 5 に示される処理に戻ってもよい。

[0187] 上述の S 1 5 3 4 において、目標ハロゲン分圧 P F 2 t が閾値 P F 2 m i n より小さい場合 (S 1 5 3 4 ; Y E S) 、ガス制御部 3 2 は、これ以上ハロゲン分圧を下げられないと判断し、処理を S 1 5 5 5 に進めてもよい。

S 1 5 5 5 において、ガス制御部 3 2 は、チャンバ交換フラグ F c h の値を、要交換を示す値 1 に設定してもよい。その後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了して、図 1 5 に示される処理に戻ってもよい。チャンバ交換フラグ F c h の値が、S 1 6 0 0 で用いられてもよい。

[0188] 4. 2. 1. 2 エネルギーディップ指数EDの計算

図22は、第2の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理を示すフローチャートである。解析制御部33は、以下の処理により、エネルギーディップ指数EDの計算を行ってもよい。

[0189] まず、S261において、解析制御部33は、レーザ制御部30から目標パルスエネルギー E_t のデータを受信し、この目標パルスエネルギー E_t を読み込んでもよい。

次に、S262において、解析制御部33は、パルス数 N の値を初期値1に設定してもよい。

[0190] 次に、S263において、解析制御部33は、トリガ信号が入力されたか否かを判定してもよい。トリガ信号が入力されない場合（S263；NO）、解析制御部33は、トリガ信号が入力されるまで待機してもよい。トリガ信号が入力された場合（S263；YES）、解析制御部33は、処理をS264に進めてもよい。

[0191] S264において、解析制御部33は、エネルギーモニタ17の出力に基づいてパルスエネルギー E を計測し、 N 番目のパルスエネルギー $E(N)$ として記憶装置に記憶させてもよい。

[0192] 次に、S265において、解析制御部33は、パルス数 N が所定値 N_{max} に達したか否かを判定してもよい。パルス数 N が所定値 N_{max} に達していない場合（S265；NO）、解析制御部33は、S266においてパルス数 N の値に1を加えて N の値を更新してもよい。その後、解析制御部33は、処理を上述のS263に戻してもよい。パルス数 N が所定値 N_{max} に達した場合（S265；YES）、解析制御部33は、処理をS267に進めてもよい。

[0193] S267において、解析制御部33は、以下の式により、エネルギーディップ指数EDを計算してもよい。

[数2]

$$ED = \sum_{E=0}^{E_{av}-3\sigma} [N(E) \cdot (E_t - 3\sigma - E)]$$

S 2 6 7 の後、解析制御部 3 3 は、本フローチャートの処理を終了してもよい。

[0194] 図 2 3 は、図 2 2 に示されるエネルギーディップ指数 E D の計算式を説明する図である。図 2 3 において、横軸はパルスエネルギー E を示し、縦軸はそれぞれのパルスエネルギー E の頻度すなわち出現回数を示してもよい。図 2 を参照しながら説明したように、パルスエネルギー E は目標パルスエネルギー E t に近づくように制御されており、図 2 3 に示されるパルスエネルギー E の分布は、目標パルスエネルギー E t の近傍に急峻なピークを有していてもよい。パルスエネルギー E の平均値 E a v は、目標パルスエネルギー E t とほぼ一致していてもよい。電極の劣化が進んでいない理想的な場合には、パルスエネルギー E の分布はほぼ正規分布となってもよい。その場合、目標パルスエネルギー E t からのずれが $\pm 3 \sigma$ 以下である範囲にパルスエネルギー E が含まれる確率は、約 99.73% であってもよい。 σ は、パルスエネルギー E の標準偏差でもよい。

[0195] しかしながら、電極の劣化が進んでくると、目標パルスエネルギー E t よりも大幅に低いパルスエネルギー E のパルスが出力されるエネルギーディップの発生頻度が増える場合がある。このエネルギーディップは、頻度 N (E) だけでなく、 $(E_t - 3 \sigma)$ の値とパルスエネルギー E の値との差 $(E_t - 3 \sigma - E)$ が大きい方が、より大きな問題となり得る。そこで、N (E) と $(E_t - 3 \sigma - E)$ との積を所定範囲で加算した値を、エネルギーディップ指数 E D としてもよい。所定範囲とは、例えば $E = 0$ から、 $E = E_{av} - 3 \sigma$ までの範囲であってもよい。

[0196] 4. 2. 1. 3 エネルギーディップ指数 E D の読み込み

図 2 4 は、図 2 1 に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理を示

すフローチャートである。図 2 4 に示される処理は、図 2 1 に示される S 1 5 2 0 のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0197] まず、S 1 5 2 1 において、ガス制御部 3 2 は、解析制御部 3 3 に、エネルギーディップ指数 E D の計算指令信号を出力してもよい。解析制御部 3 3 は、図 2 2 及び図 2 3 を参照しながら説明した手順により、エネルギーディップ指数 E D を算出してもよい。

[0198] 次に、S 1 5 2 2 において、ガス制御部 3 2 は、解析制御部 3 3 からエネルギーディップ指数 E D のデータを受信したか否かを判定してもよい。エネルギーディップ指数 E D のデータを受信していない場合、受信するまで待機してもよい。エネルギーディップ指数 E D のデータを受信した場合、ガス制御部 3 2 は、処理を S 1 5 2 3 に進めてもよい。

[0199] S 1 5 2 3 において、ガス制御部 3 2 は、受信したエネルギーディップ指数 E D を記憶装置に記憶させてもよい。

S 1 5 2 3 の後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了し、図 2 1 に示される処理に戻ってもよい。

[0200] 4. 3 作用

[0201] 図 2 5 は、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f とエネルギーディップ指数 E D との関係を示す。図 2 5 においては、チャンバ 1 0 に含まれる一対の放電電極 1 1 a 及び 1 1 b の劣化状態は一定とし、回転数 R c f f とハロゲン分圧とをそれぞれ複数設定した場合のエネルギーディップ指数 E D を示している。

[0202] 図 2 5 に示されるように、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f が高い場合には、エネルギーディップ指数 E D は低い傾向にある。従って、露光装置 1 0 0 にパルスレーザ光を出力する場合において、クロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f の最適値は、図 2 5 の中央よりも右側部分に存在し得る。露光装置 1 0 0 にパルスレーザ光を出力する場合におけるクロスフローファン 2 1 の回転数 R c f f の最適値は、4 0 0 0 r p m ~ 5 0 0 0 r p m の範囲であってもよい。

[0203] 一方で、クロスフローファン21の回転数R c f fを低くした場合には、エネルギーディップ指数E Dが高くなりやすい傾向にある。この傾向を利用して、第2の実施形態においては回転数R c f fを低くしてエネルギーディップ指数E Dを計測しているので、電極の劣化状態を短時間で把握し得る。

[0204] また、図25に示されるように、回転数R c f fが同等であっても、ハロゲン分圧が大きい場合にはエネルギーディップ指数E Dが大きく、ハロゲン分圧が小さい場合にはエネルギーディップ指数E Dが小さいことがあり得る。従って、ハロゲン分圧をあまり低減しなくてもエネルギーディップを抑制できる場合と、ハロゲン分圧をかなり低減しないとエネルギーディップを抑制できない場合とがあり得る。第2の実施形態によれば、ハロゲン分圧を少しずつ降下させながら、エネルギーディップ指数E Dを抑制できるか否かを判断しているので、ハロゲン分圧を必要以上に降下させてしまうことを回避し得る。

[0205] 5. レーザ発振器とレーザ増幅器とを含むエキシマレーザ装置

5. 1 構成

図26は、本開示の第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置の構成を概略的に示す。第3の実施形態において、エキシマレーザ装置は、レーザ発振器とレーザ増幅器とを含んでもよい。

[0206] 5. 1. 1 レーザ発振器

レーザ発振器は、チャンバ10m oと、充電器12m oと、パルスパワーモジュール13m oと、狭帯域化モジュール14m oと、出力結合ミラー15m oと、チャンバ圧力センサ16m oと、エネルギーモニタ17m oと、クロスフローファン21m oと、モータ22m oと、を含んでもよい。第3の実施形態におけるレーザ発振器の構成要素は、第1の実施形態において対応する構成要素の符号の末尾に「m o」を付して図26に示されている。第3の実施形態におけるレーザ発振器の構成は、第1の実施形態のレーザ発振システムにおいて対応する構成と同様でよく、それらの詳細な説明を省略する。以下の説明において、レーザ発振器を「MO」と略称する。また、MO

の光共振器を第１の光共振器と記載する。

[0207] ５．１．２ レーザ増幅器

レーザ増幅器は、チャンバ１０ｐと、充電器１２ｐと、パルスパワーモジュール１３ｐと、出力結合ミラー１５ｐと、チャンバ圧力センサ１６ｐと、エネルギーモニタ１７ｐと、クロスフローファン２１ｐと、モータ２２ｐと、部分反射ミラー１９ｐと、を含んでもよい。第３の実施形態におけるレーザ増幅器の構成要素は、第１の実施形態のレーザ発振システムにおいて対応する構成要素の符号の末尾に「ｐ」を付して図２６に示されている。第３の実施形態におけるレーザ増幅器の構成は、第１の実施形態のレーザ発振システムにおいて対応する構成と同様でよく、それらの詳細な説明を省略する。以下の説明において、レーザ増幅器を「ＰＯ」と略称する。

[0208] チャンバ１０ｍとチャンバ１０ｐとの間のパルスレーザ光の光路に、高反射ミラー２３ａ及び２３ｂが配置されてもよい。

[0209] ＭＯが狭帯域化モジュール１４ｍを含むのとは異なり、ＰＯは部分反射ミラー１９ｐを含んでもよい。部分反射ミラー１９ｐは、高反射ミラー２３ｂとチャンバ１０ｐとの間のパルスレーザ光の光路に配置されてもよい。部分反射ミラー１９ｐは、チャンバ１０ｍから出力されたパルスレーザ光の少なくとも一部を透過させてチャンバ１０ｐの内部に入射させてもよい。チャンバ１０ｐの内部に入射したパルスレーザ光は、第２の光共振器である出力結合ミラー１５ｐと部分反射ミラー１９ｐとの間で往復し、チャンバ１０ｐの内部に配置された一対の放電電極１１ａ及び１１ｂ間の放電空間を通過する度に増幅されることによって増幅発振し得る。こうして増幅されたパルスレーザ光が、出力結合ミラー１５ｐから出力されてもよい。

[0210] 出力結合ミラー１５ｐから出力されてエネルギーモニタ１７ｐを通過したパルスレーザ光の光路に、シャッタ１８が配置されてもよい。シャッタ１８は第２の実施形態において説明したものと同様でよい。

[0211] レーザ制御部 30 は、パルスパワーモジュール 13 mo とパルスパワーモジュール 13 po とにそれぞれ第 1 及び第 2 のトリガ信号を送信してもよい。MO の第 1 の光共振器で発振して出力されたパルスレーザ光が PO の第 2 の光共振器中に注入されるタイミングと、一対の放電電極 11 apo 及び 11 bpo 間で放電が起こるタイミングとが略一致するように、これらの第 1 及び第 2 のトリガ信号の出力タイミングが制御される。

本明細書では、MO の第 1 の光共振器から出力されたパルスレーザ光が PO の第 2 の光共振器に注入されて増幅発振させる同期を注入同期と定義する。

[0212] 5. 1. 3 配管

配管 29 は、配管 29 a と配管 29 b とに分岐していてもよい。配管 29 a は、チャンバ 10 mo に接続されてもよい。配管 29 b は、チャンバ 10 po に接続されてもよい。配管 29 a に、バルブ BF2-V1 が設けられてもよい。配管 29 b に、バルブ BF2-V2 が設けられてもよい。

[0213] 配管 26 は、配管 26 a と配管 26 b とに分岐していてもよい。配管 26 a は、チャンバ 10 mo に接続されてもよい。配管 26 b は、チャンバ 10 po に接続されてもよい。配管 26 a に、バルブ EX-V1 が設けられてもよい。配管 26 b に、バルブ EX-V2 が設けられてもよい。

[0214] この構成において、バルブ B-V を開けた状態で、バルブ BF2-V1 を開けると、チャンバ 10 mo 内にバッファガスが注入され得る。バルブ B-V を開けた状態で、バルブ BF2-V2 を開けると、チャンバ 10 po 内にバッファガスが注入され得る。

[0215] バルブ F2-V を開けた状態で、バルブ BF2-V1 を開けると、チャンバ 10 mo 内にハロゲン含有ガスが注入され得る。バルブ F2-V を開けた状態で、バルブ BF2-V2 を開けると、チャンバ 10 po 内にハロゲン含有ガスが注入され得る。

[0216] バルブ EX-V を開けた状態で、バルブ EX-V1 を開けると、チャンバ 10 mo 内のレーザガスの一部が排気され得る。バルブ EX-V を開けた状

態で、バルブE X - V 2を開けると、チャンバ1 0 p o内のレーザガスの一部が排気され得る。

他の点については、第1の実施形態の構成と同様でよい。

[0217] 5. 2 動作

5. 2. 1 エネルギーディップを検出する処理の第1の例

図27は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理の第1の例を示すフローチャートである。解析制御部33は、以下の処理により、MOのエネルギーディップの検出と、POのエネルギーディップの検出とをそれぞれ行ってもよい。

[0218] まず、S100eにおいて、解析制御部33は、MOのエネルギーディップフラグF m o dとPOのエネルギーディップフラグF p o dとをそれぞれ0にリセットしてもよい。

[0219] 次に、S110において、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dをリセット及びスタートしてもよい。MOのエネルギーディップを計測するための計測時間と、POのエネルギーディップを計測するための計測時間とは同じでもよい。S110の後、解析制御部33は、S160e m oとS160e p oとの両方を並列的に実行してもよい。

[0220] S160e m oにおいて、解析制御部33は、MOのエネルギーディップ検出回数N m o dをカウントする処理を実行してもよい。エネルギーディップ検出回数N m o dをカウントする処理の一例については、図28を参照しながら後述する。

S160e p oにおいて、解析制御部33は、POのエネルギーディップ検出回数N p o dをカウントする処理を実行してもよい。エネルギーディップ検出回数N p o dをカウントする処理の一例については、図29を参照しながら後述する。

S160e m oとS160e p oの後、解析制御部33は、S180に処理を進めてもよい。

[0221] S180において、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を

示すタイマーT dの値が所定値K d以上となったか否かを判定してもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K dに達していない場合（S 1 8 0 ; N O）、解析制御部3 3は、処理を上述のS 1 6 0 e m oとS 1 6 0 e p oに戻してもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K d以上となった場合（S 1 8 0 ; Y E S）、解析制御部3 3は、処理をS 1 9 0 eに進めてもよい。

[0222] S 1 9 0 eにおいて、解析制御部3 3は、MOのエネルギーディップ検出回数N m o d及びPOのエネルギーディップ検出回数N p o dを、それぞれの所定値と比較してもよい。さらに解析制御部3 3は、比較結果に基づいて、MOのエネルギーディップフラグF m o dとPOのエネルギーディップフラグF p o dを設定してもよい。S 1 9 0 eの処理の詳細については、図3 0を参照しながら後述する。

[0223] 次に、S 2 0 0 eにおいて、解析制御部3 3は、MOのエネルギーディップフラグF m o dとPOのエネルギーディップフラグF p o dとがリセットされたか否かを判定してもよい。これらのエネルギーディップフラグがリセットされていない場合（S 2 0 0 e ; N O）、これらのエネルギーディップフラグがリセットされるまで待機してもよい。これらのエネルギーディップフラグがリセットされた場合（S 2 0 0 e ; Y E S）、解析制御部3 3は、処理を上述のS 1 1 0に戻してもよい。例えば、後述の図3 4及び図3 5に示されるガス制御部の処理においてエネルギーディップ改善制御が行われた場合には、エネルギーディップフラグがリセットされてもよい。

[0224] 5. 2. 1. 1 エネルギーディップ検出回数をカウントする処理の例

図2 8は、図2 7に示されるMOのエネルギーディップ検出回数N m o dをカウントする処理の例を示すフローチャートである。図2 8に示される処理は、図2 7に示されるS 1 6 0 e m oのサブルーチンとして、解析制御部3 3によって行われてもよい。

[0225] 図2 8に示される処理は、ステップ番号の末尾を「a」の代わりに「e m o」とし、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図1 1を参

照しながら説明した第1の実施形態と同様である。本開示において、「mo」を付加された数量を示す符号は、MOに関する数量であって、第1又は第2の実施形態において「mo」を付加されていない符号に対応する数量を意味する。

[0226] すなわち、図28において、解析制御部33は、エネルギーモニタ17moの出力に基づいて計測されるMOのパルスエネルギーEmoと、MOの目標パルスエネルギーEmotとの比Rmoを、所定値Rmotと比較してもよい。解析制御部33は、この比較結果に基づいて、MOのエネルギーディップを検出し、検出回数Nmодをカウントしてもよい。

[0227] なお、MOの目標パルスエネルギーEmotは、POが飽和するパルスエネルギー付近の値に設定されてもよい。POが飽和するパルスエネルギーとは、POに入射させてもPOがそれ以上に増幅しないようなパルスレーザ光のパルスエネルギーを意味する。所定値Rmotは、0.1～0.5の範囲の定数であってもよい。

[0228] 図29は、図27に示されるPOのエネルギーディップ検出回数Npodをカウントする処理の例を示すフローチャートである。図29に示される処理は、図27に示されるS160epoのサブルーチンとして、解析制御部33によって行われてもよい。

[0229] 図29に示される処理は、ステップ番号の末尾を「a」の代わりに「epo」とし、数量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した他は、図11を参照しながら説明した第1の実施形態と同様である。本開示において、「po」を付加された数量を示す符号は、POに関する数量であって、第1又は第2の実施形態において「po」を付加されていない符号に対応する数量を意味する。

[0230] すなわち、図29において、解析制御部33は、エネルギーモニタ17poの出力に基づいて計測されるPOのパルスエネルギーEpoと、POの目標パルスエネルギーEpotとの比Rpoを、所定値Rpotと比較してもよい。解析制御部33は、この比較結果に基づいて、POのエネルギーディ

ップを検出し、検出回数 N_{pod} をカウントしてもよい。

[0231] なお、所定値 R_{pot} は、以下のように設定されてもよい。

$$R_{pot} = \alpha \cdot E_{fr} / E_{pot}$$

ここで、 α は、0.1～0.5の範囲の定数であってもよい。 E_{fr} は、MOを発振させずに、POだけを発振させる場合にPOから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーであってもよい。 E_{pot} は、露光装置100によって指定された目標パルスエネルギーであってもよい。

POが正常であっても、POから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーはMOから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーに依存し得る。しかし、所定値 R_{pot} をこのように設定しておけば、MOのエネルギーディップ発生時にPOから出力されるパルスレーザ光のパルスエネルギーが低下しても、POに起因するエネルギーディップとしてカウントされにくくなり得る。

[0232] あるいは、所定値 R_{pot} は、以下のように設定されてもよい。

$$R_{pot} = \alpha$$

所定値 R_{pot} をこのように設定した場合は、POのエネルギーディップだけを監視すれば、MOとPOのいずれかに異常が生じたことを検出し得る。

[0233] ここでは、エネルギーディップ検出回数をカウントする処理の例として、図11と同様の処理をMOとPOとの両方について行う場合を示したが、本開示はこれに限定されない。図12～図14と同様の処理を行ってもよい。

[0234] 5. 2. 1. 2 エネルギーディップフラグを設定する処理の例

図30は、図27に示されるエネルギーディップフラグを設定する処理の例を示すフローチャートである。図30に示される処理は、図27に示されるS190eのサブルーチンとして、解析制御部33によって行われてもよい。以下に説明するように、解析制御部33は、MOのエネルギーディップ検出回数 N_{mod} を所定値 N_{modmax} と比較し、POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} を所定値 N_{podmax} と比較してもよい。解析制御部

33は、この比較結果に基づいて、MOのエネルギーディップフラグ F_{mod} とPOのエネルギーディップフラグ F_{pod} を設定してもよい。MOのエネルギーディップ検出回数 N_{mod} は、本開示における第1の頻度に相当し、POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} は、本開示における第2の頻度に相当し得る。図30における所定値 N_{modmax} は、本開示における第1の所定値に相当し、図30における所定値 N_{podmax} は、本開示における第2の所定値に相当し得る。

[0235] $N_{mod} < N_{modmax}$ 、且つ、 $N_{pod} < N_{podmax}$ の場合 (S191e; YES)、解析制御部33は、 $F_{mod} = 0$ 、 $F_{pod} = 0$ に設定してもよい (S192e)。

$N_{mod} \geq N_{modmax}$ 、且つ、 $N_{pod} < N_{podmax}$ の場合 (S193e; YES)、解析制御部33は、 $F_{mod} = 1$ 、 $F_{pod} = 0$ に設定してもよい (S194e)。

$N_{mod} < N_{modmax}$ 、且つ、 $N_{pod} \geq N_{podmax}$ の場合 (S195e; YES)、解析制御部33は、 $F_{mod} = 0$ 、 $F_{pod} = 1$ に設定してもよい (S196e)。

$N_{mod} \geq N_{modmax}$ 、且つ、 $N_{pod} \geq N_{podmax}$ の場合 (S197e; YES)、解析制御部33は、 $F_{mod} = 1$ 、 $F_{pod} = 1$ に設定してもよい (S198e)。

[0236] MOのエネルギーディップフラグ F_{mod} とPOのエネルギーディップフラグ F_{pod} を設定したら、解析制御部33は、本フローチャートの処理を終了し、図27に示される処理に戻ってもよい。

[0237] 5. 2. 2 エネルギーディップを検出する処理の第2の例

図31は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置における解析制御部33の処理の第2の例を示すフローチャートである。解析制御部33は、以下の処理により、MOのエネルギーディップの検出と、POのエネルギーディップの検出とをそれぞれ行ってもよい。

[0238] まず、S100eにおいて、解析制御部33は、MOのエネルギーディッ

プフラグF m o dとP OのエネルギーディップフラグF p o dとをそれぞれ0にリセットしてもよい。以下に説明するように、S 1 0 0 eの後、解析制御部33は、最初にP Oのエネルギーディップを計測してもよい。その後、解析制御部33は、P Oのエネルギーディップ検出回数が所定値以上であった場合に、M Oのエネルギーディップを計測してもよい。

[0239] S 1 0 0 eの後、S 1 1 0 f p oにおいて、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dをリセット及びスタートしてもよい。M Oのエネルギーディップを計測するための計測時間と、P Oのエネルギーディップを計測するための計測時間とは同じでもよい。

[0240] 次に、S 1 6 0 f p oにおいて、解析制御部33は、P Oのエネルギーディップ検出回数N p o dをカウントする処理を実行してもよい。エネルギーディップ検出回数N p o dをカウントする処理は、図27に示されたものと同様でよい。

[0241] 次に、S 1 8 0 f p oにおいて、解析制御部33は、エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K d以上となったか否かを判定してもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K dに達していない場合（S 1 8 0 f p o ; N O）、解析制御部33は、処理を上述のS 1 6 0 f p oに戻してもよい。エネルギーディップの計測時間を示すタイマーT dの値が所定値K d以上となった場合（S 1 8 0 f p o ; Y E S）、解析制御部33は、処理をS 1 7 0 f p oに進めてもよい。

[0242] S 1 7 0 f p oにおいて、解析制御部33は、P Oのエネルギーディップ検出回数N p o dが所定値N p o d m a x未満か否かを判定してもよい。図31における所定値N p o d m a xは、本開示における第3の所定値に相当し得る。

[0243] P Oのエネルギーディップ検出回数N p o dが所定値N p o d m a x未満である場合（S 1 7 0 f p o ; Y E S）、解析制御部33は、S 1 7 5 f p oにおいて、M OのエネルギーディップフラグF m o dとP OのエネルギーディップフラグF p o dとの両方を0に設定してもよい。これは、P Oのエ

エネルギーが正常であれば、MOとPOのいずれもが正常であると判断できるからである。S175fpoの後、解析制御部33は、処理をS110fpoに戻してもよい。

[0244] POのエネルギーディップ検出回数Npodが所定値Npodmax以上である場合（S170fpo；NO）、解析制御部33は、処理をS110fmoに進めてもよい。

[0245] S110fmoからS170fmoまでの処理においては、MOのエネルギーディップが検出されてもよい。この点で、POのエネルギーディップが検出される上述のS110fpoからS170fpoまでの処理と異なってもよい。他の点については、S110fmoからS170fmoまでの処理は、上述のS110fpoからS170fpoまでの処理と同様でよい。

[0246] MOのエネルギーディップ検出回数Nmodが所定値Nmodmax未満である場合（S170fmo；YES）、解析制御部33は、S175fmoにおいて、MOのエネルギーディップフラグFmodを0に設定し、POのエネルギーディップフラグFpodを1に設定してもよい。POのエネルギーディップフラグFpodを1に設定するのは、MOのエネルギーが正常であるのに、上述のS170fpoにおいてPOのエネルギーディップ検出回数Npodが所定値Npodmax以上だったからである。この場合は、図35を参照しながら後述するように、POのエネルギーディップを改善する処理が行われてもよい。図31における所定値Nmodmaxは、本開示における第4の所定値に相当し得る。

[0247] MOのエネルギーディップ検出回数Nmodが所定値Nmodmax以上である場合（S170fmo；NO）、解析制御部33は、S176fmoにおいて、MOのエネルギーディップフラグFmodを1に設定してもよい。この場合は、POに異常があるのか否かは判断できないので、図34を参照しながら後述するように、まずはMOのエネルギーディップを改善する処理が行われてもよい。

[0248] S175fmoの後、解析制御部33は、S201fmoに処理を進めて

もよい。S 1 7 6 f m oの後、解析制御部 3 3は、S 2 0 2 f m oに処理を進めてもよい。

[0249] S 2 0 1 f m oにおいて、解析制御部 3 3は、P OのエネルギーディップフラグF p o dがリセットされたか否かを判定してもよい。P OのエネルギーディップフラグF p o dがリセットされていない場合（S 2 0 1 f m o ; N O）、P OのエネルギーディップフラグF p o dがリセットされるまで待機してもよい。P OのエネルギーディップフラグF p o dがリセットされた場合（S 2 0 1 f m o ; Y E S）、解析制御部 3 3は、処理を上述のS 1 1 0 f p oに戻してもよい。

S 2 0 2 f m oにおいて、解析制御部 3 3は、M OのエネルギーディップフラグF m o dがリセットされたか否かを判定してもよい。M OのエネルギーディップフラグF m o dがリセットされていない場合（S 2 0 2 f m o ; N O）、M OのエネルギーディップフラグF m o dがリセットされるまで待機してもよい。M OのエネルギーディップフラグF m o dがリセットされた場合（S 2 0 2 f m o ; Y E S）、解析制御部 3 3は、処理を上述のS 1 1 0 f p oに戻してもよい。

たとえば、M O及びP Oの両方のチャンバでエネルギーディップが発生した場合は、最初に、S 1 1 0 f p o～S 1 8 0 f m oのステップを通過し、S 1 7 0 f m oでN Oと判定されて、ステップS 1 7 6 f m oに移行する。そしてM OのエネルギーディップフラグF m o d = 1に設定される。その後、S 2 0 2 f m oで、M Oのエネルギーディップが改善されるまで、待機してもよい。M Oのエネルギーディップが改善されると、再び、S 1 1 0 f p o～S 1 8 0 f m oのステップを通過し、S 1 7 0 f m oでY E Sと判定されて、ステップS 1 7 5 f m oに移行する。そしてM OのエネルギーディップフラグF m o d = 0とP OのエネルギーディップフラグF m o d = 1に設定される。その後、S 2 0 1 f m oで、P Oのエネルギーディップが改善されるまで、待機してもよい。解析制御部 3 3が上記のような処理を行うことによって、M OとP Oの両方にエネルギーディップが発生した場合においても

、対応することができる。

[0250] 5. 2. 3 エネルギー制御

図32は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるMOのエネルギー制御を示すフローチャートである。レーザ制御部30は、以下の処理により、MOの出力パルスレーザ光のパルスエネルギーがMOの目標パルスエネルギーに近づくように制御を行ってもよい。MOの出力パルスレーザ光のパルスエネルギーは、エネルギーモニタ17moの出力に基づいて計測されてもよい。

[0251] 図32に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gm○」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「mo」を付加した他は、図2を参照しながら説明した比較例における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0252] 図33は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるPOのエネルギー制御を示すフローチャートである。レーザ制御部30は、以下の処理により、POの出力パルスレーザ光のパルスエネルギーがPOの目標パルスエネルギーに近づくように制御を行ってもよい。POの出力パルスレーザ光のパルスエネルギーは、エネルギーモニタ17poの出力に基づいて計測されてもよい。

[0253] 図33に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gp○」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した他は、図2を参照しながら説明した比較例における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0254] 5. 2. 4 エネルギーディップ改善制御を含むレーザガス制御

図34は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるMOのレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。ガス制御部32は、MOの全ガス交換、MOのガス圧制御、及び、MOの部分ガス交換を行う他に、MOのエネルギーディップ改善制御を行ってもよい。

[0255] 図34に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gm○」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「mo」を付加した他は、図15を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略す

る。

[0256] 図35は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のガス制御部32によるPOのレーザガス制御の処理を示すフローチャートである。ガス制御部32は、POの全ガス交換、POのガス圧制御、及び、POの部分ガス交換を行う他に、POのエネルギーディップ改善制御を行ってもよい。

[0257] 図35に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gpo」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した点で、図15を参照しながら説明した第1の実施形態と異なる。

[0258] さらに、図35に示される処理においては、MOのエネルギーディップフラグFmodが0で、且つ、POのエネルギーディップフラグFpodが1である場合だけ、POのエネルギーディップ改善制御が行われる（S1400gpo）。すなわち、MOのエネルギーディップフラグFmodが1である場合には、POのエネルギーディップ改善制御は行われずに、まず図34に示される処理により、MOのエネルギーディップ改善制御が行われる。MOが正常化され、且つ、POのエネルギーディップフラグFpodが1である場合に、POのエネルギーディップ改善制御が行われる。

他の点については、図15を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様でよい。

[0259] 5. 2. 4. 1 全ガス交換

図36は、図34に示されるMOの全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図36に示される処理は、図34に示されるS1100gmoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0260] 図36に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gmo」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「mo」を付加した点で、図4を参照しながら説明した比較例と異なる。

[0261] さらに、図36に示される処理においては、チャンバ10mo内にガスを注入する場合に、バルブB-V又はバルブF2-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V1も開ける（S1107gmo、S1111gmo）。この

点で、図36に示される処理は図4を参照しながら説明した比較例と異なる。また、チャンバ10mo内へのガスの注入を停止する場合に、バルブB-V及びバルブF2-Vを閉めるだけでなく、バルブBF2-V1も閉める（S1110gmo、S1114gmo）。なお、MOのガス制御においては、バルブBF2-V2を閉めておく。

[0262] さらに、図36に示される処理においては、チャンバ10mo内のガスの一部を排気する場合に、バルブEX-Vを開けるだけでなく、バルブEX-V1も開ける（S1103gmo）。この点で、図36に示される処理は図4を参照しながら説明した比較例と異なる。また、チャンバ10mo内のガスの排気を停止する場合に、バルブEX-Vを閉めるだけでなく、バルブEX-V1も閉める（S1106gmo）。なお、MOのガス制御においては、バルブEX-V2を閉めておく。

他の点については、図4を参照しながら説明した比較例における処理と同様でよい。

[0263] 図37は、図35に示されるPOの全ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図37に示される処理は、図35に示されるS1100gpoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0264] 図37に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gpo」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した点で、図4を参照しながら説明した比較例と異なる。

[0265] さらに、図37に示される処理においては、チャンバ10po内にガスを注入する場合に、バルブB-V又はバルブF2-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V2も開ける（S1107gpo、S1111gpo）。この点で、図37に示される処理は図4を参照しながら説明した比較例と異なる。また、チャンバ10po内へのガスの注入を停止する場合に、バルブB-V及びバルブF2-Vを閉めるだけでなく、バルブBF2-V2も閉める（S1110gpo、S1114gpo）。なお、POのガス制御においては、バルブBF2-V1を閉めておく。

[0266] さらに、図37に示される処理においては、チャンバ10po内のガスの一部を排気する場合に、バルブEX-Vを開けるだけでなく、バルブEX-V2も開ける(S1103gpo)。この点で、図37に示される処理は図4を参照しながら説明した比較例と異なる。また、チャンバ10po内のガスの排気を停止する場合に、バルブEX-Vを閉めるだけでなく、バルブEX-V2も閉める(S1106gpo)。なお、POのガス制御においては、バルブEX-V1を閉めておく。

他の点については、図4を参照しながら説明した比較例における処理と同様でよい。

[0267] 5. 2. 4. 2 ガス圧制御

図38は、図34に示されるMOのガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図38に示される処理は、図34に示されるS1300gmoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0268] 図38に示される処理は、図16に示されるステップ番号の末尾を「gmo」とし、数量を示す符号にそれぞれ「mo」を付加した点で、図16を参照しながら説明した第1の実施形態と異なる。

[0269] さらに、図38に示される処理においては、図16に示されるステップの他に、S1303hmoが追加されている。

[0270] S1303hmoにより、MOの部分ガス交換フラグFmopgが1である場合、又はPOの部分ガス交換フラグFpopgが1である場合には、ガス圧制御のバルブ操作が行われなくなっている。MOの部分ガス交換フラグFmopgが1である場合には、図34のS1900gmo及びS2000gmoに示されるように、MOの部分ガス交換が行われる。POの部分ガス交換フラグFpopgが1である場合には、図35のS1900gpo及びS2000gpoに示されるように、POの部分ガス交換が行われる。

[0271] また、S1303hmoにより、POのガス圧制御中である場合には、MOのガス圧制御のバルブ操作が行われなくなっている。

[0272] さらに、図38に示される処理においては、チャンバ10m内にガスを注入する場合に、バルブB-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V1も開閉する制御を行うことによってガス圧を $\Delta P m$ だけ増加させる（S1306gmo）。

[0273] さらに、図38に示される処理においては、チャンバ10m内のガスの一部を排気する場合に、バルブEX-Vを開けるだけでなく、バルブEX-V1も開閉する制御を行うことによってガス圧を $\Delta P m$ だけ減少させる（S1305gmo）。

他の点については、図16を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様でよい。

[0274] 図39は、図35に示されるPOのガス圧制御の処理の詳細を示すフローチャートである。図39に示される処理は、図35に示されるS1300gpoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0275] 図39に示される処理は、図16に示されるステップ番号の末尾を「gpo」とし、数量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した点で、図16を参照しながら説明した第1の実施形態と異なる。

[0276] さらに、図39に示される処理においては、図16に示されるステップの他に、S1303hpoが追加されている。

[0277] S1303hpoにより、MOの部分ガス交換フラグFmopgが1である場合、又はPOの部分ガス交換フラグFpopgが1である場合には、ガス圧制御のバルブ操作が行われなくなっている。

[0278] また、S1303hpoにより、MOのガス圧制御中である場合には、POのガス圧制御のバルブ操作が行われなくなっている。

[0279] さらに、図39に示される処理においては、チャンバ10po内にガスを注入する場合に、バルブB-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V2も開閉する制御を行うことにガス圧を $\Delta P po$ だけ増加させる（S1306gpo）。

[0280] さらに、図39に示される処理においては、チャンバ10po内のガスの

一部を排気する場合に、バルブE X-Vを開けるだけでなく、バルブE X-V 2も開閉する制御を行うことによってガス圧を ΔP_{po} だけ減少させる（S 1 3 0 5 g p o）。

他の点については、図16を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様でよい。

[0281] 5. 2. 4. 3 ショット数の計測

図40は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるMOのショット数 N_{mos} の計測の処理を示すフローチャートである。

[0282] 図40に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図6を参照しながら説明した比較例における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0283] 図41は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置のレーザ制御部30によるPOのショット数 N_{pos} の計測の処理を示すフローチャートである。

[0284] 図41に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した他は、図6を参照しながら説明した比較例における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0285] 5. 2. 4. 4 部分ガス交換

図42は、図34に示されるMOの部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図42に示される処理は、図34に示されるS 2 0 0 0 g m oのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

図42に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した点で、図7を参照しながら説明した比較例と異なる。

[0286] さらに、図42に示される処理においては、チャンバ10 m o内にガスを注入する場合に、バルブB-V又はバルブF 2-Vを開けるだけでなく、バルブB F 2-V 1も開閉する制御を行うことによってガス圧をそれぞれ ΔP

m o b g 又は $\Delta P m o h g$ だけ増加させる (S 2 0 0 3 g m o、S 2 0 0 5 g m o)。

[0287] さらに、図 4 2 に示される処理においては、チャンバ 1 0 m o 内のガスの一部を排気する場合に、バルブ E X - V を開けるだけでなく、バルブ E X - V 1 も開閉する制御を行うことによってガス圧を $\Delta P m o b g + \Delta P m o h g$ だけ減少させる (S 2 0 0 6 g m o)。

他の点については、図 7 を参照しながら説明した比較例における処理と同様でよい。

[0288] 図 4 3 は、図 3 5 に示される P O の部分ガス交換の処理の詳細を示すフローチャートである。図 4 3 に示される処理は、図 3 5 に示される S 2 0 0 0 g p o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

図 4 3 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した点で、図 7 を参照しながら説明した比較例と異なる。

[0289] さらに、図 4 3 に示される処理においては、チャンバ 1 0 p o 内にガスを注入する場合に、バルブ B - V 又はバルブ F 2 - V を開けるだけでなく、バルブ B F 2 - V 2 も開閉する制御を行うことによってガス圧をそれぞれ $\Delta P p o b g$ 又は $\Delta P p o h g$ だけ増加させる (S 2 0 0 3 g p o、S 2 0 0 5 g p o)。

[0290] さらに、図 4 3 に示される処理においては、チャンバ 1 0 p o 内のガスの一部を排気する場合に、バルブ E X - V を開けるだけでなく、バルブ E X - V 2 も開閉する制御を行うことによってガス圧を $\Delta P p o b g + \Delta P p o h g$ だけ減少させる (S 2 0 0 6 g p o)。

他の点については、図 7 を参照しながら説明した比較例における処理と同様でよい。

[0291] 5. 2. 4. 5 エネルギーディップ改善制御の第 1 の例

図 4 4 は、図 3 4 に示される M O のエネルギーディップ改善制御の処理の第 1 の例を示すフローチャートである。図 4 4 に示される処理は、図 3 4 に

示される S 1 5 0 0 g m o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0292] 図 4 4 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図 1 7 を参照しながら説明した第 1 の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0293] 図 4 5 は、図 3 5 に示される P O のエネルギーディップ改善制御の処理の第 1 の例を示すフローチャートである。図 4 5 に示される処理は、図 3 5 に示される S 1 5 0 0 g p o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0294] 図 4 5 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した他は、図 1 7 を参照しながら説明した第 1 の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0295] 図 4 4 及び図 4 5 に示されるエネルギーディップ改善制御の第 1 の例は、M O と P O とを注入同期して発振させながら実行されてもよい。

これに対し、次に述べる第 2 の例においては、M O のエネルギーディップ改善制御を行う場合には P O の発振を停止させ、P O のエネルギーディップ改善制御を行う場合には M O の発振を停止させる。

[0296] 5. 2. 4. 6 エネルギーディップ改善制御の第 2 の例

図 4 6 は、図 3 4 に示される M O のエネルギーディップ改善制御の処理の第 2 の例を示すフローチャートである。図 4 6 に示される処理は、図 3 4 に示される S 1 5 0 0 g m o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0297] まず、S 1 5 0 0 1 g m o において、ガス制御部 3 2 は、レーザ発振 N G 信号をレーザ制御部 3 0 に出力してもよい。

[0298] 次に、S 1 5 0 0 2 g m o において、ガス制御部 3 2 は、シャッタ 1 8 を閉めるようにアクチュエータ 1 8 a を制御してもよい。S 1 5 0 0 2 g m o

の処理は、レーザ発振NG信号を受信したレーザ制御部30が行ってもよい。

[0299] 次に、S15003gmoにおいて、ガス制御部32は、POの発振を停止させてもよい。S15003gmoの処理は、レーザ発振NG信号を受信したレーザ制御部30が行ってもよい。

[0300] その後、S1501gmoからS1540gmoまでの処理により、ガス制御部32は、MOのエネルギーディップ改善制御を行ってもよい。S1501gmoからS1540gmoまでの処理は、図44に示されたものと同様でよい。

[0301] S1540gmoの後、S1560gmoにおいて、ガス制御部32は、POとの注入同期の準備ができたことを示す信号をレーザ制御部30に出力してもよい。また、ガス制御部32は、シャッタ18を開けるようにアクチュエータ18aを制御してもよい。シャッタ18を開ける処理は、POとの注入同期の準備ができたことを示す信号を受信したレーザ制御部30が行ってもよい。

[0302] S1560gmoの後、ガス制御部32は、本フローチャートの処理を終了して、図34に示される処理に戻ってもよい。

[0303] 図47は、図35に示されるPOのエネルギーディップ改善制御の処理の第2の例を示すフローチャートである。図47に示される処理は、図35に示されるS1500gpoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0304] まず、S15001gpoにおいて、ガス制御部32は、レーザ発振NG信号をレーザ制御部30に出力してもよい。

[0305] 次に、S15002gpoにおいて、ガス制御部32は、シャッタ18を閉めるようにアクチュエータ18aを制御してもよい。S15002gpoの処理は、レーザ発振NG信号を受信したレーザ制御部30が行ってもよい。

[0306] 次に、S15003gpoにおいて、ガス制御部32は、MOの発振を停

止させてもよい。S 1 5 0 0 3 g p o の処理は、レーザ発振 N G 信号を受信したレーザ制御部 3 0 が行ってもよい。

[0307] 次に、S 1 5 0 0 4 g p o において、ガス制御部 3 2 は、P O の目標パルスエネルギー E p o t の値を、一時的にフリーランの目標パルスエネルギー E p o f r t に設定してもよい。フリーランの目標パルスエネルギー E p o f r t は、M O を発振させずに、P O だけを発振させる場合の目標パルスエネルギーであってもよい。

[0308] その後、S 1 5 0 1 g p o から S 1 5 4 0 g p o までの処理により、ガス制御部 3 2 は、P O のエネルギーディップ改善制御を行ってもよい。S 1 5 0 1 g p o から S 1 5 4 0 g p o までの処理は、図 4 5 に示されたものと同様でよい。

[0309] S 1 5 4 0 g p o の後、S 1 5 6 0 g p o において、ガス制御部 3 2 は、P O の目標パルスエネルギー E p o t の値を、目標パルスエネルギー E t に戻してもよい。目標パルスエネルギー E t は、M O と P O とを注入同期させる場合の目標パルスエネルギーであってもよい。また、S 1 5 6 0 g p o において、ガス制御部 3 2 は、M O との注入同期の準備ができたことを示す信号をレーザ制御部 3 0 に出力してもよい。また、ガス制御部 3 2 は、シャッタ 1 8 を開けるようにアクチュエータ 1 8 a を制御してもよい。シャッタ 1 8 を開ける処理は、M O との注入同期の準備ができたことを示す信号を受信したレーザ制御部 3 0 が行ってもよい。

[0310] S 1 5 6 0 g p o の後、ガス制御部 3 2 は、本フローチャートの処理を終了して、図 3 5 に示される処理に戻ってもよい。

[0311] 5. 2. 4. 7 ハロゲン分圧降下制御の例

図 4 8 は、図 4 4 及び図 4 6 に示されるハロゲン分圧降下制御の例を示すフローチャートである。図 4 8 に示される処理は、図 4 4 及び図 4 6 に示される S 1 5 4 0 g m o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0312] 図 4 8 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数

量を示す符号にそれぞれ「mo」を付加した点で、図18を参照しながら説明した第1の実施形態と異なる。

[0313] さらに、図48に示される処理においては、チャンバ10mo内にガスを注入する場合に、バルブB-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V1も開ける(S1544gmo、S1545gmo)。

[0314] さらに、図48に示される処理においては、チャンバ10mo内のガスの一部を排気する場合に、バルブEX-Vを開けるだけでなく、バルブEX-V1も開ける(S1543gmo)。

他の点については、図18を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様でよい。

[0315] 図49は、図45及び図47に示されるハロゲン分圧降下制御の例を示すフローチャートである。図49に示される処理は、図45及び図47に示されるS1540gpoのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0316] 図49に示される処理は、ステップ番号の末尾に「gpo」を付加し、量を示す符号にそれぞれ「po」を付加した点で、図18を参照しながら説明した第1の実施形態と異なる。

[0317] さらに、図49に示される処理においては、チャンバ10po内にガスを注入する場合に、バルブB-Vを開けるだけでなく、バルブBF2-V2も開ける(S1544gpo、S1545gpo)。

[0318] さらに、図49に示される処理においては、チャンバ10po内のガスの一部を排気する場合に、バルブEX-Vを開けるだけでなく、バルブEX-V2も開ける(S1543gpo)。

他の点については、図18を参照しながら説明した第1の実施形態における処理と同様でよい。

[0319] 5. 2. 4. 8 エネルギーディップ改善制御の第3の例

図50は、図34に示されるMOのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例を示すフローチャートである。図50に示される処理は、図34に

示される S 1 5 0 0 g m o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0320] 図 5 0 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図 2 1 を参照しながら説明した第 2 の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0321] 図 5 1 は、図 3 5 に示される P O のエネルギーディップ改善制御の処理の第 3 の例を示すフローチャートである。図 5 1 に示される処理は、図 3 5 に示される S 1 5 0 0 g p o のサブルーチンとして、ガス制御部 3 2 によって行われてもよい。

[0322] 図 5 1 に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した点で、図 2 1 を参照しながら説明した第 2 の実施形態と異なる。

[0323] さらに、図 5 1 に示される処理においては、図 2 1 に示されるステップの他に、S 1 5 1 0 g p o が追加されている。

S 1 5 1 0 g p o により、ガス制御部 3 2 は、M O のエネルギーディップフラグ F m o d が 0 であるか否かを判定する。M O のエネルギーディップフラグ F m o d が 0 である場合 (S 1 5 1 0 g p o ; Y E S) 、ガス制御部 3 2 は、S 1 5 1 1 g p o 以降の処理を行う。M O のエネルギーディップフラグ F m o d が 1 である場合 (S 1 5 1 0 g p o ; N O) 、ガス制御部 3 2 は、S 1 5 1 1 g p o 以降の処理を行わなくてもよい。

他の点については、図 2 1 を参照しながら説明した第 2 の実施形態における処理と同様でよい。

[0324] 5. 2. 4. 8. 1 エネルギーディップ指数 E D の計算

図 5 2 は、第 3 の実施形態に係るエキシマレーザ装置において M O のエネルギーディップ改善制御の処理の第 3 の例が行われる場合に解析制御部 3 3 が行う処理を示すフローチャートである。解析制御部 3 3 は、以下の処理により、エネルギーディップ指数 E D の計算を行ってもよい。

[0325] 図52に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図22を参照しながら説明した第2の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0326] 図53は、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置においてP Oのエネルギーディップ改善制御の処理の第3の例が行われる場合に解析制御部33が行う処理を示すフローチャートである。

[0327] 図53に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した他は、図22を参照しながら説明した第2の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0328] 5. 2. 4. 8. 2 エネルギーディップ指数E Dの読み込み

図54は、図50に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理を示すフローチャートである。図54に示される処理は、図50に示されるS1520 g m oのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0329] 図54に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g m o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「m o」を付加した他は、図24を参照しながら説明した第2の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0330] 図55は、図51に示されるエネルギーディップ指数を読み込む処理を示すフローチャートである。図55に示される処理は、図51に示されるS1520 g p oのサブルーチンとして、ガス制御部32によって行われてもよい。

[0331] 図55に示される処理は、ステップ番号の末尾に「g p o」を付加し、数量を示す符号にそれぞれ「p o」を付加した他は、図24を参照しながら説明した第2の実施形態における処理と同様であるので、詳細な説明を省略する。

[0332] 5. 3 作用

以上のようにして、第3の実施形態に係るエキシマレーザ装置は、MOとPOの出力についてエネルギーディップを検出し、検出結果に基づいて、MO又はPOのエネルギーディップの改善制御を行ってもよい。

[0333] エネルギーディップの検出は、MOの出力とPOの出力について並列的に実行してもよい（図27）。あるいは、エネルギーディップの検出は、最初にPOの出力について実行し、POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} が所定値以上の場合に、MOの出力について実行してもよい（図31）。POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} が所定値未満の場合にはMOにもPOにも異常がないと判断できるので、POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} が所定値未満の場合にはMOのエネルギーディップの検出を省略することができる。

[0334] MOのエネルギーディップ検出回数 N_{mod} が所定値以上の場合には、POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} に関わらず、最初にMOについてエネルギーディップの改善制御が実行されてもよい（図34）。POのエネルギーディップ検出回数 N_{pod} が所定値以上の場合には、MOが正常な場合に、POについてエネルギーディップの改善制御が実行されてもよい（図35）。これにより、POのエネルギーディップがMOの異常に起因するのか、MOの異常とPOの異常の両方に起因するのか不明であっても、エネルギーディップを改善することができる。

[0335] MOのエネルギーディップの改善制御は、MOとPOとを注入同期させながら実行されてもよい（図44）。POのエネルギーディップの改善制御は、MOとPOとを同期して発振させながら実行されてもよい（図45）。あるいは、MOのエネルギーディップの改善制御は、POの発振を停止させた状態で、MOのみ発振させながら実行されてもよい（図46）。POのエネルギーディップの改善制御は、MOの発振を停止させた状態で、POのみ発振させながら実行されてもよい（図47）。

[0336] 6. 制御部の構成

図56は、制御部の概略構成を示すブロック図である。

上述した実施の形態におけるガス精製制御部51等の制御部は、コンピュータやプログラマブルコントローラ等汎用の制御機器によって構成されてもよい。例えば、以下のように構成されてもよい。

[0337] (構成)

制御部は、処理部1000と、処理部1000に接続される、ストレージメモリ1005と、ユーザインターフェイス1010と、パラレルI/Oコントローラ1020と、シリアルI/Oコントローラ1030と、A/D、D/Aコンバータ1040とによって構成されてもよい。また、処理部1000は、CPU1001と、CPU1001に接続された、メモリ1002と、タイマー1003と、GPU1004とから構成されてもよい。

[0338] (動作)

処理部1000は、ストレージメモリ1005に記憶されたプログラムを読出してもよい。また、処理部1000は、読出したプログラムを実行したり、プログラムの実行に従ってストレージメモリ1005からデータを読出したり、ストレージメモリ1005にデータを記憶させたりしてもよい。

[0339] パラレルI/Oコントローラ1020は、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xに接続されてもよい。パラレルI/Oコントローラ1020は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うパラレルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0340] シリアルI/Oコントローラ1030は、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xに接続されてもよい。シリアルI/Oコントローラ1030は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うシリアルI/Oポートを介した、デジタル信号による通信を制御してもよい。

[0341] A/D、D/Aコンバータ1040は、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xに接続されてもよい。A/D、D/Aコンバータ

1040は、処理部1000がプログラムを実行する過程で行うアナログポートを介した、アナログ信号による通信を制御してもよい。

[0342] ユーザインターフェイス1010は、オペレータが処理部1000によるプログラムの実行過程を表示したり、オペレータによるプログラム実行の中止や割り込み処理を処理部1000に行わせたりするよう構成されてもよい。

[0343] 処理部1000のCPU1001はプログラムの演算処理を行ってもよい。メモリ1002は、CPU1001がプログラムを実行する過程で、プログラムの一時記憶や、演算過程でのデータの一時記憶を行ってもよい。タイマー1003は、時刻や経過時間を計測し、プログラムの実行に従ってCPU1001に時刻や経過時間を出力してもよい。GPU1004は、処理部1000に画像データが入力された際、プログラムの実行に従って画像データを処理し、その結果をCPU1001に出力してもよい。

[0344] パラレルI/Oコントローラ1020に接続される、パラレルI/Oポートを介して通信可能な機器1021～102xは、発光トリガ信号や目標パルスエネルギーの設定データ信号を送信する露光装置100であってもよいし、他の制御部等であってもよい。また、機器1021～102xは、充電電圧の設定データ信号を受信する充電器12であってもよいし、バルブB-V、F2-V、EX-V等であってもよい。

シリアルI/Oコントローラ1030に接続される、シリアルI/Oポートを介して通信可能な機器1031～103xは、モータ22の回転数の設定データ信号を受信する回転数調節部31等であってもよい。

A/D、D/Aコンバータ1040に接続される、アナログポートを介して通信可能な機器1041～104xは、チャンバ圧力センサ16や光センサ17c等の各種センサであってもよい。

以上のように構成されることで、制御部は各実施形態に示された動作を実現可能であってもよい。

[0345] 上記の説明は、制限ではなく単なる例示を意図したものである。従って、

添付の特許請求の範囲を逸脱することなく本開示の実施形態に変更を加えることができることは、当業者には明らかであろう。

- [0346] 本明細書及び添付の特許請求の範囲全体で使用される用語は、「限定的でない」用語と解釈されるべきである。例えば、「含む」又は「含まれる」という用語は、「含まれるものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。「有する」という用語は、「有するものとして記載されたものに限定されない」と解釈されるべきである。また、本明細書及び添付の特許請求の範囲に記載される修飾句「1つの」は、「少なくとも1つ」又は「1又はそれ以上」を意味すると解釈されるべきである。

請求の範囲

- [請求項1] 光共振器と、
一対の放電電極を含み、前記光共振器の間に配置され、レーザガスを収容するチャンバと、
トリガ信号を受信して、前記トリガ信号に基づいて前記一対の放電電極にパルス状の電圧を印加する電源と、
前記光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを計測するエネルギーモニタと、
前記チャンバ内に収容されたレーザガスの一部の排気と、前記チャンバ内へのレーザガスの供給と、を実行可能に構成されたハロゲンガス分圧調節部と、
前記エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、前記パルスエネルギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出し、前記エネルギーディップの検出結果に基づいて前記ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する制御部と、
を備えるエキシマレーザ装置。
- [請求項2] 前記制御部は、前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を低減させることによりエネルギーディップの発生を抑制する、請求項1記載のエキシマレーザ装置。
- [請求項3] 前記制御部は、前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を低減させることと、前記一対の放電電極に印加するパルス状の電圧の設定範囲を上げることと、の両方を行う、請求項1記載のエキシマレーザ装置。
- [請求項4] 前記制御部は、前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を低減させることと、前記チャンバ内のガス圧を上げることと、の両方を行う、請求項1記載のエキシマレーザ装置。
- [請求項5] 前記制御部は、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーと所定の値とをパルスごとに比較し、この比較結果に基

づいて前記エネルギーディップを検出する、請求項1記載のエキシマレーザ装置。

[請求項6] 前記制御部は、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーの平均値と標準偏差とを所定のパルス数ごとに算出し、前記平均値に対する前記標準偏差の比に基づいて前記エネルギーディップを検出する、請求項1記載のエキシマレーザ装置。

[請求項7] 前記制御部は、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光の積算エネルギーを所定のパルス数ごとに算出し、目標積算エネルギーに対する前記積算エネルギーの比に基づいて前記エネルギーディップを検出する、請求項1記載のエキシマレーザ装置。

[請求項8] 前記制御部は、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーの目標値との差と発生頻度とに基づいて算出されるエネルギーディップ指数に基づいて前記エネルギーディップを検出する、請求項1記載のエキシマレーザ装置。

[請求項9] 前記チャンバ内においてレーザガスを循環させるファンをさらに備え、

前記制御部は、

前記ファンの回転数を第1の回転数に設定して、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光を外部に出力させる第1の動作モードと、

前記ファンの回転数を前記第1の回転数より小さい第2の回転数に設定して、前記エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、前記パルスエネルギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出する第2の動作モードと、

を実行するように構成された、

請求項1記載のエキシマレーザ装置。

[請求項10] 前記制御部は、

前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を第1のハロゲンガス分圧とするように前記ハロゲンガス分圧調節部を制御し、前記ファンの回転数

を前記第2の回転数に設定して、前記パルスエネルギーの計測結果を取得し、

前記エネルギーディップの検出頻度が所定値未満である場合に、前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を前記第1のハロゲンガス分圧として前記第1の動作モードに移行し、

前記エネルギーディップの検出頻度が所定値以上である場合に、前記チャンバ内のハロゲンガス分圧を前記第1のハロゲンガス分圧より低い第2のハロゲンガス分圧とするように前記ハロゲンガス分圧調節部を制御する、

請求項9記載のエキシマレーザ装置。

[請求項11] 前記制御部は、前記ファンの回転数を前記第1の回転数に設定して、前記パルスエネルギーの計測結果を取得し、前記エネルギーディップの検出頻度が所定値未満である場合に、前記ファンの回転数を前記第2の回転数に設定して、前記パルスエネルギーの計測結果を取得する、請求項10記載のエキシマレーザ装置。

[請求項12] 前記第1のハロゲンガス分圧及び前記第2のハロゲンガス分圧の両方が、0.13kPa以上、0.18kPa以下である、請求項10記載のエキシマレーザ装置。

[請求項13] 前記第1の回転数及び前記第2の回転数の両方が、4000rpm以上、5000rpm以下である、請求項9記載のエキシマレーザ装置。

[請求項14] 光共振器と、
一対の放電電極を含み、前記光共振器の間に配置され、レーザガスを収容するチャンバと、
前記チャンバ内においてレーザガスを循環させるファンと、
トリガ信号を受信して、前記トリガ信号に基づいて前記一対の放電電極にパルス状の電圧を印加する電源と、
前記光共振器から出力されたパルスレーザ光のパルスエネルギーを

計測するエネルギーモニタと、

前記ファンの回転数を第1の回転数に設定して、前記光共振器から出力されたパルスレーザ光を外部に出力させる第1の動作モードと、前記ファンの回転数を前記第1の回転数より小さい第2の回転数に設定して、前記エネルギーモニタによるパルスエネルギーの計測結果を取得し、前記パルスエネルギーの計測結果に基づいてエネルギーディップを検出する第2の動作モードと、を実行するように構成された制御部と、

を備えるエキシマレーザ装置。

[請求項15]

第1の光共振器と、

第1の一对の放電電極を含み、前記第1の光共振器の間に配置され、レーザガスを収容する第1のチャンバと、

第1のトリガ信号を受信して、前記第1のトリガ信号に基づいて前記第1の一对の放電電極にパルス状の電圧を印加する第1の電源と、

前記第1の光共振器から出力された第1のパルスレーザ光の第1のパルスエネルギーを計測する第1のエネルギーモニタと、

前記第1のパルスレーザ光が入射する第2の光共振器と、

第2の一对の放電電極を含み、前記第2の光共振器の間に配置され、レーザガスを収容する第2のチャンバと、

第2のトリガ信号を受信して、前記第2のトリガ信号に基づいて前記第2の一对の放電電極にパルス状の電圧を印加する第2の電源と、

前記第2の光共振器から出力された第2のパルスレーザ光の第2のパルスエネルギーを計測する第2のエネルギーモニタと、

前記第1のチャンバ内に収容されたレーザガスの一部の排気と、前記第1のチャンバ内へのレーザガスの供給と、前記第2のチャンバ内に収容されたレーザガスの一部の排気と、前記第2のチャンバ内へのレーザガスの供給と、を実行可能に構成されたハロゲンガス分圧調節部と、

前記第 1 のエネルギーモニタによる前記第 1 のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第 1 のチャンバのエネルギーディップを検出し、前記第 1 のチャンバのエネルギーディップの検出結果に基づいて前記ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより前記第 1 のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節し、前記第 2 のエネルギーモニタによる前記第 2 のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第 2 のチャンバのエネルギーディップを検出し、前記第 2 のチャンバのエネルギーディップの検出結果に基づいて前記ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより前記第 2 のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する制御部と、

を備えるエキシマレーザ装置。

[請求項16]

前記制御部は、

前記第 1 のエネルギーモニタによる前記第 1 のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第 1 のチャンバのエネルギーディップの第 1 の頻度を検出し、前記第 1 の頻度が第 1 の所定値以上であるか否かを判定し、

前記第 2 のエネルギーモニタによる前記第 2 のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第 2 のチャンバのエネルギーディップの第 2 の頻度を検出し、前記第 2 の頻度が第 2 の所定値以上であるか否かを判定する、

請求項 15 記載のエキシマレーザ装置。

[請求項17]

前記制御部は、

前記第 1 のチャンバのエネルギーディップの前記第 1 の頻度が前記第 1 の所定値以上である場合に、前記ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより少なくとも前記第 1 のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節し、

前記第 2 のチャンバのエネルギーディップの前記第 2 の頻度が前記第 2 の所定値以上である場合に、前記ハロゲンガス分圧調節部を制御

することにより少なくとも前記第2のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する、

請求項16記載のエキシマレーザ装置。

[請求項18]

前記制御部は、

前記第2のエネルギーモニタによる前記第2のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第2のチャンバのエネルギーディップの第2の頻度を検出し、前記第2の頻度が第3の所定値以上であるか否かを判定し、

前記第2のチャンバのエネルギーディップの前記第2の頻度が前記第3の所定値以上である場合に、前記第1のエネルギーモニタによる前記第1のパルスエネルギーの計測結果に基づいて前記第1のチャンバのエネルギーディップの第1の頻度を検出し、前記第1の頻度が第4の所定値以上であるか否かを判定する、

請求項15記載のエキシマレーザ装置。

[請求項19]

前記制御部は、

前記第2のチャンバのエネルギーディップの前記第2の頻度が前記第3の所定値以上である場合において、

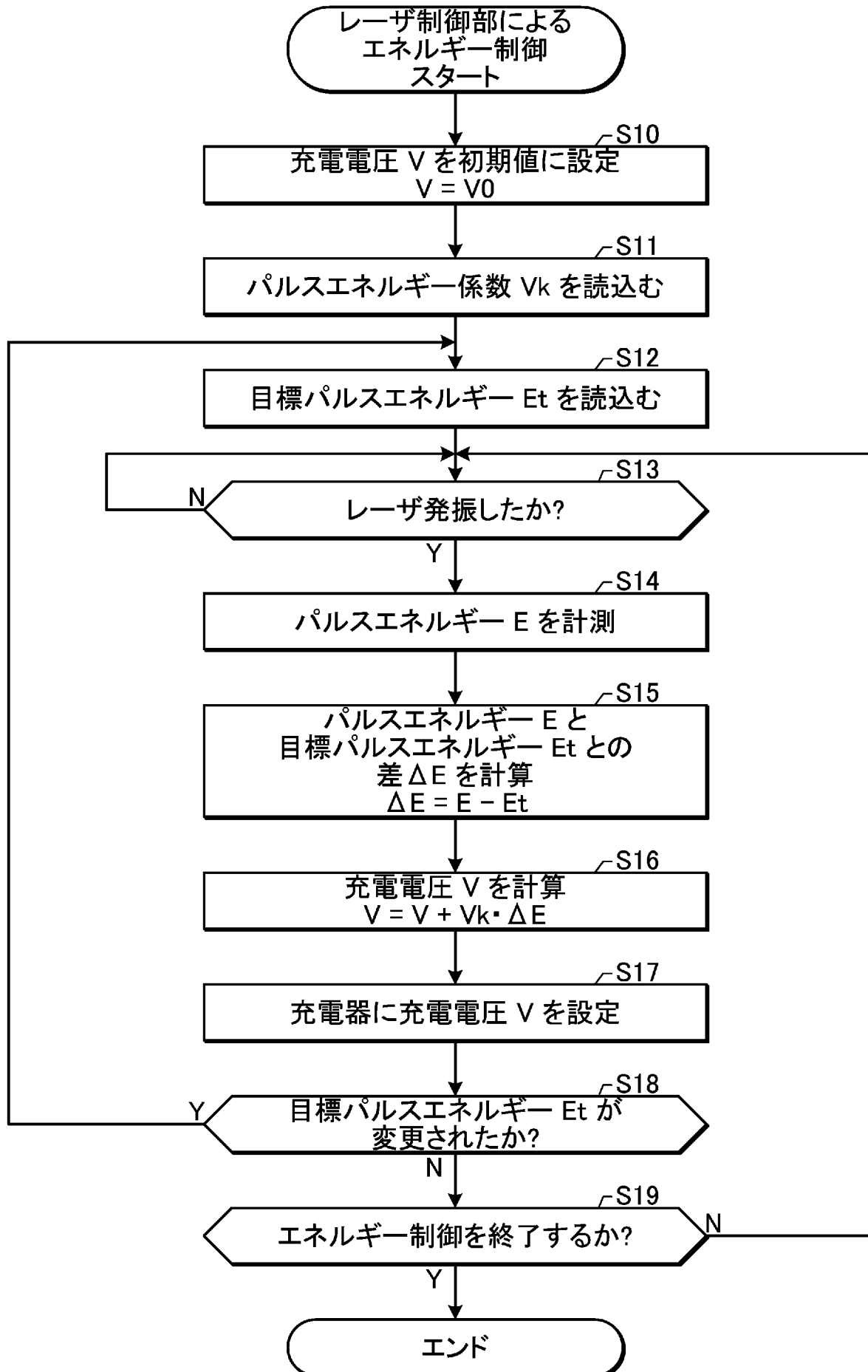
前記第1のチャンバのエネルギーディップの前記第1の頻度が前記第4の所定値以上である場合に、前記第ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより前記第1のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節し、

前記第1のチャンバのエネルギーディップの前記第1の頻度が前記第4の所定値未満である場合に、前記ハロゲンガス分圧調節部を制御することにより前記第2のチャンバ内のハロゲンガス分圧を調節する、

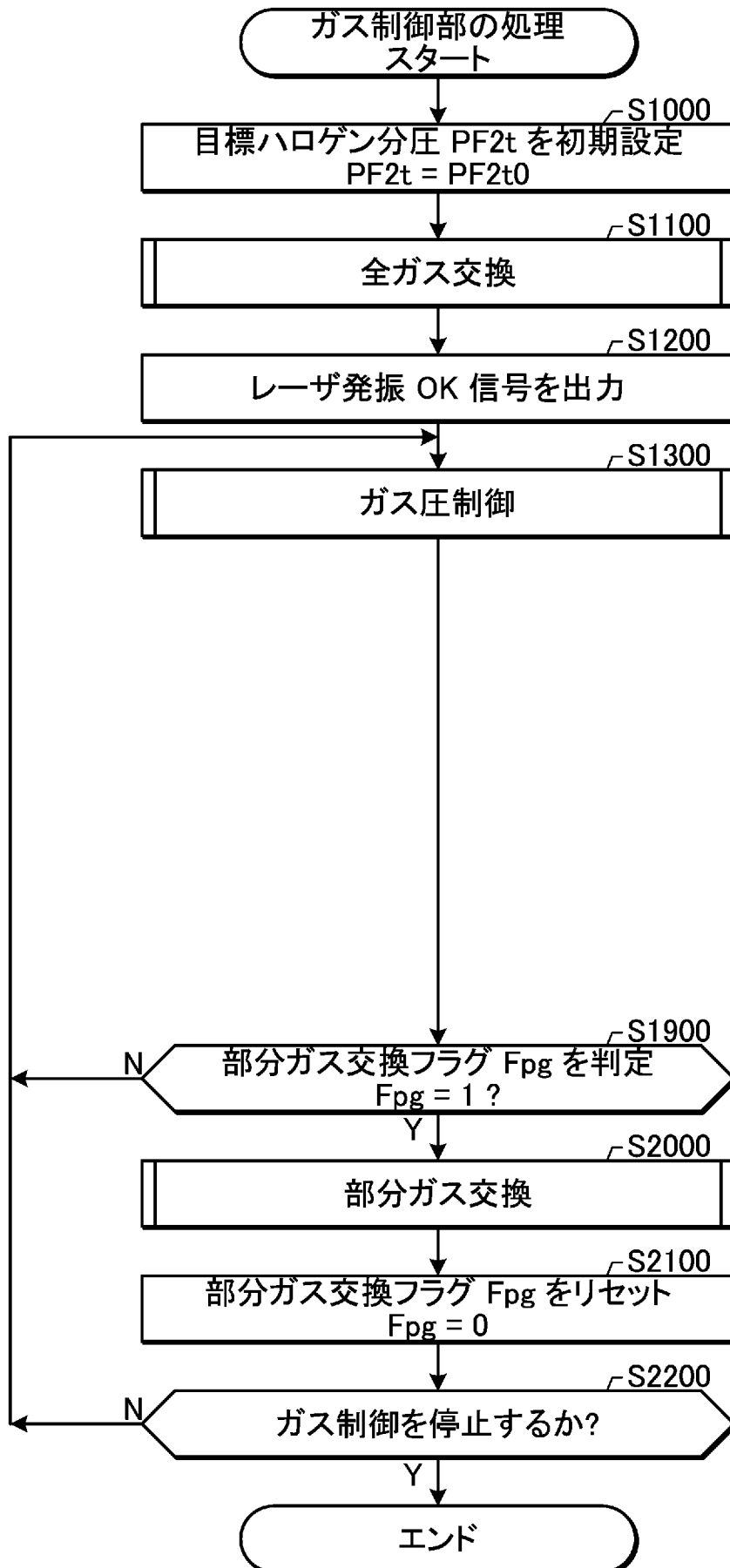
請求項18記載のエキシマレーザ装置。

[illegible]

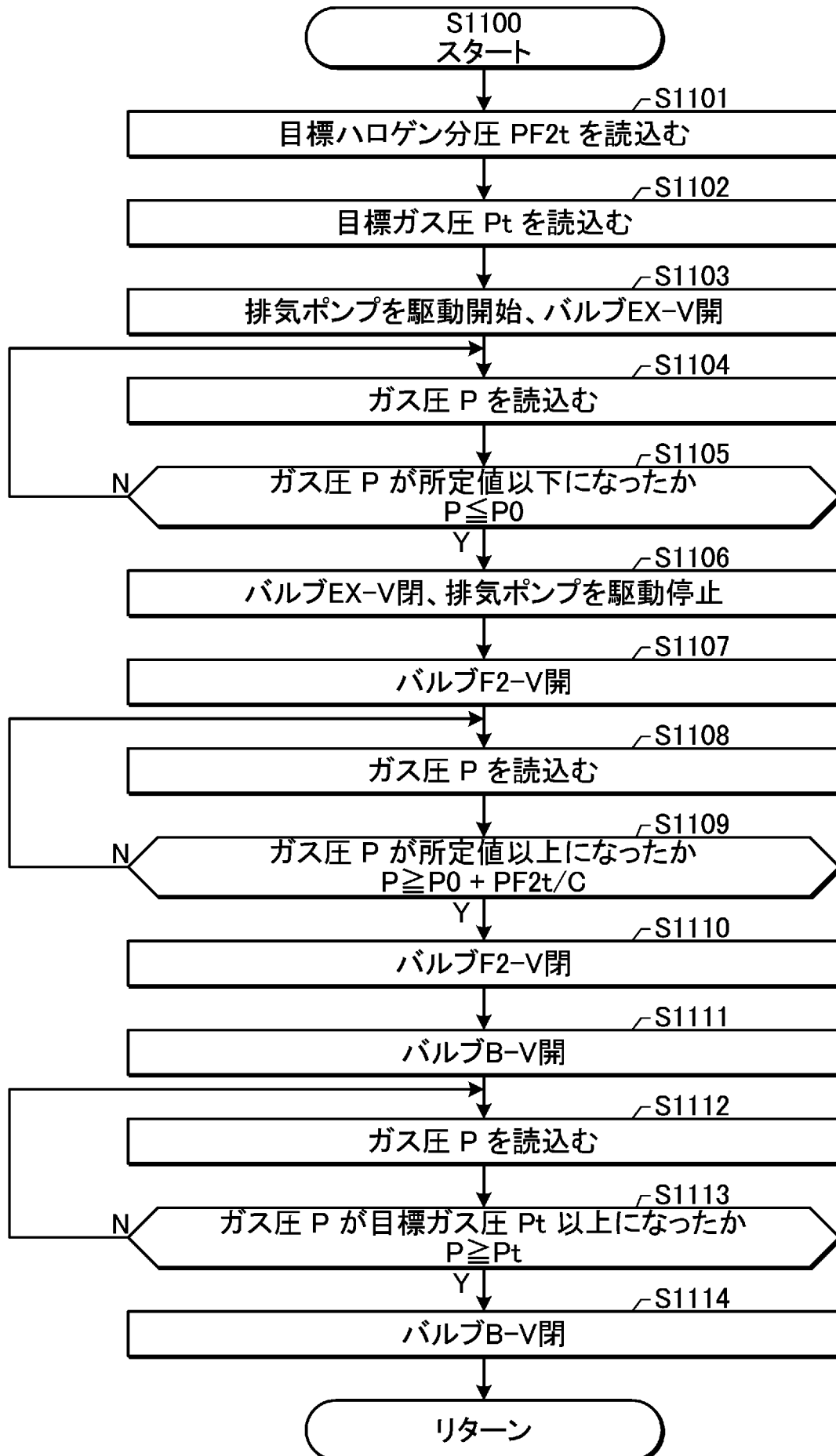
[図2]



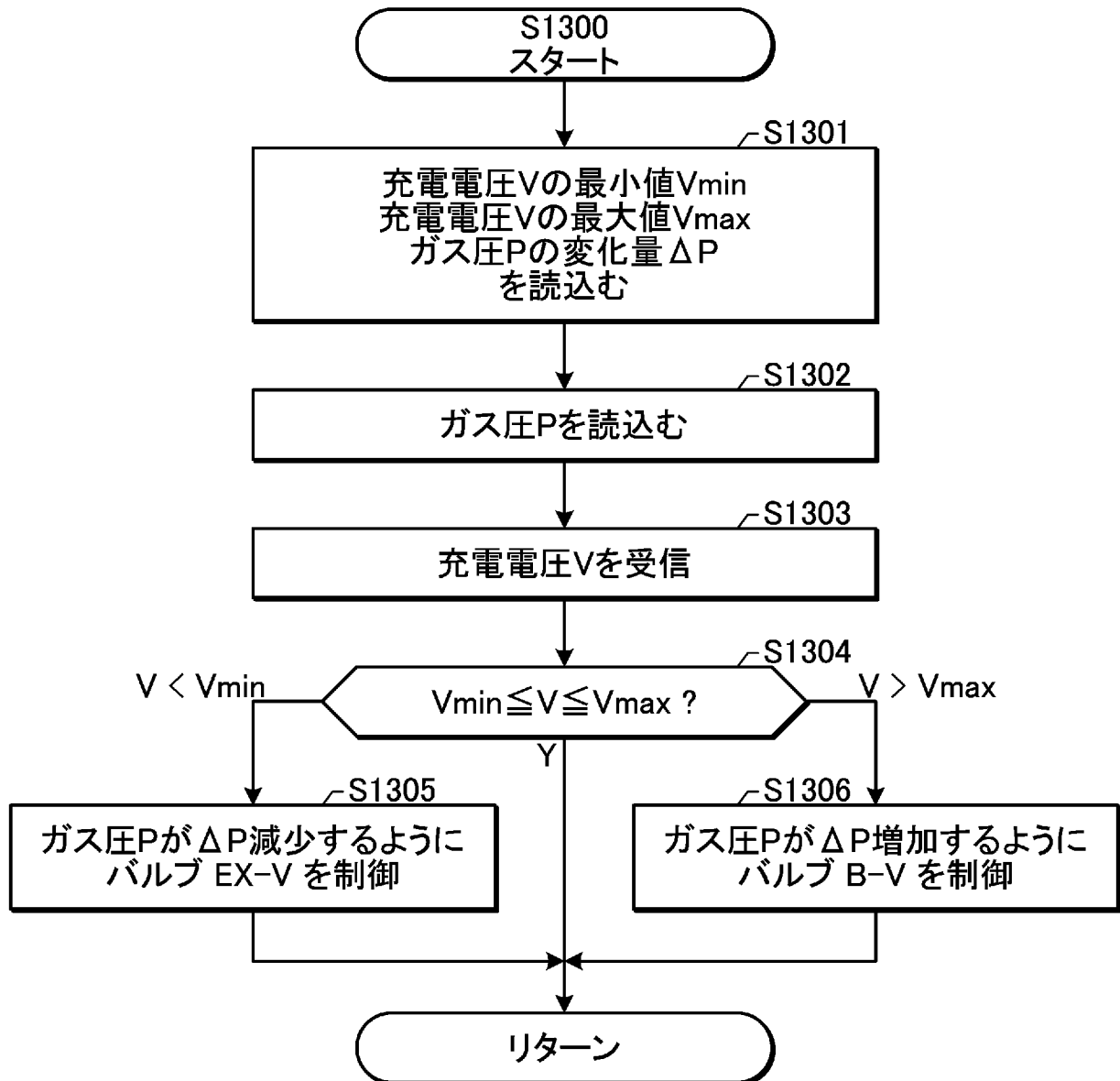
[図3]



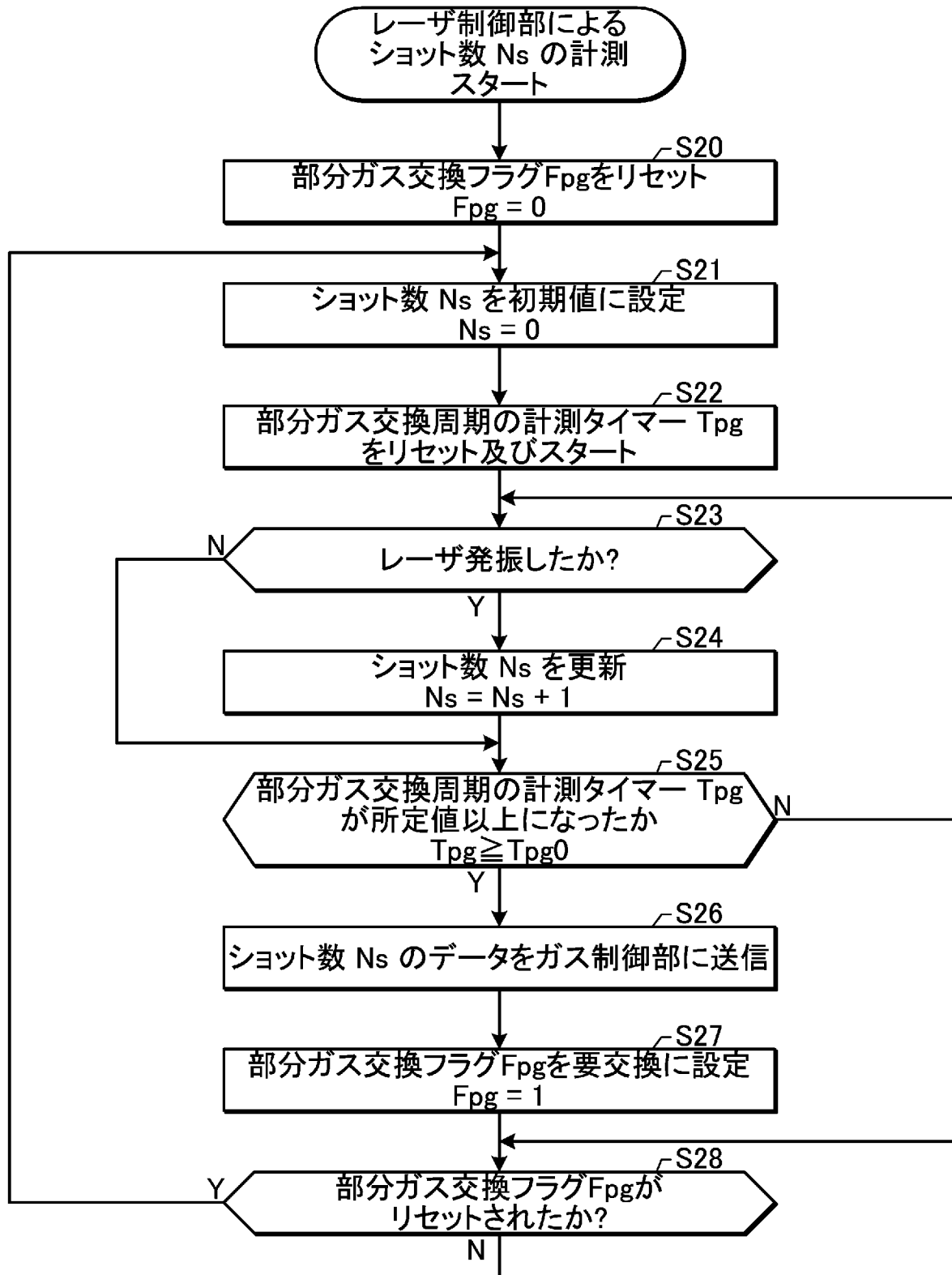
[図4]



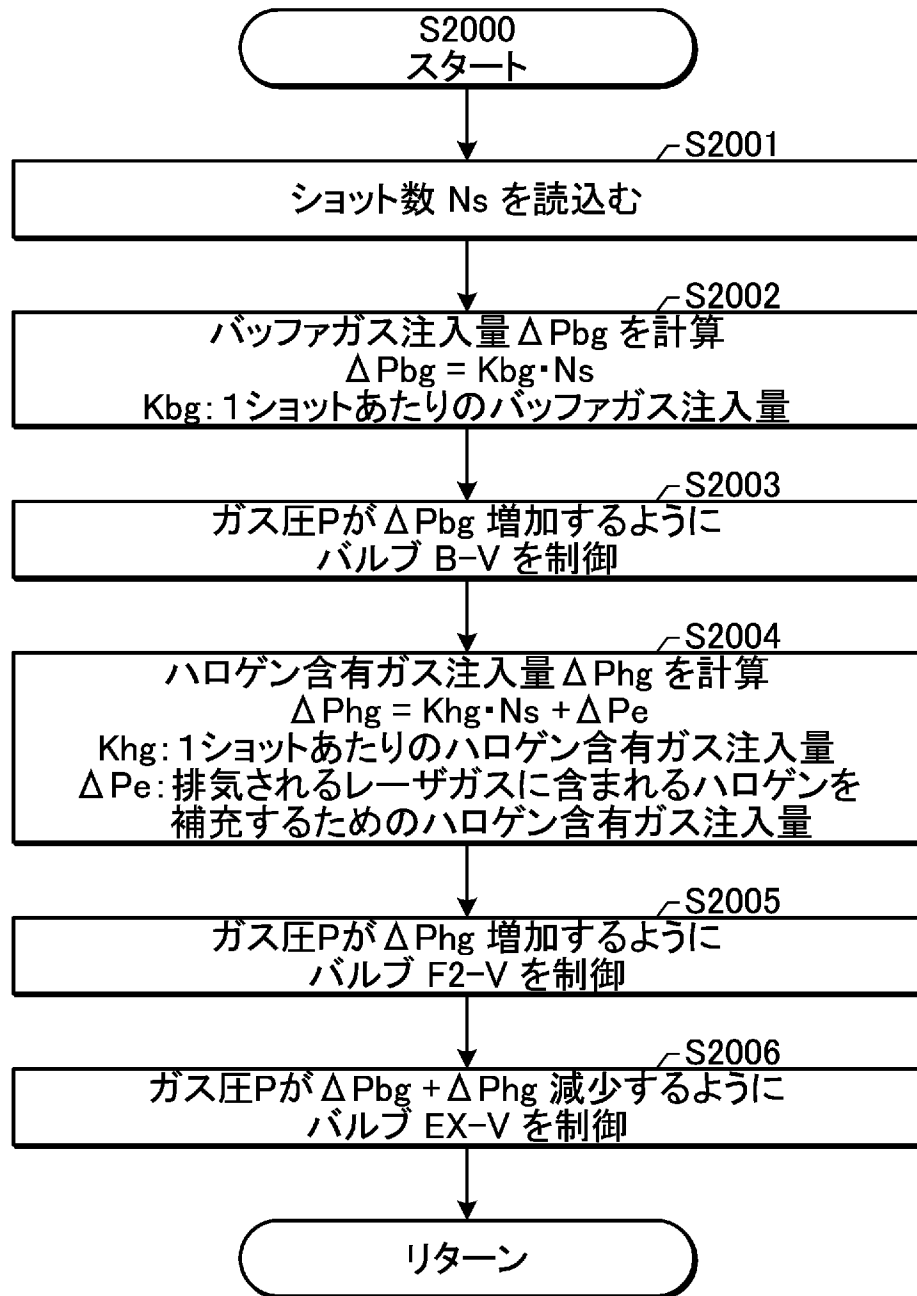
[図5]



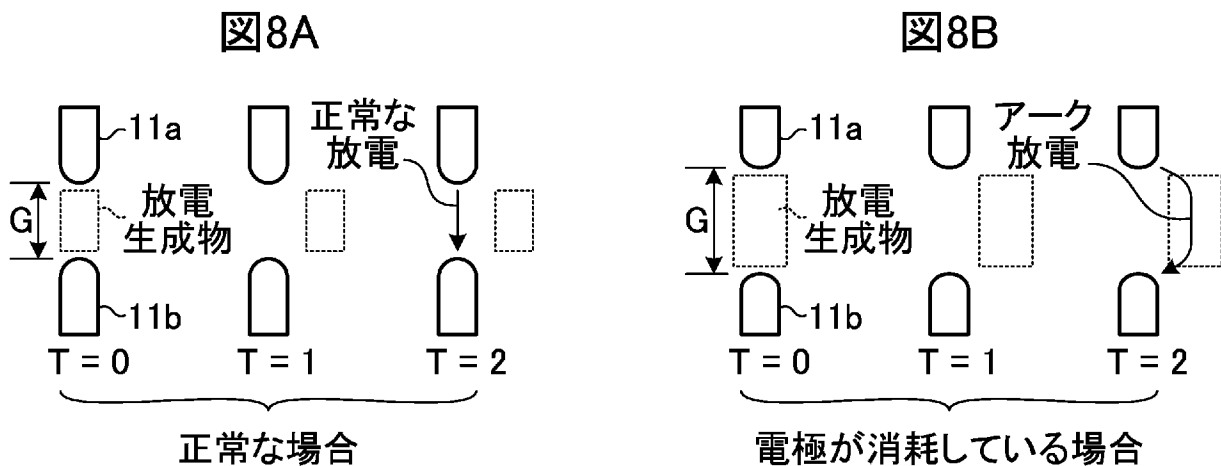
[図6]



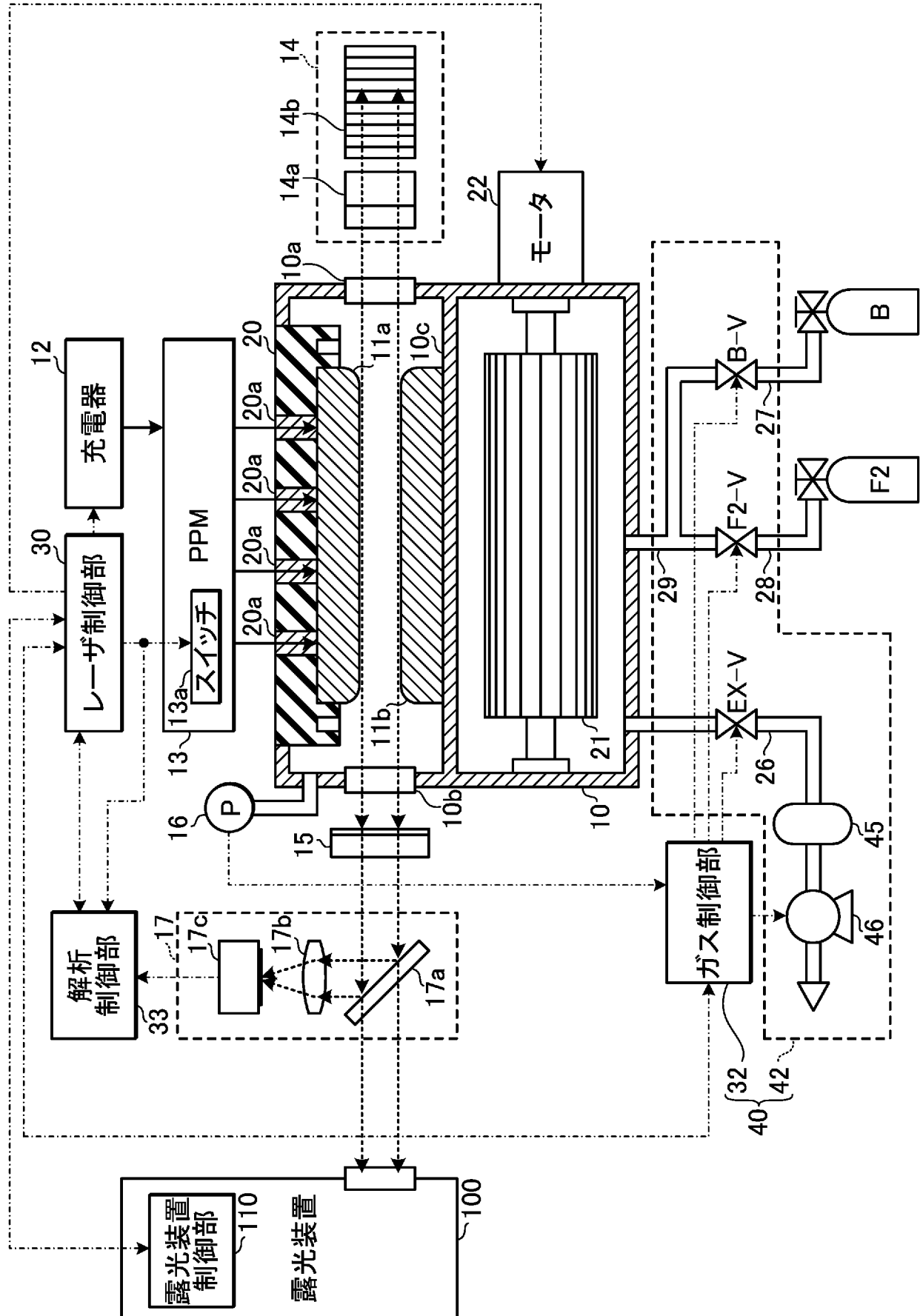
[図7]



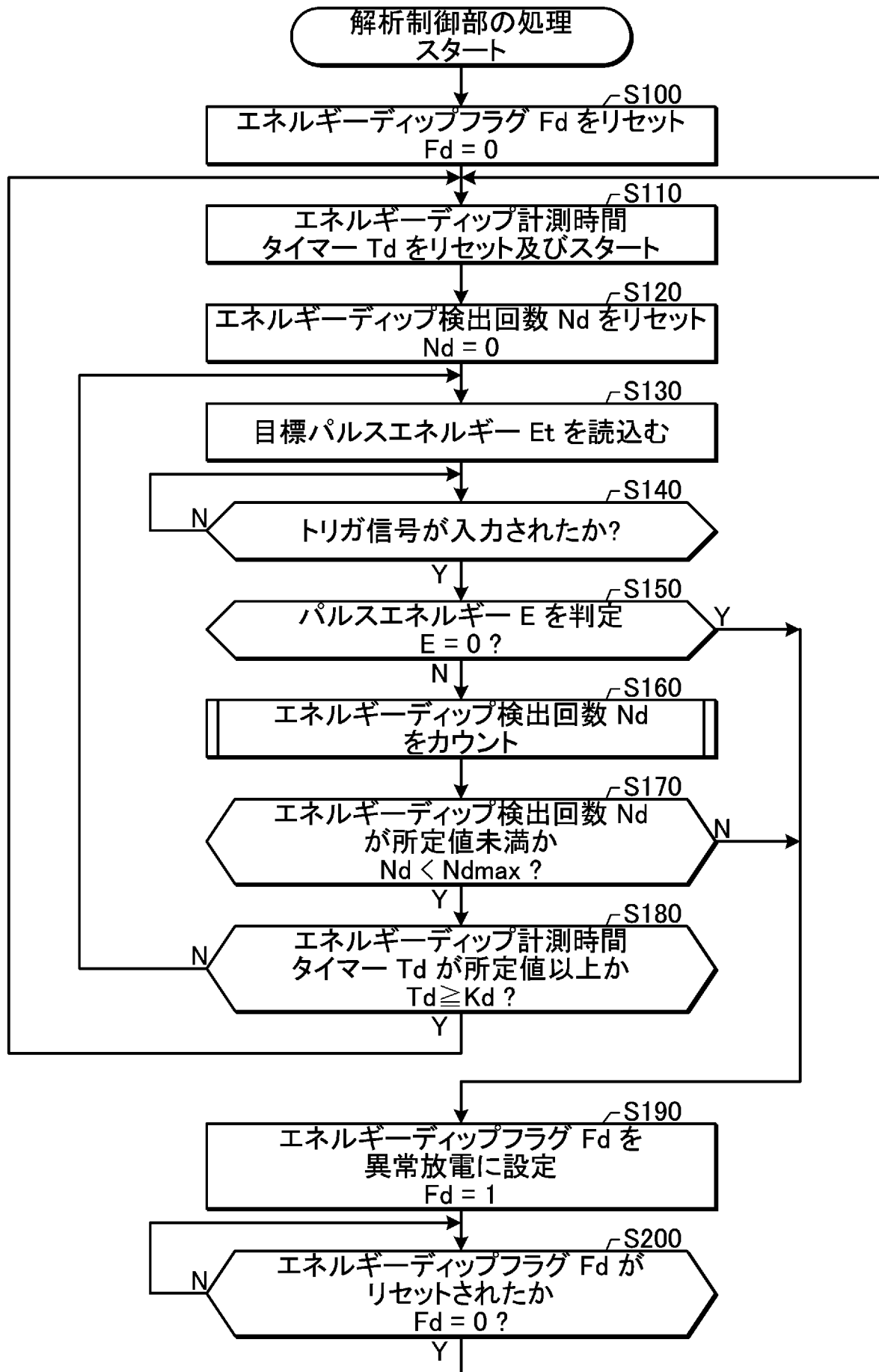
[図8]



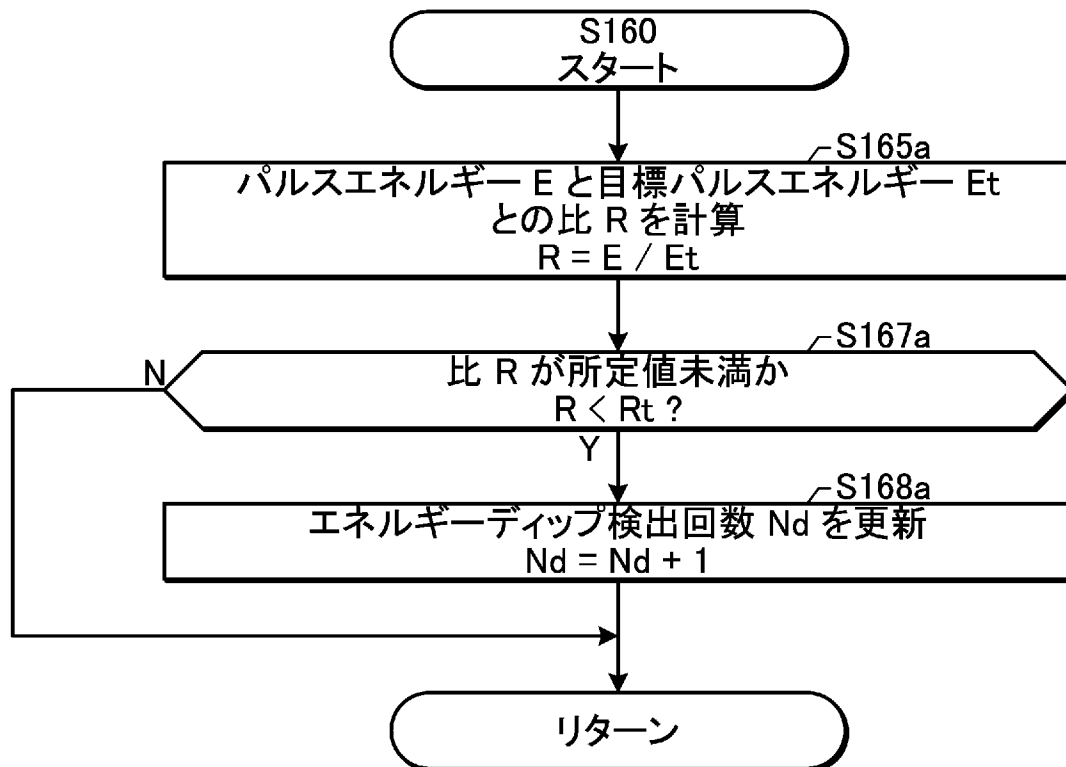
[図9]



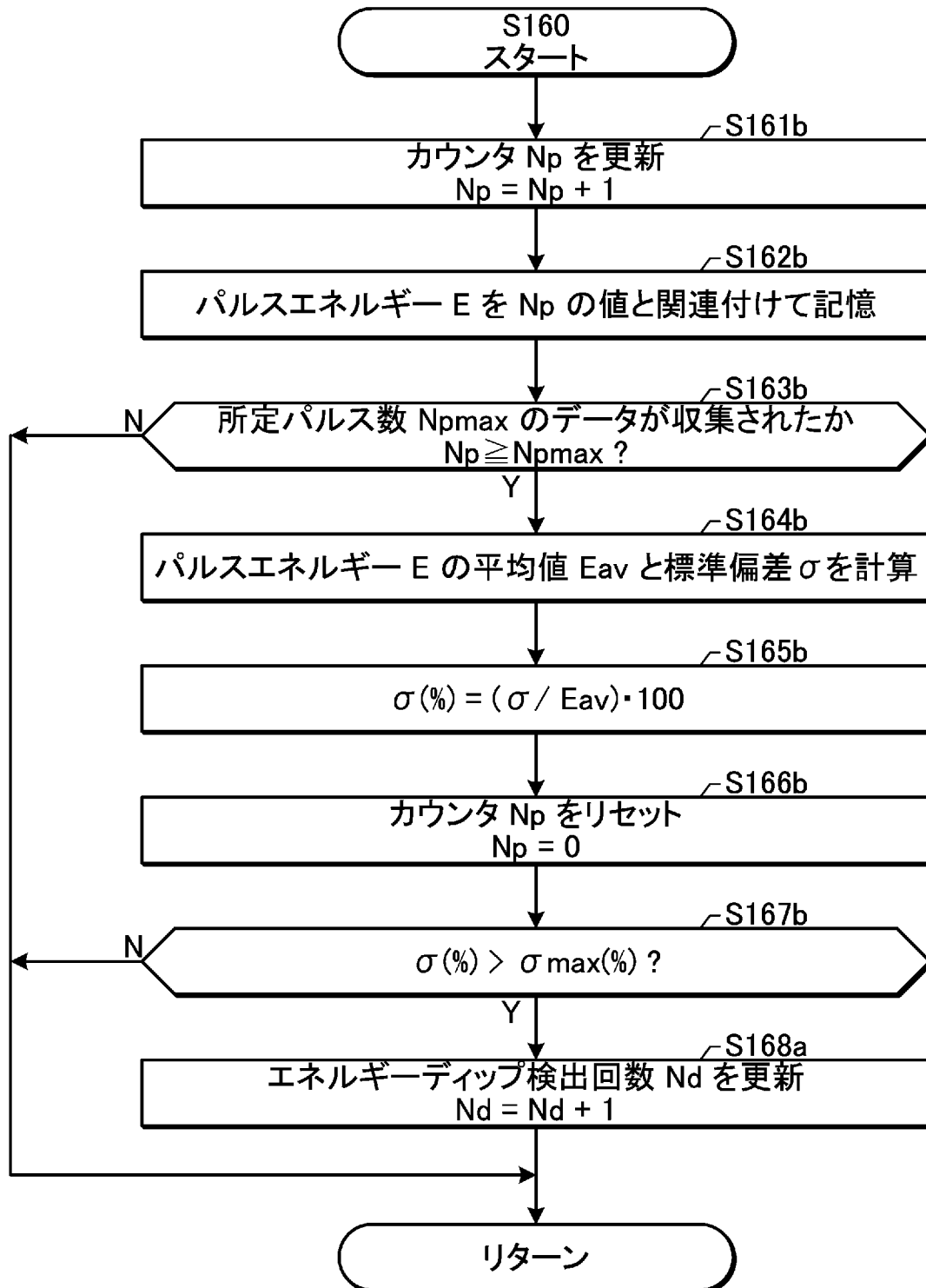
[図10]



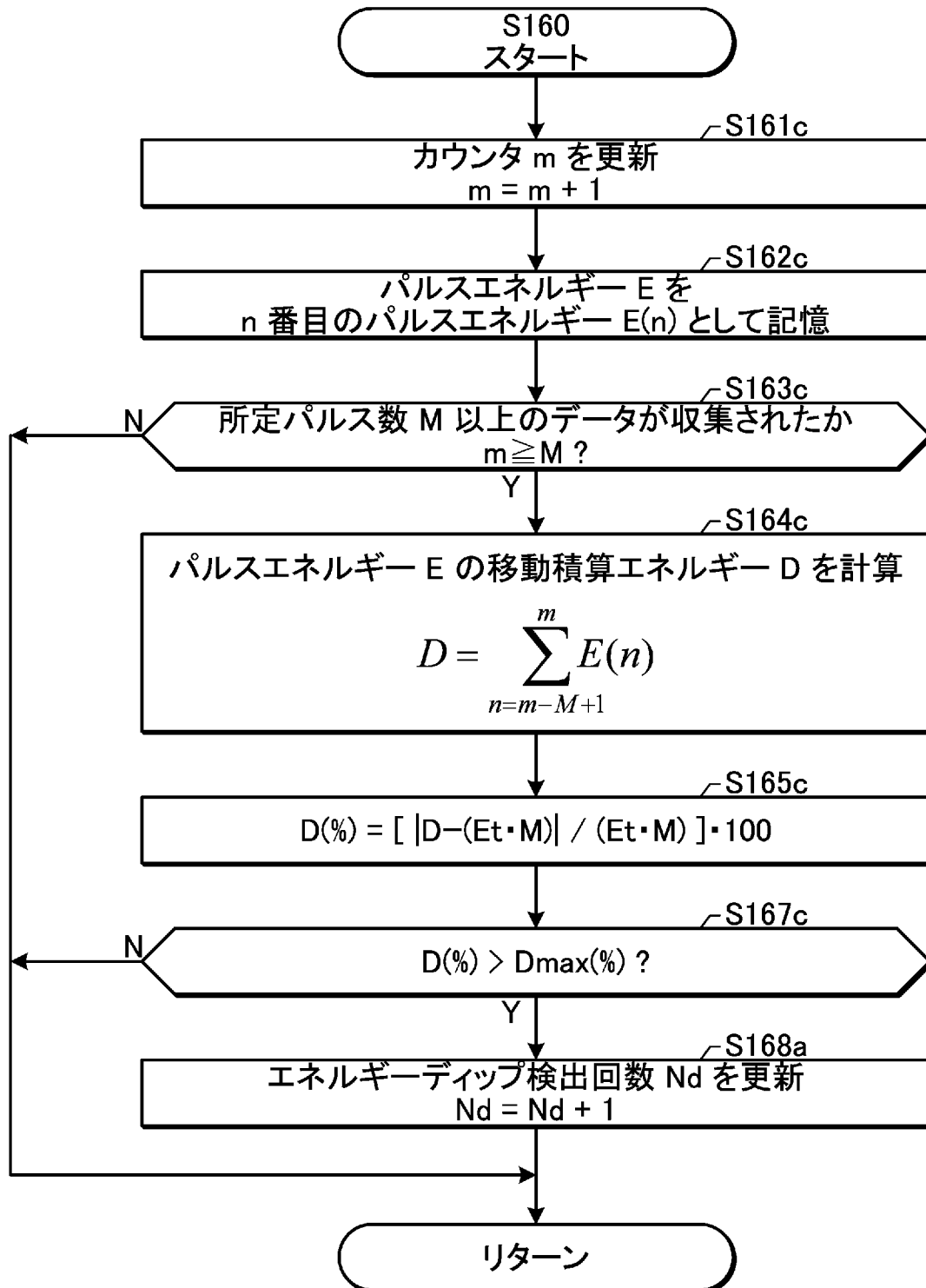
[図11]



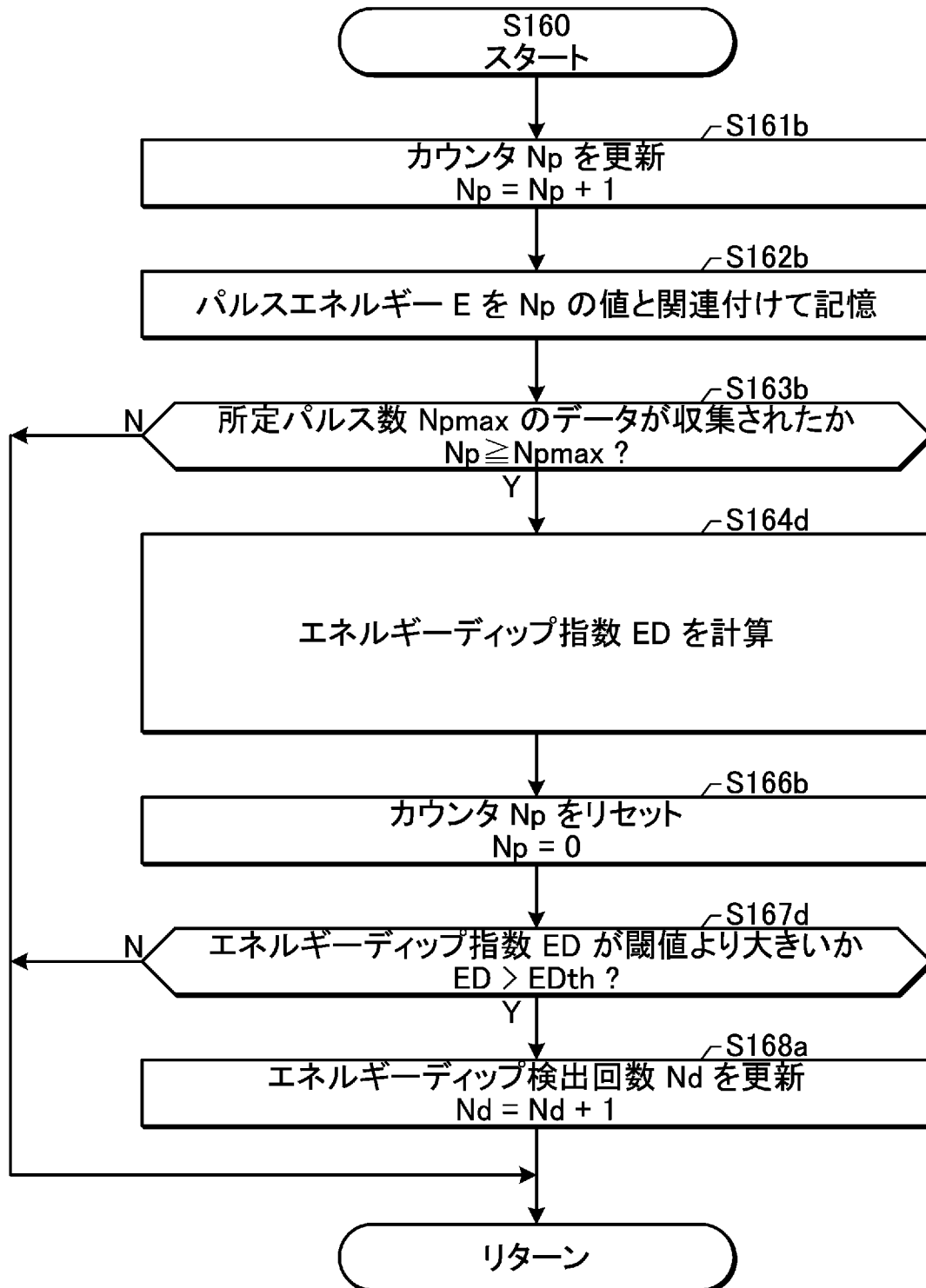
[図12]



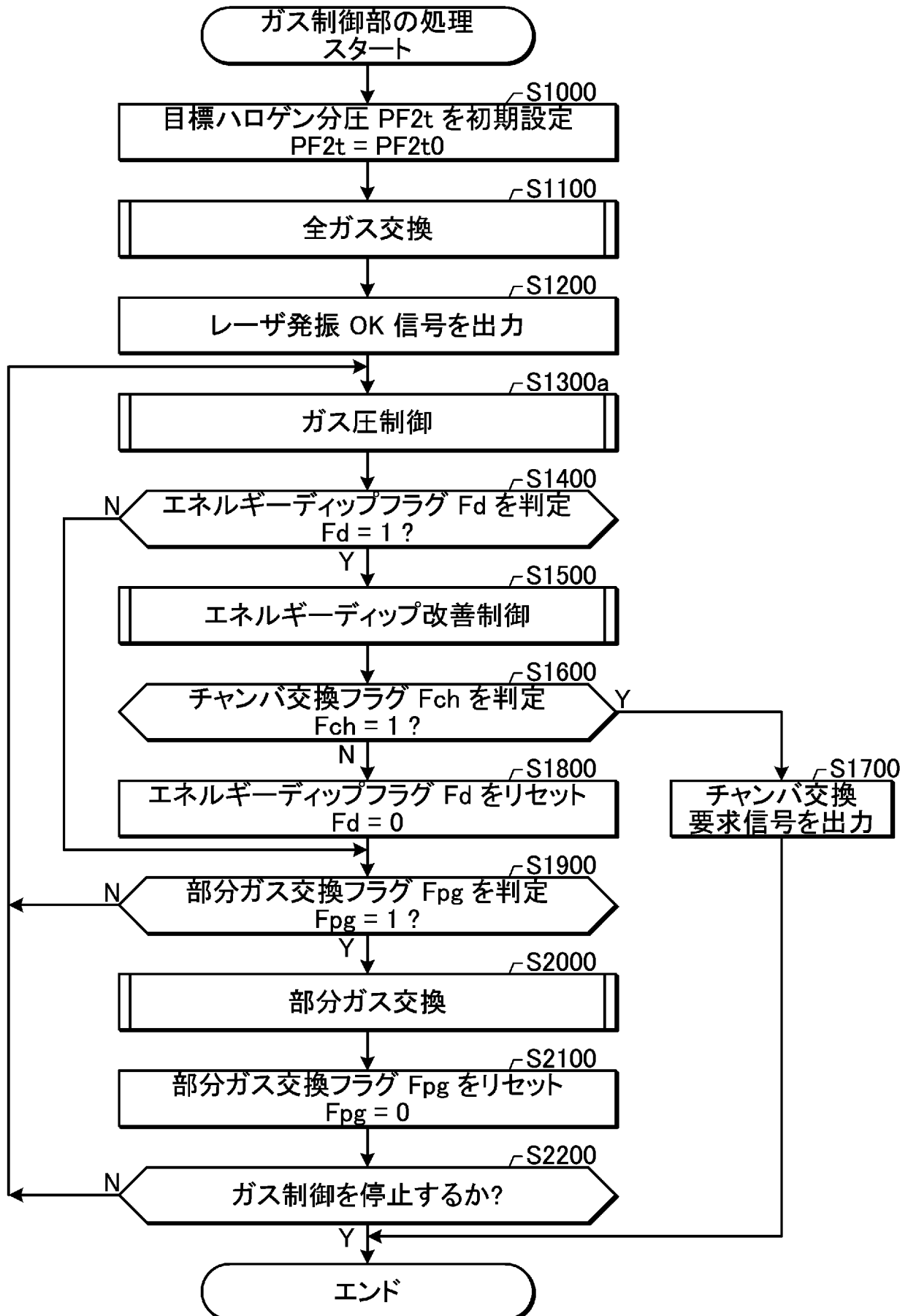
[図13]



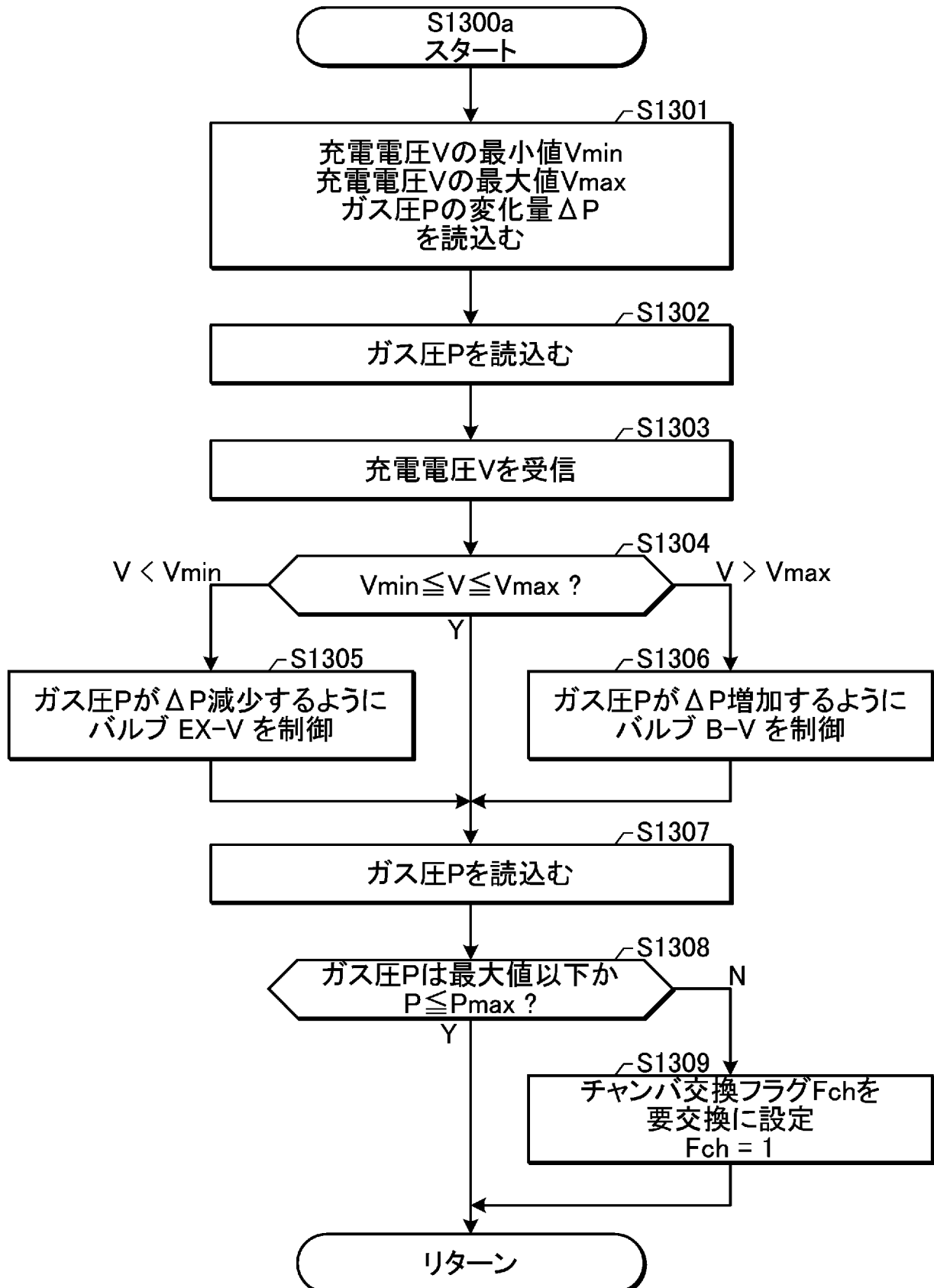
[図14]



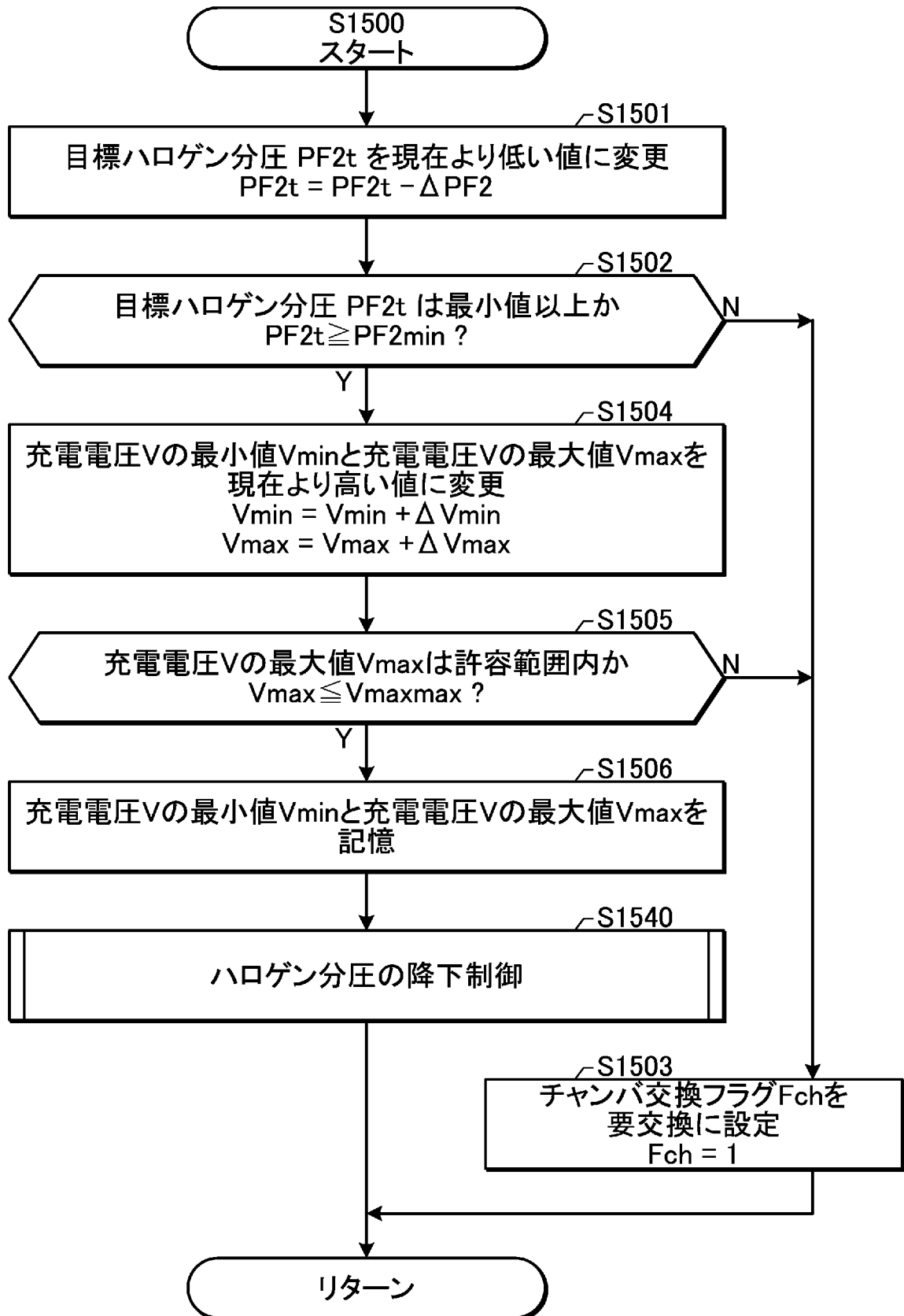
[図15]



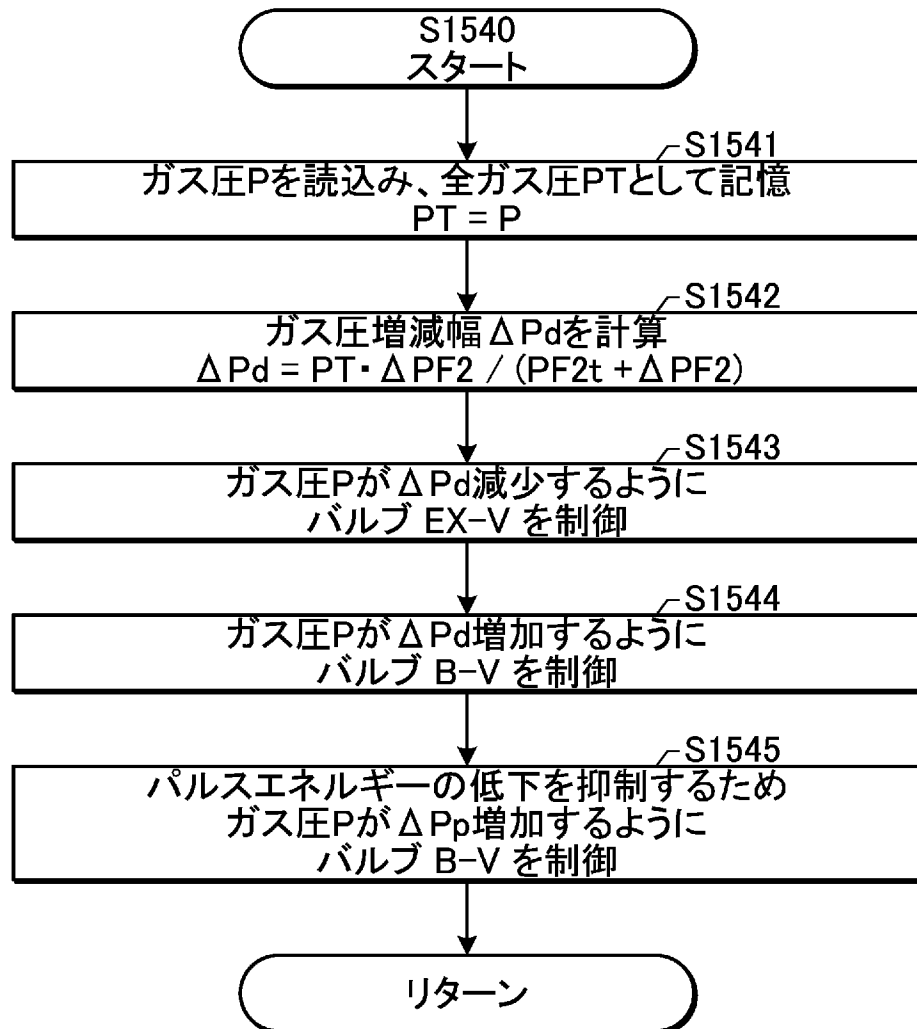
[図16]



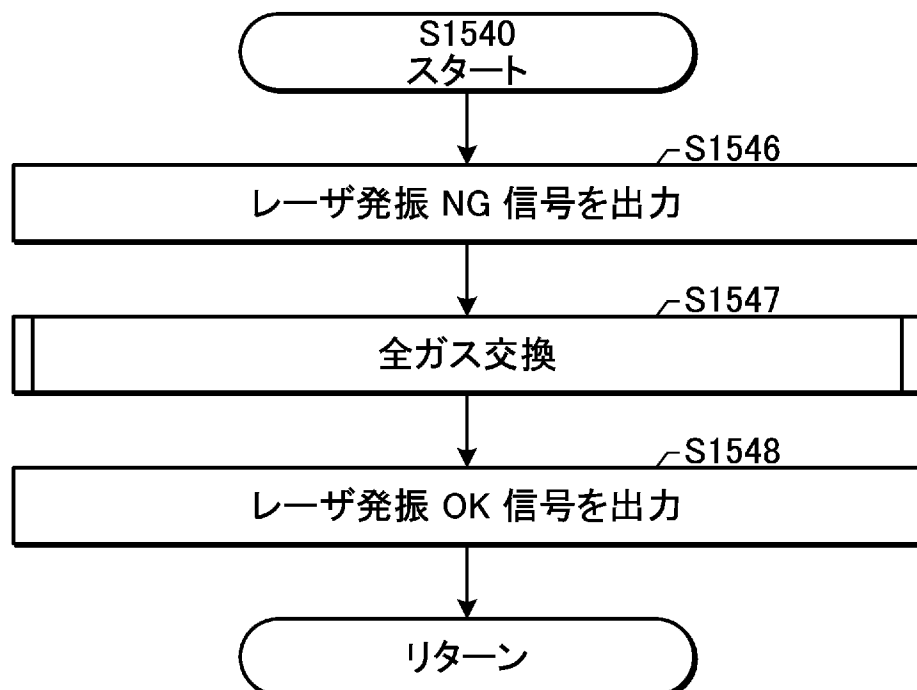
[図17]



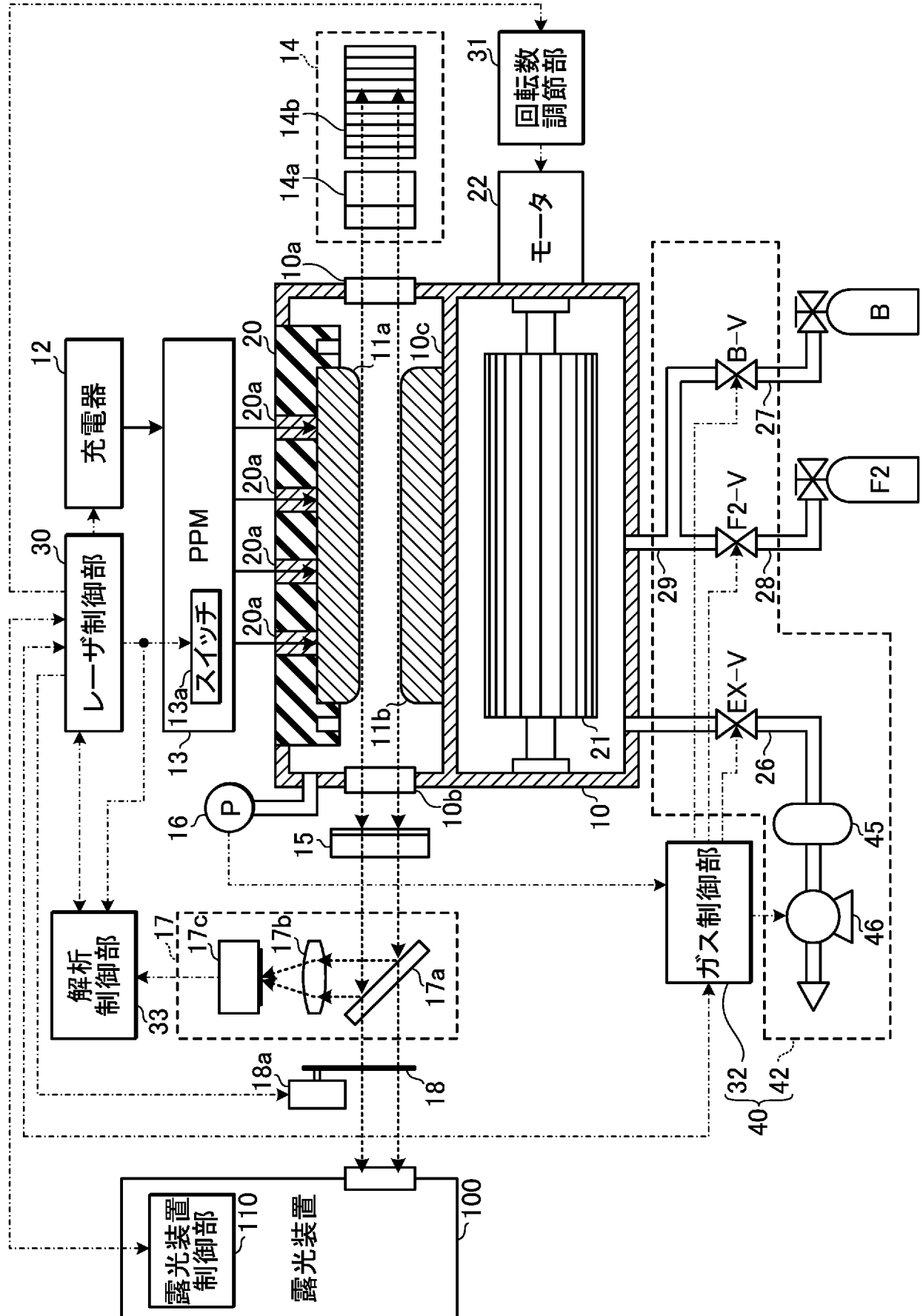
[図18]



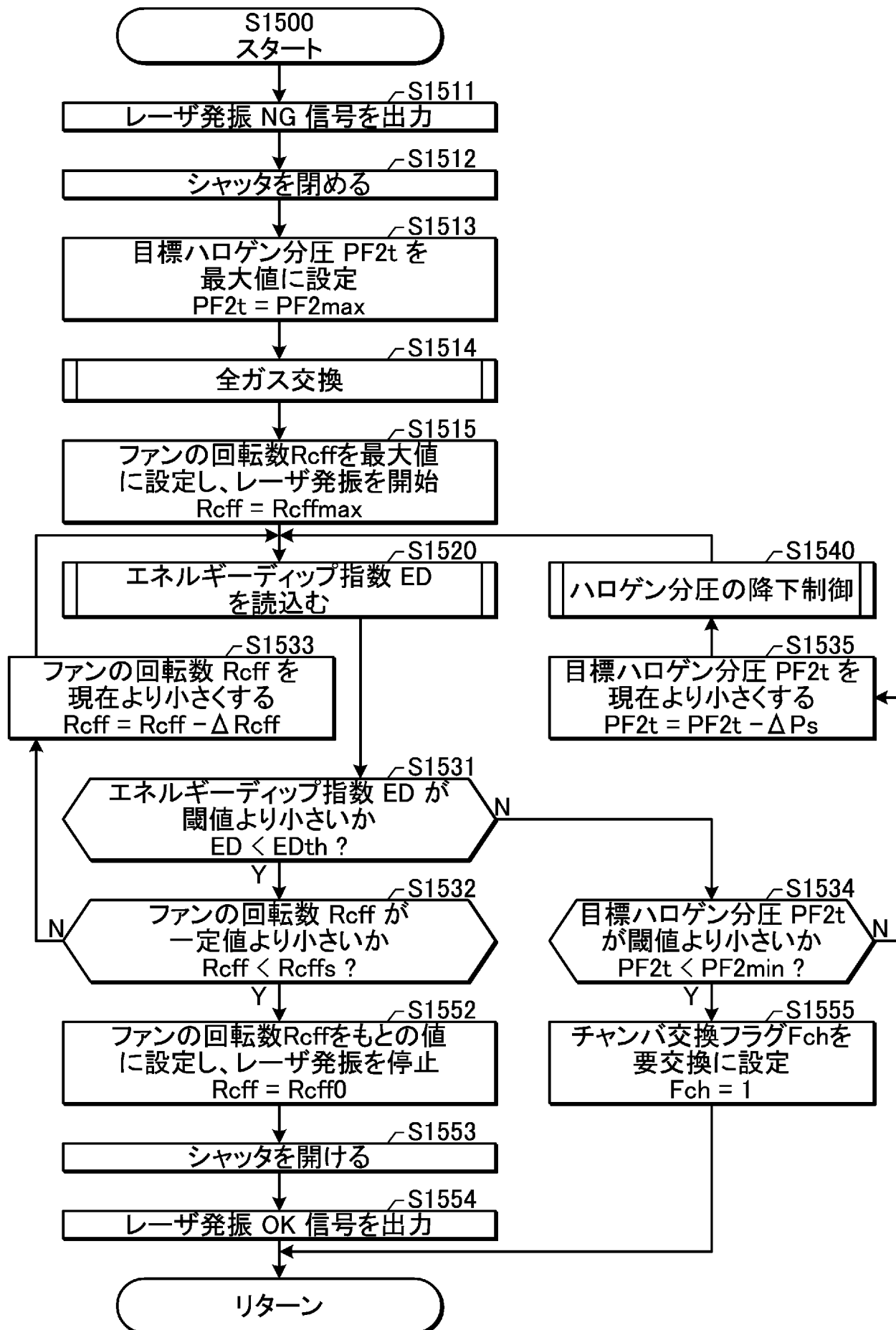
[図19]



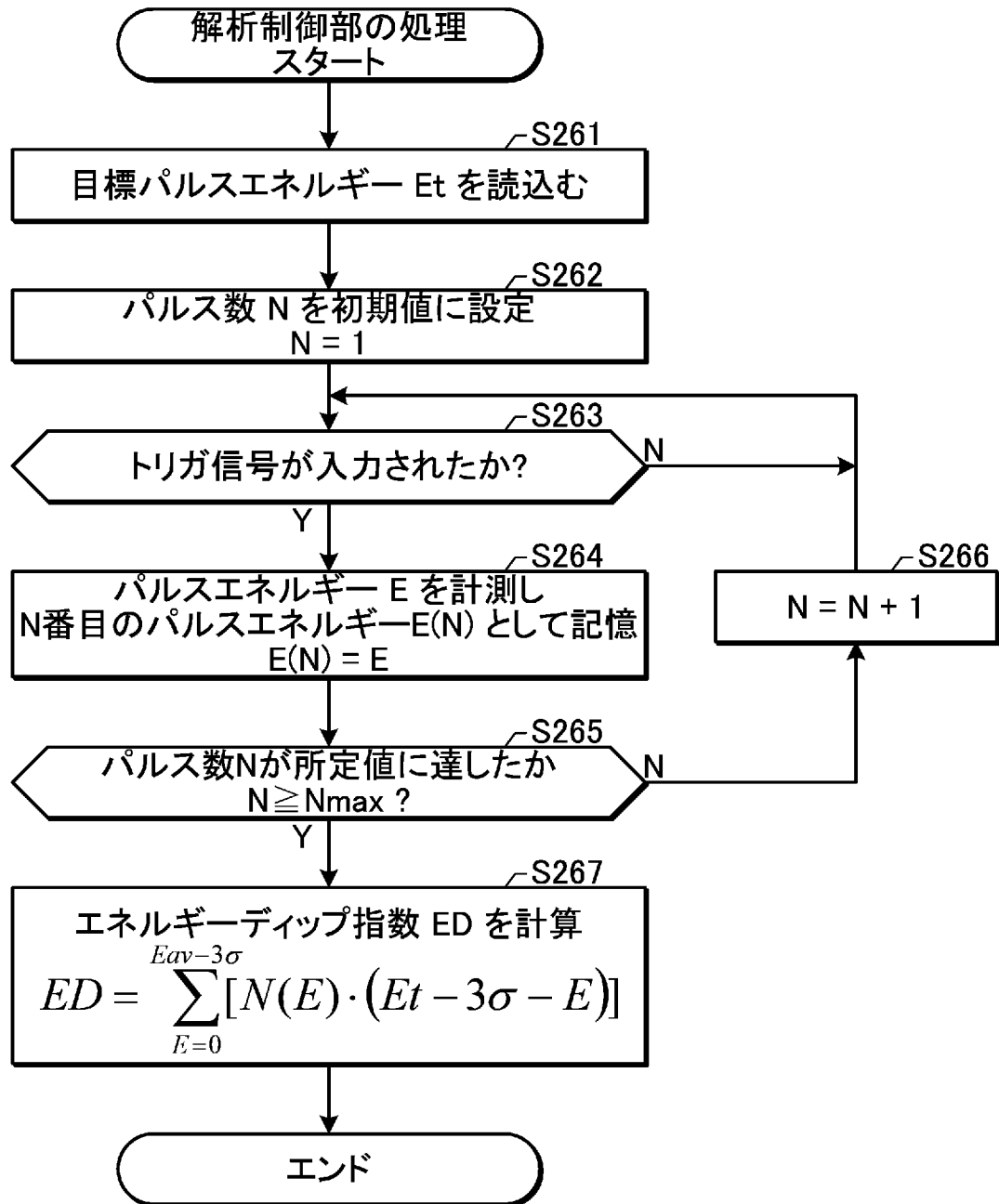
[図20]



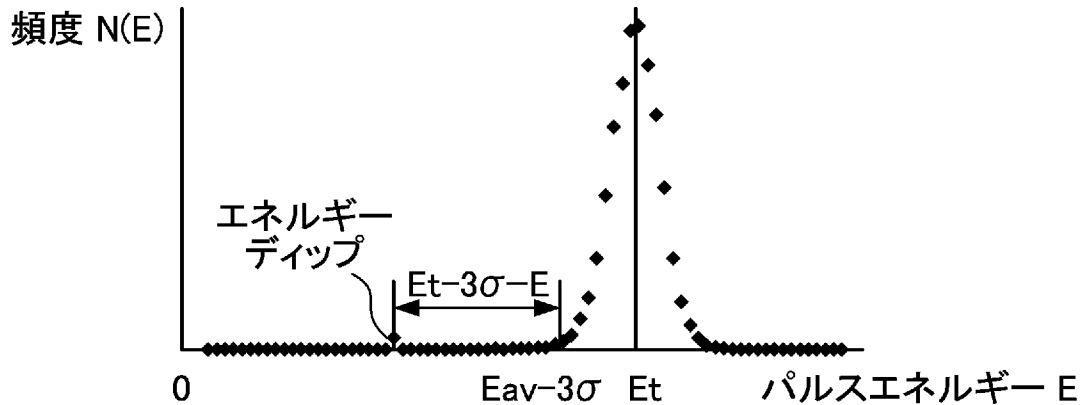
[図21]



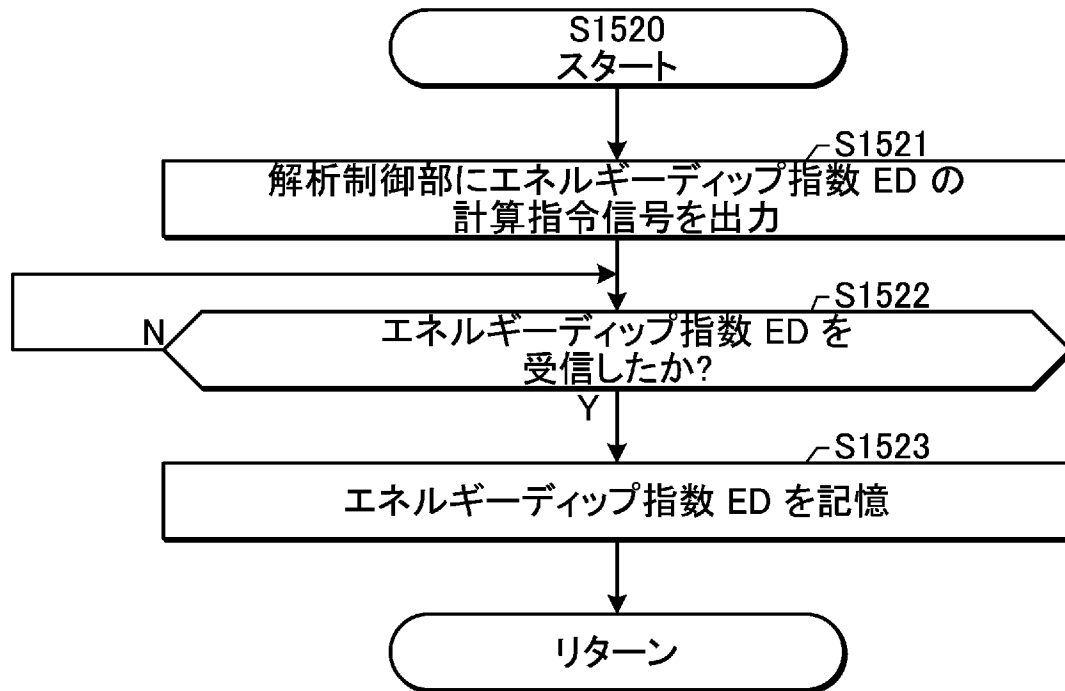
[図22]



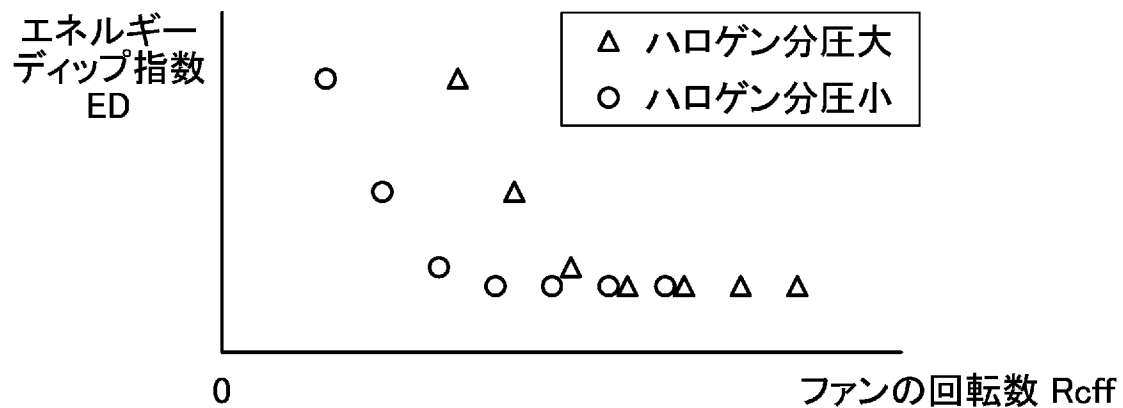
[図23]



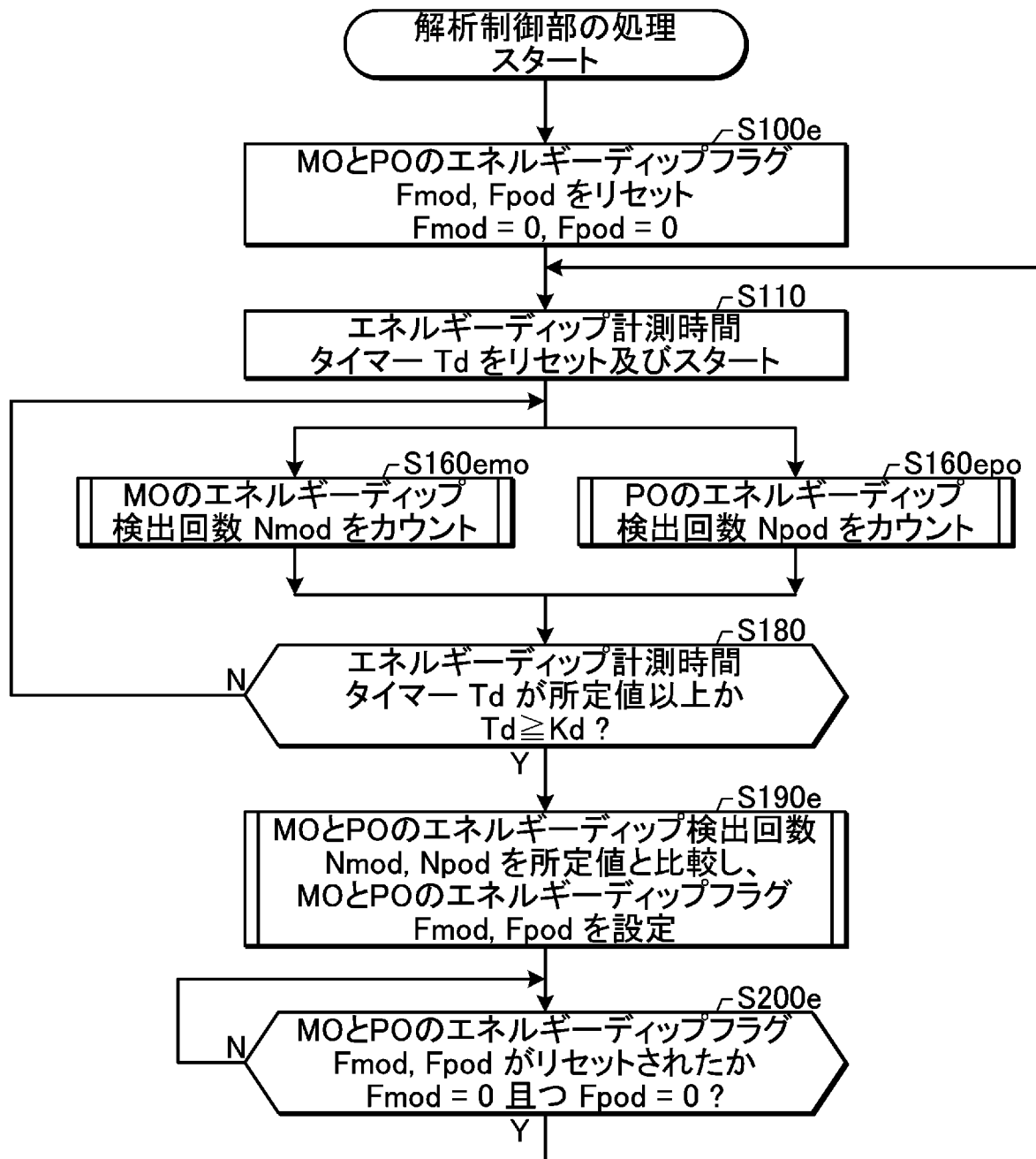
[図24]



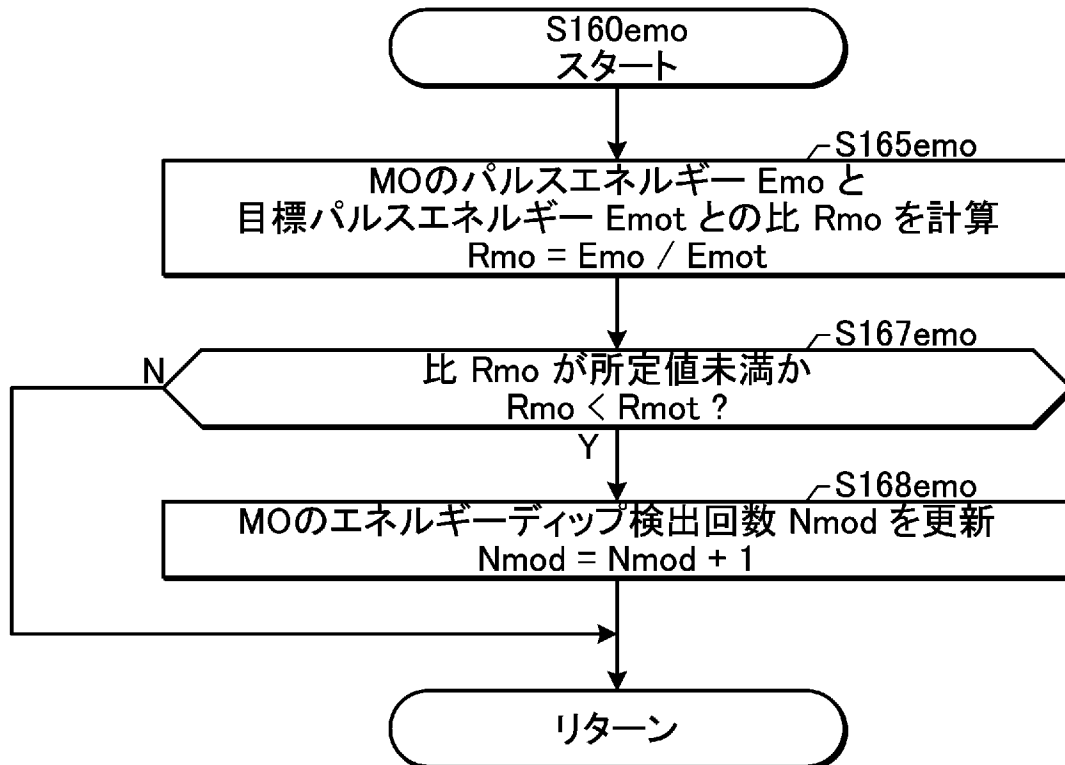
[図25]



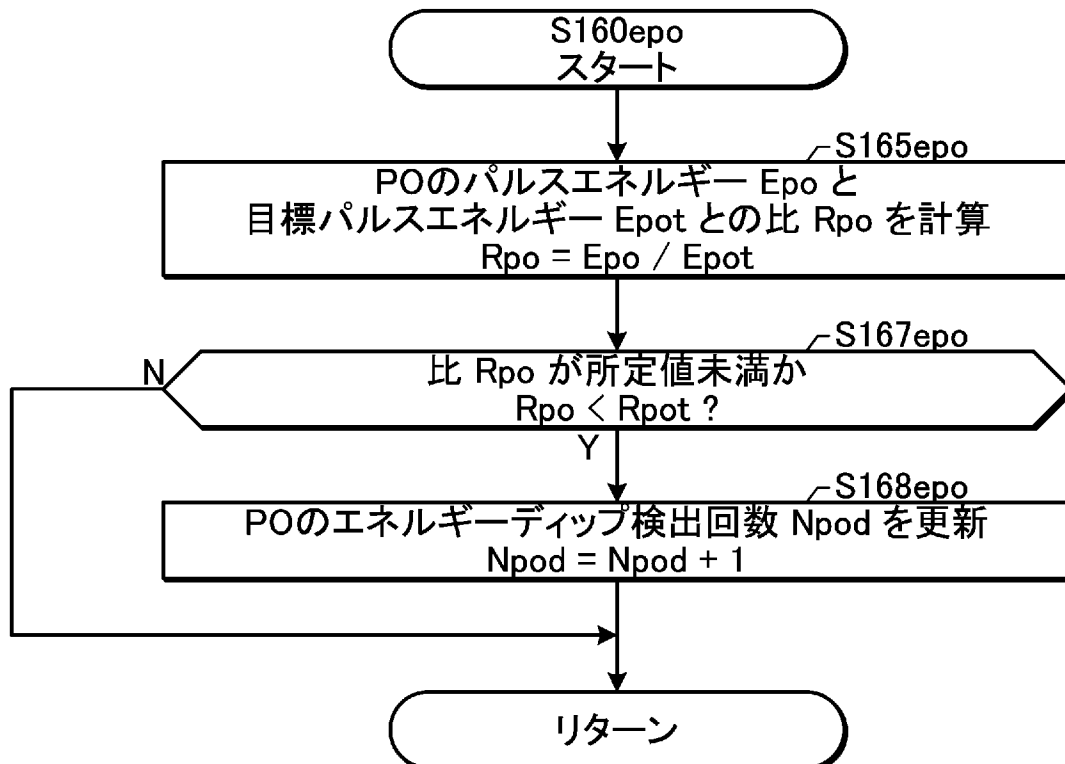
[図27]



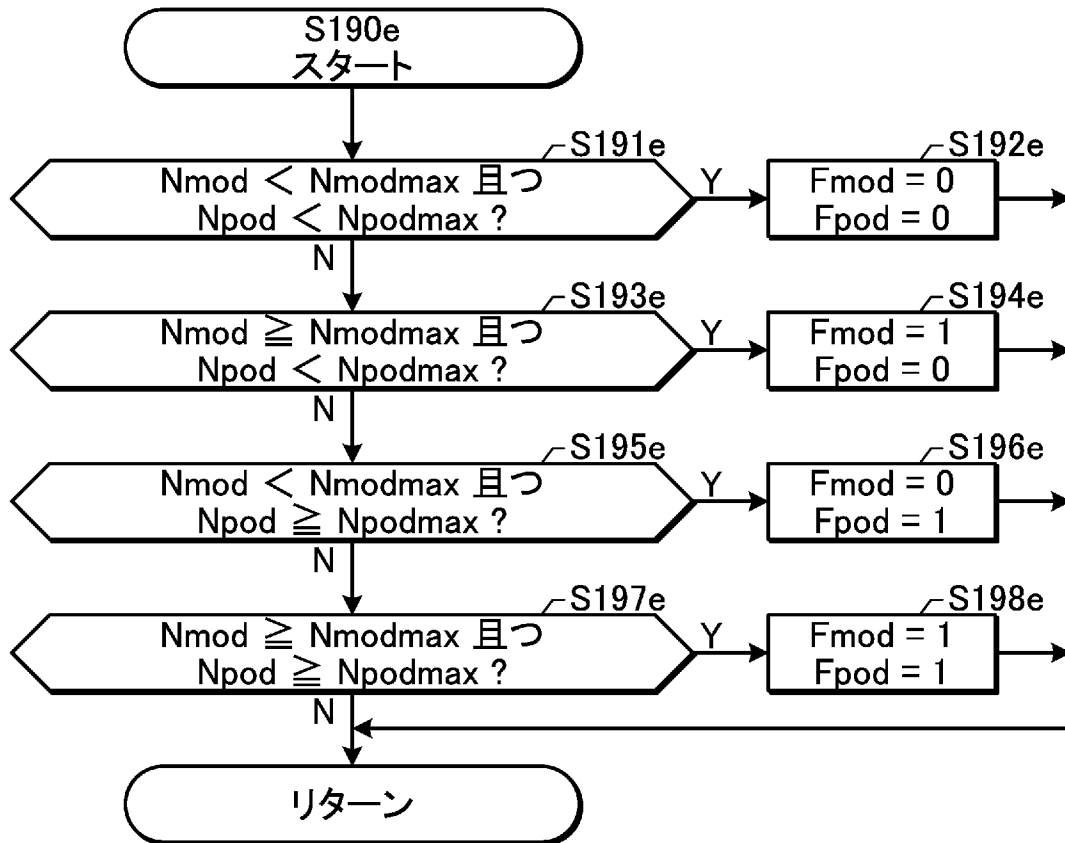
[図28]



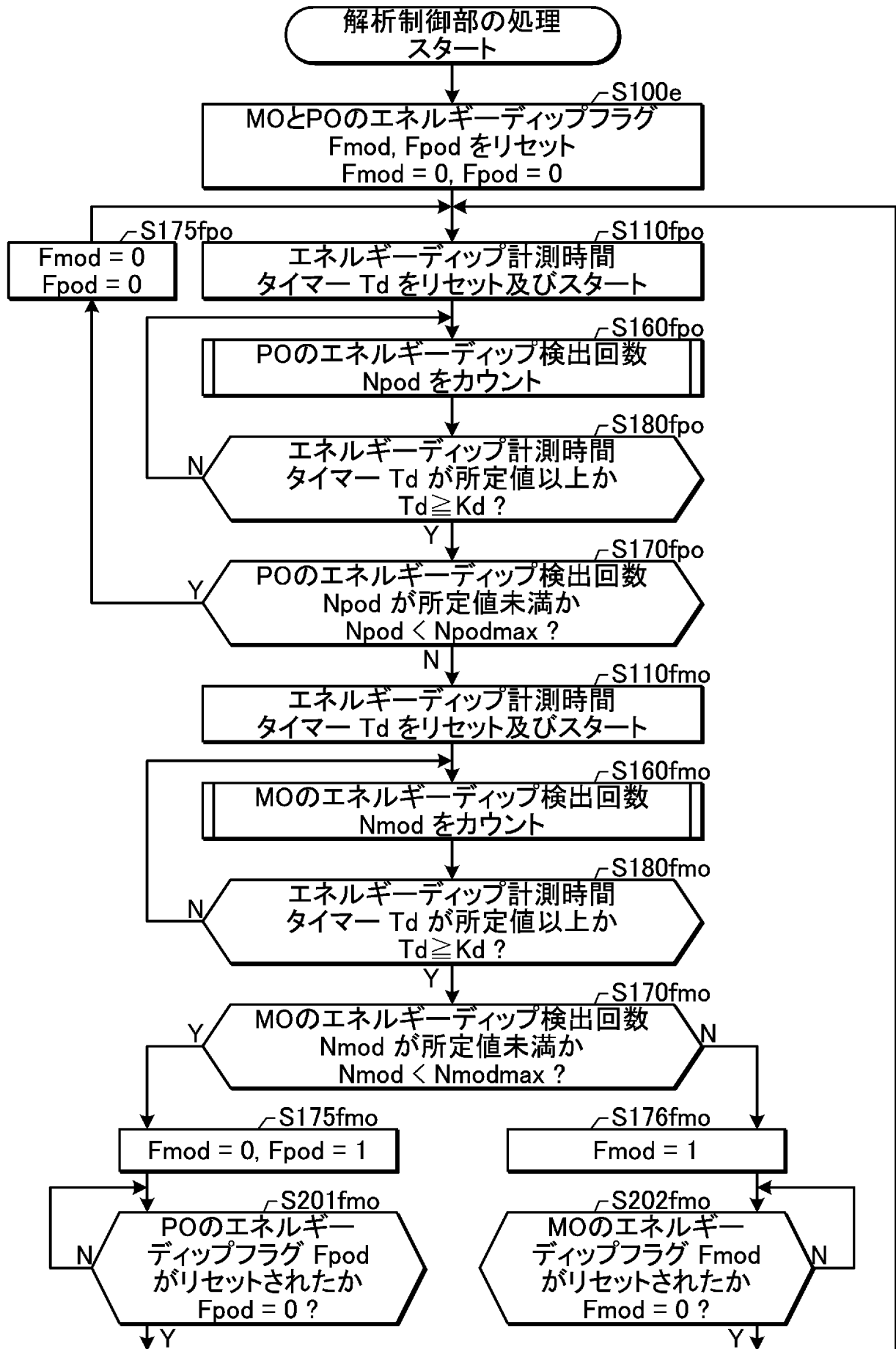
[図29]



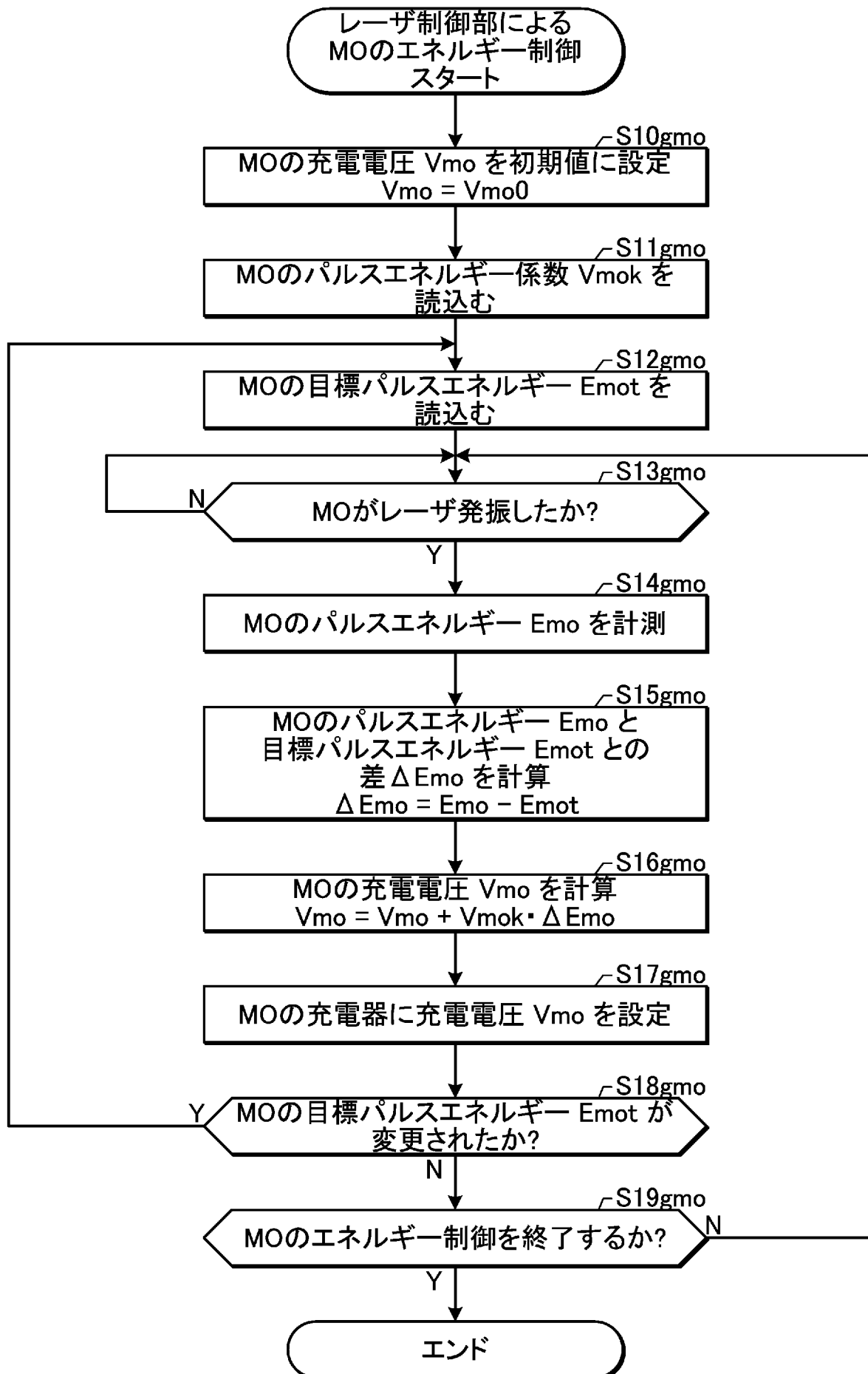
[図30]



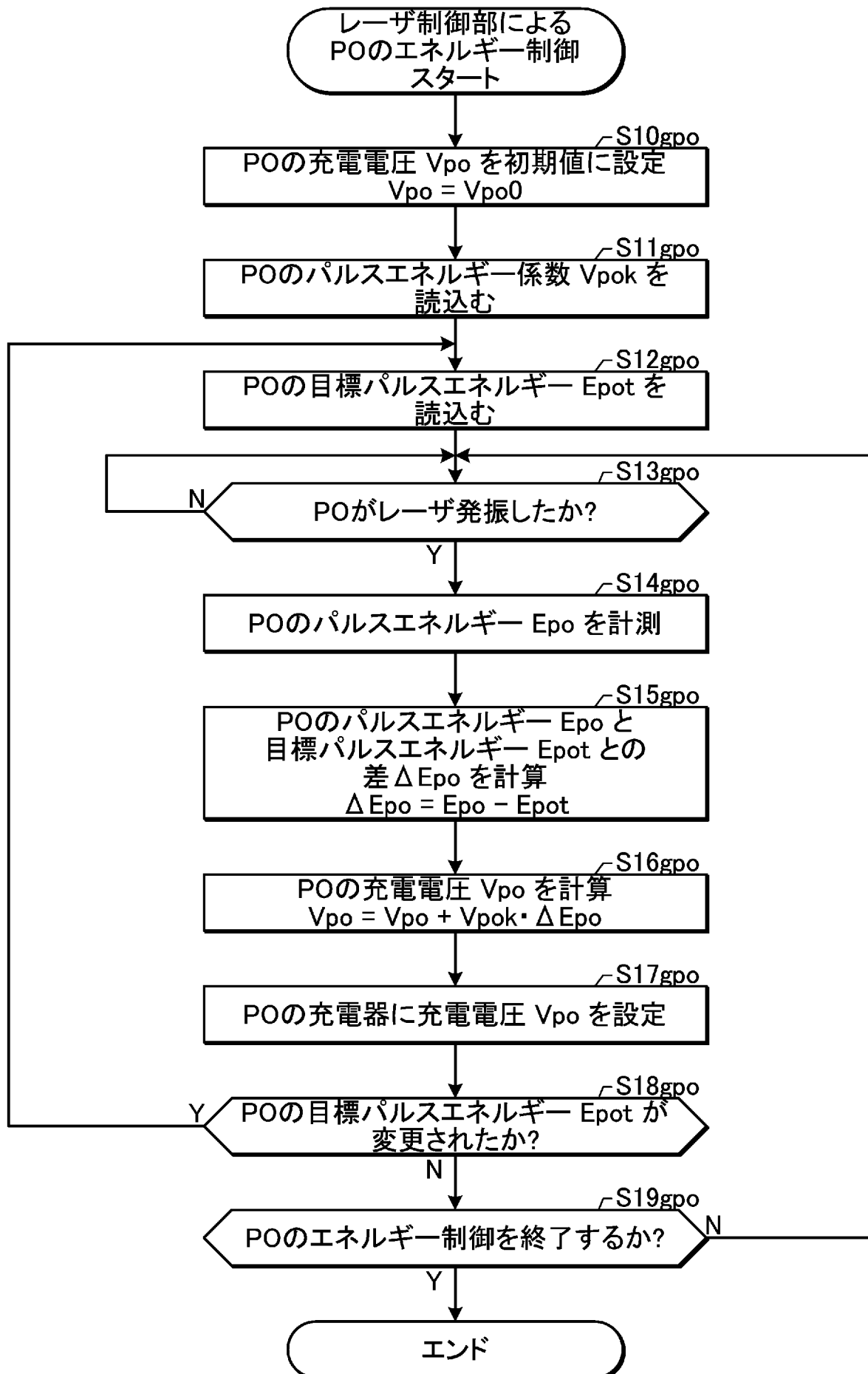
[図31]



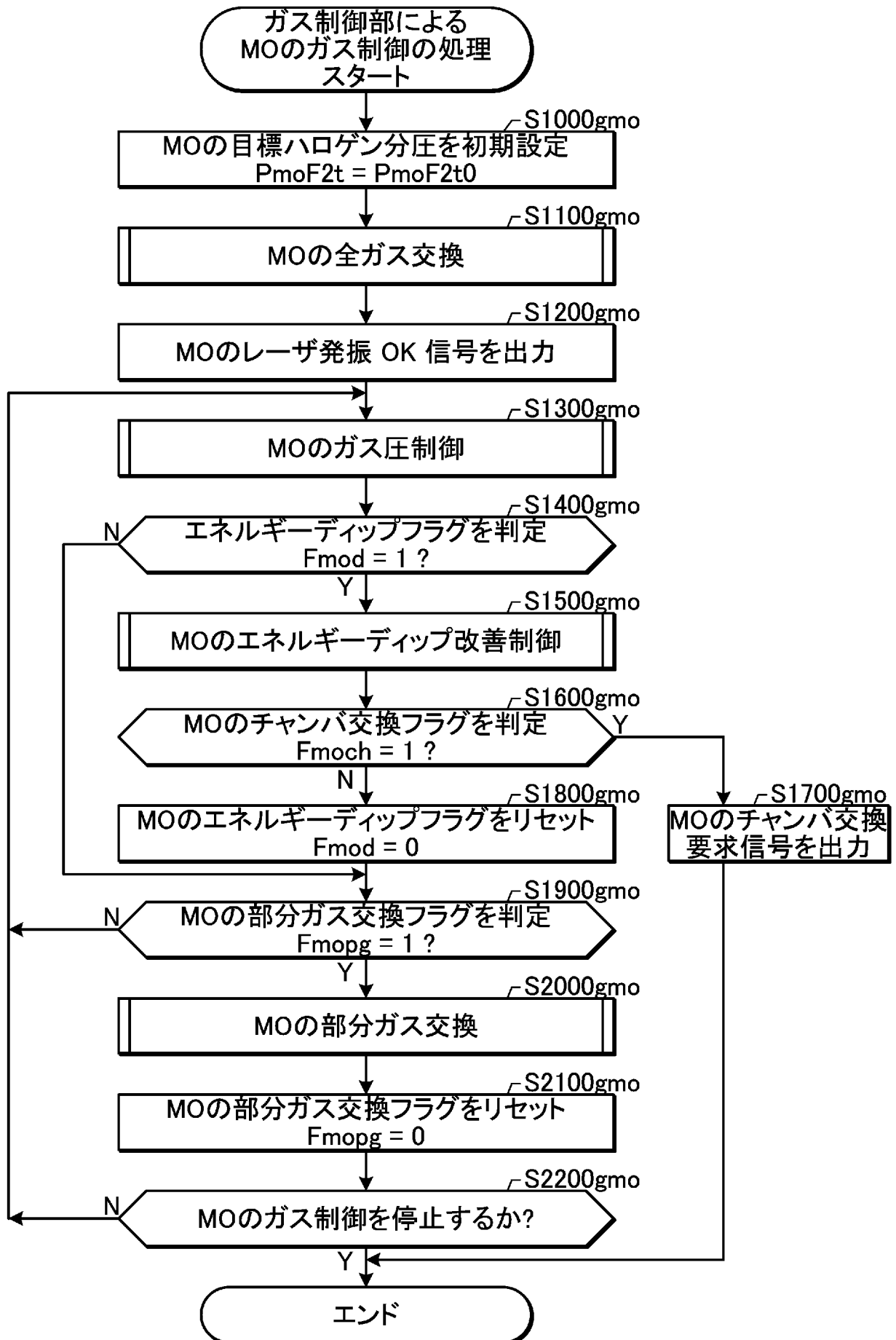
[図32]



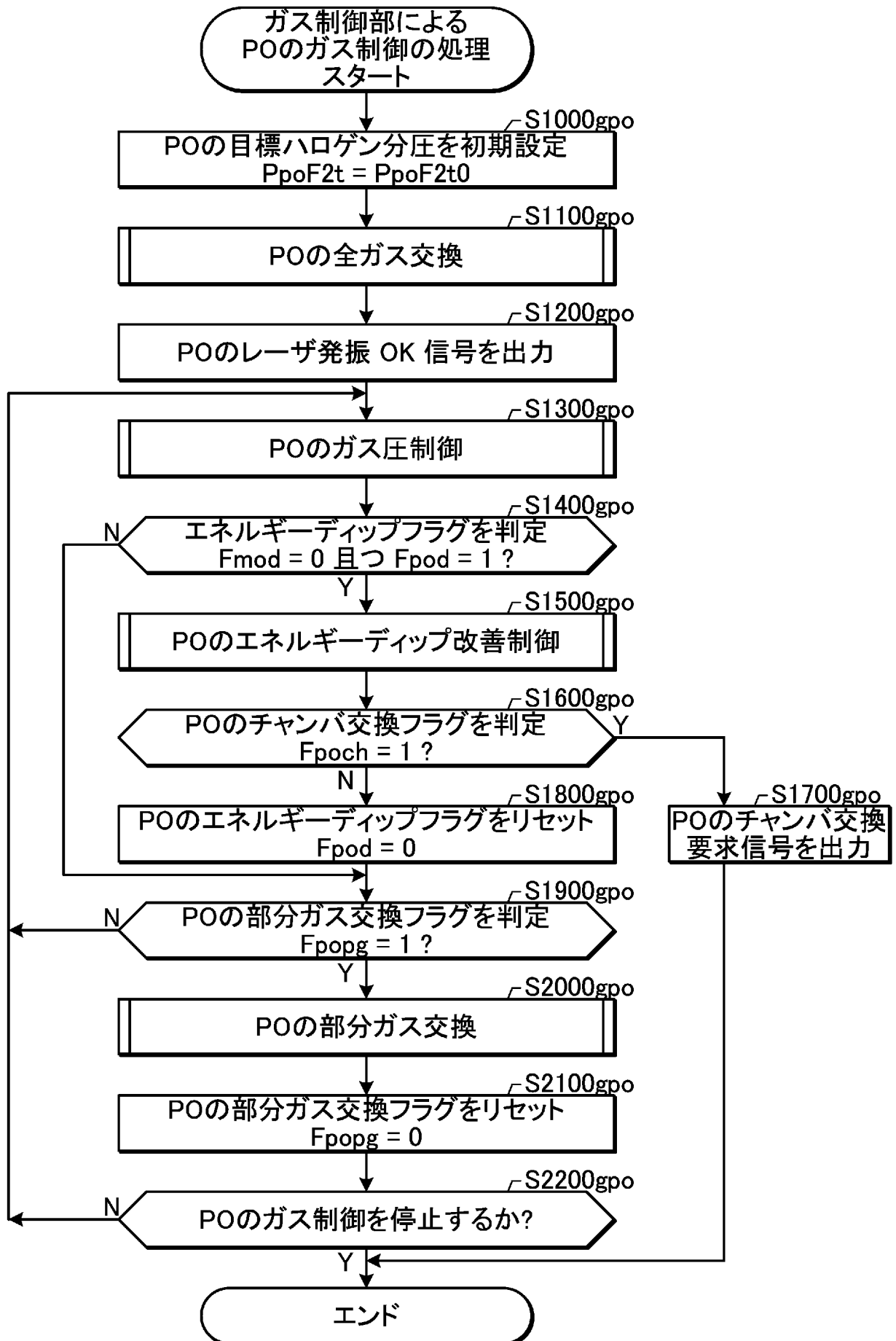
[図33]



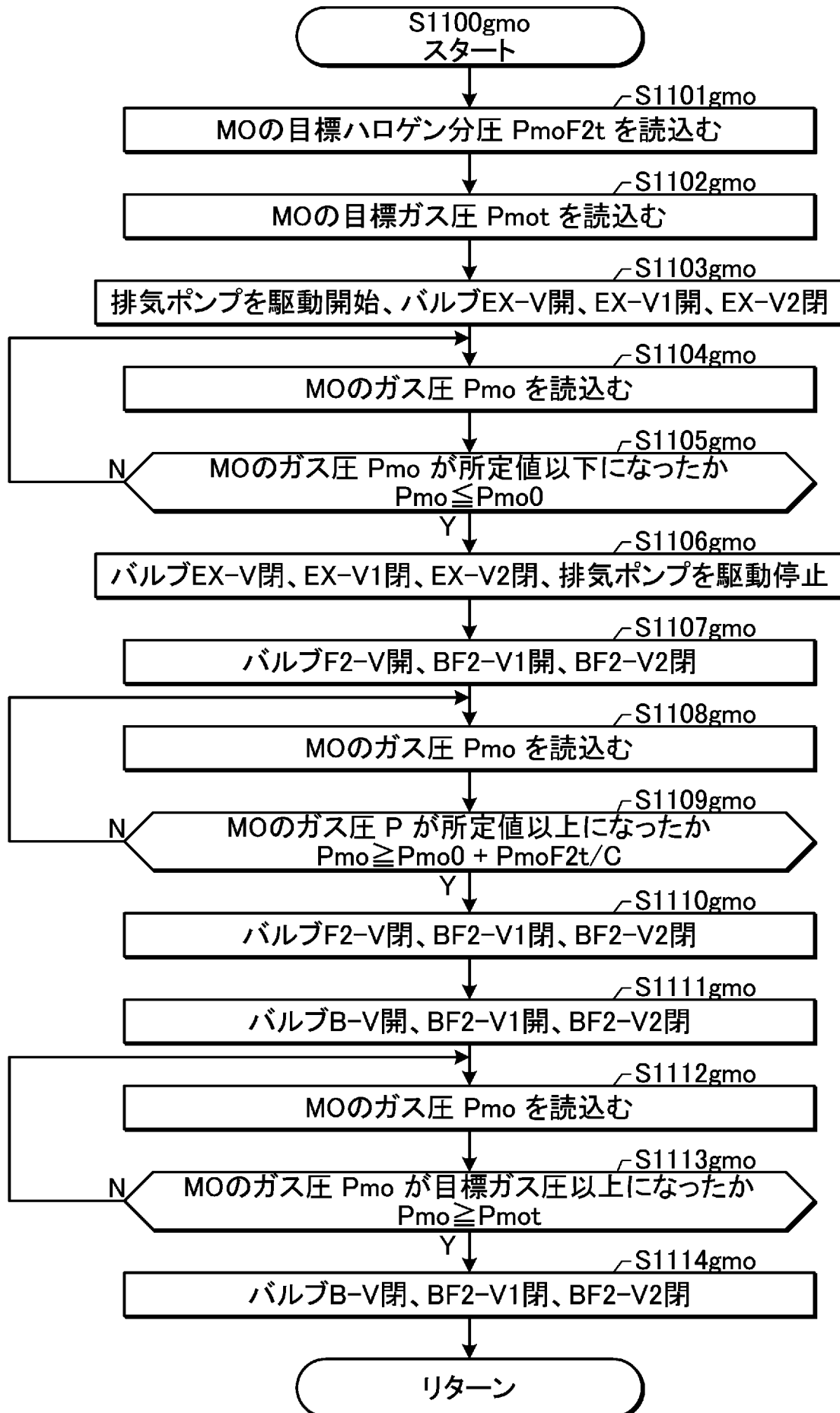
[図34]



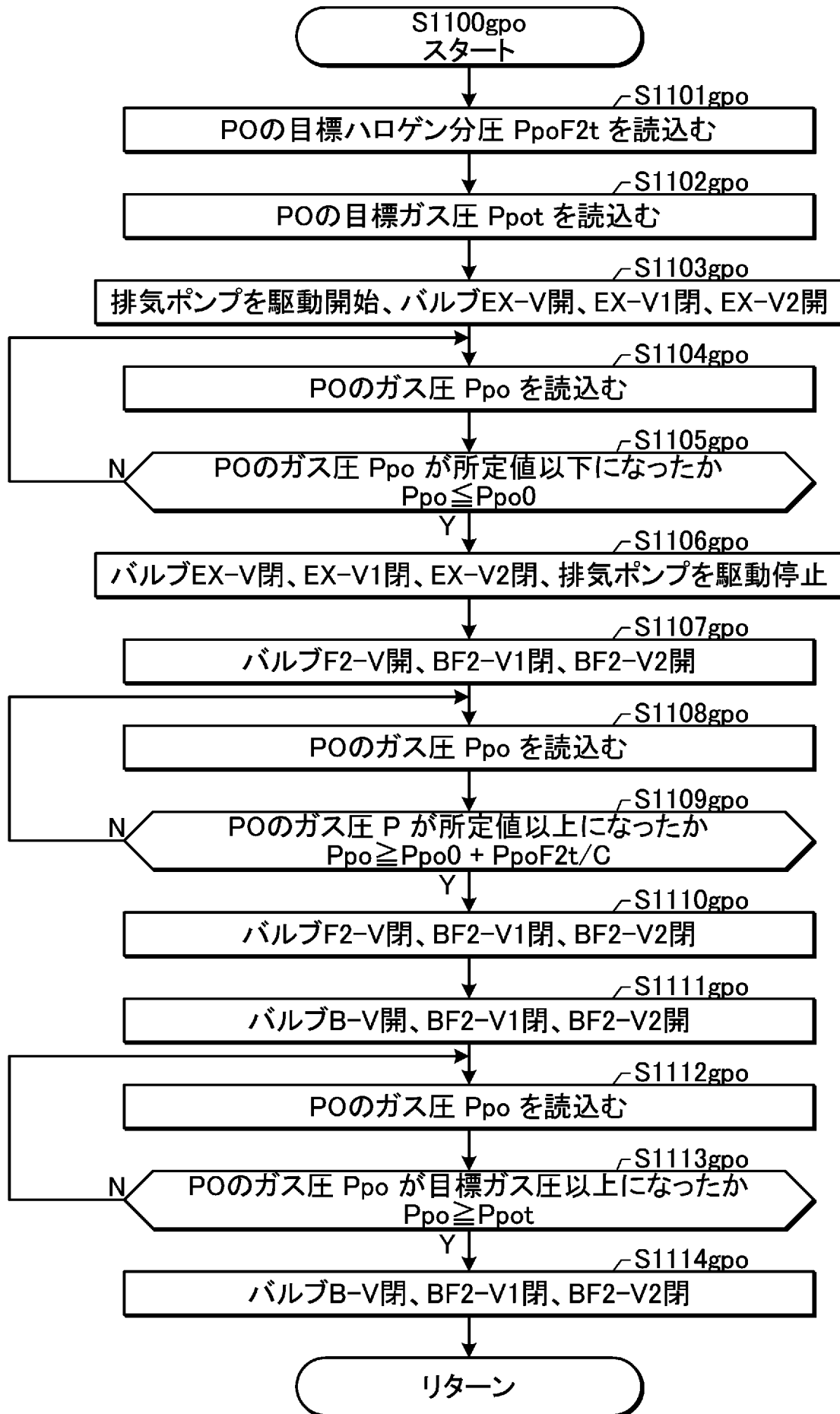
[図35]



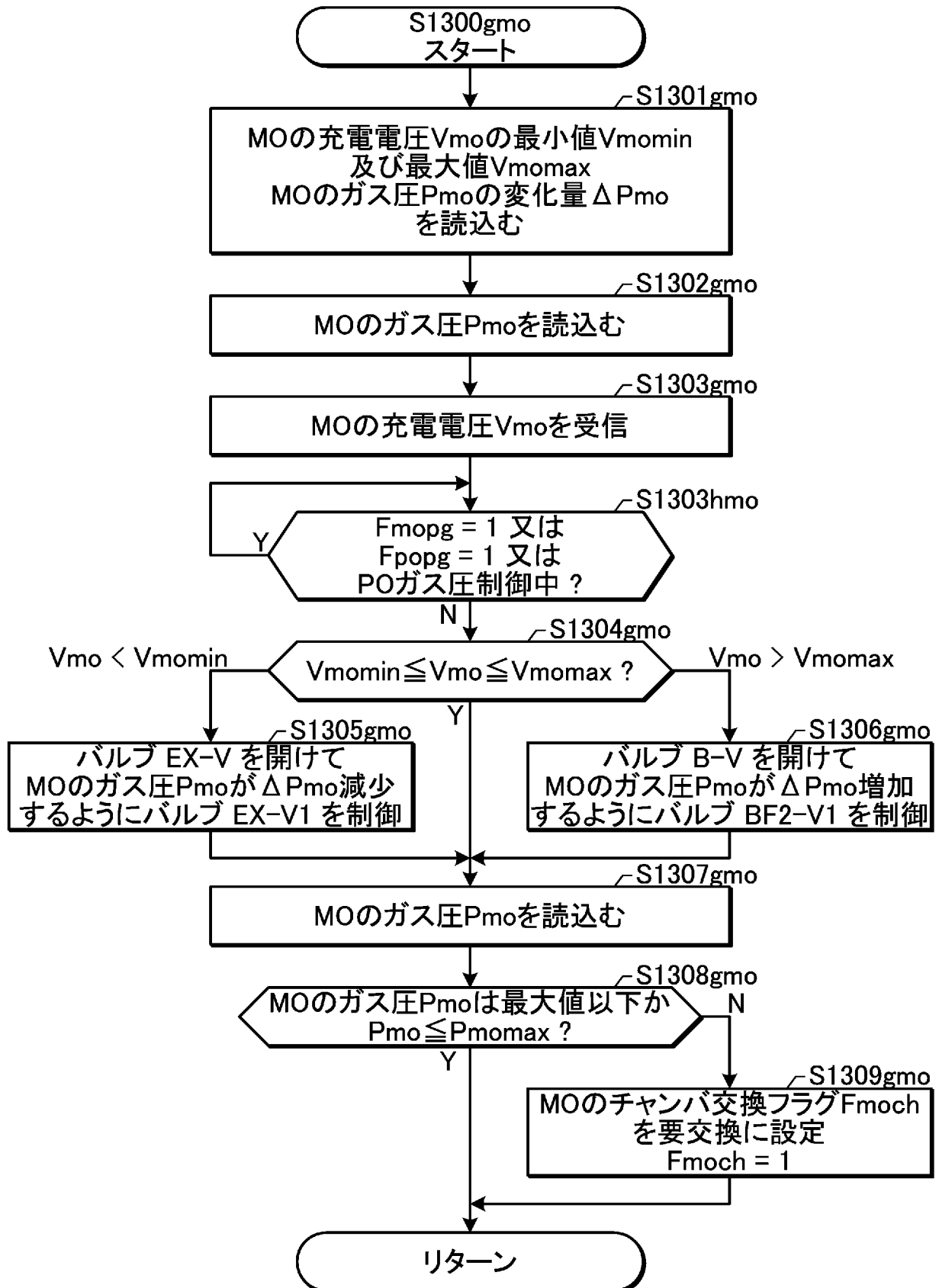
[図36]



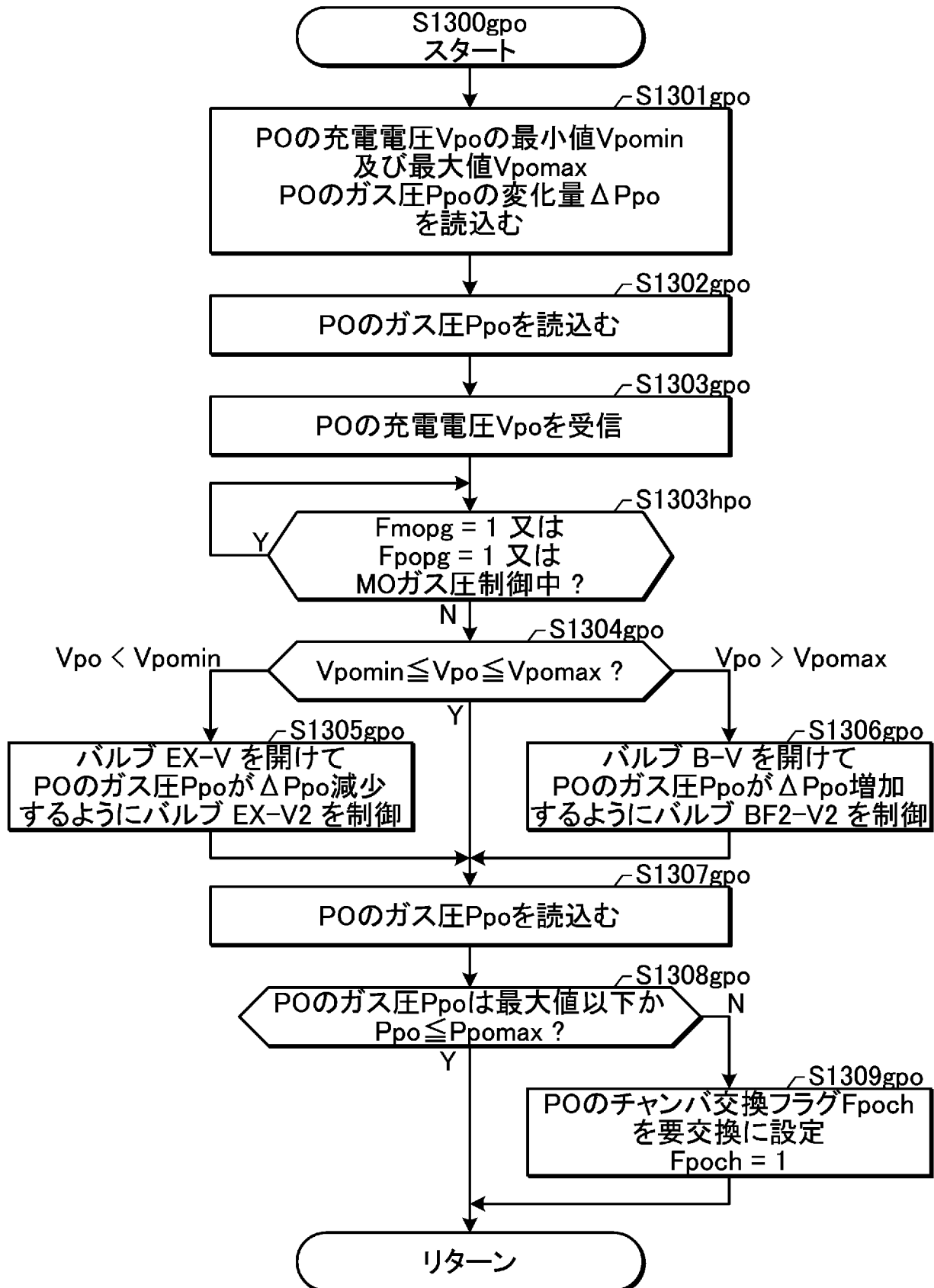
[図37]



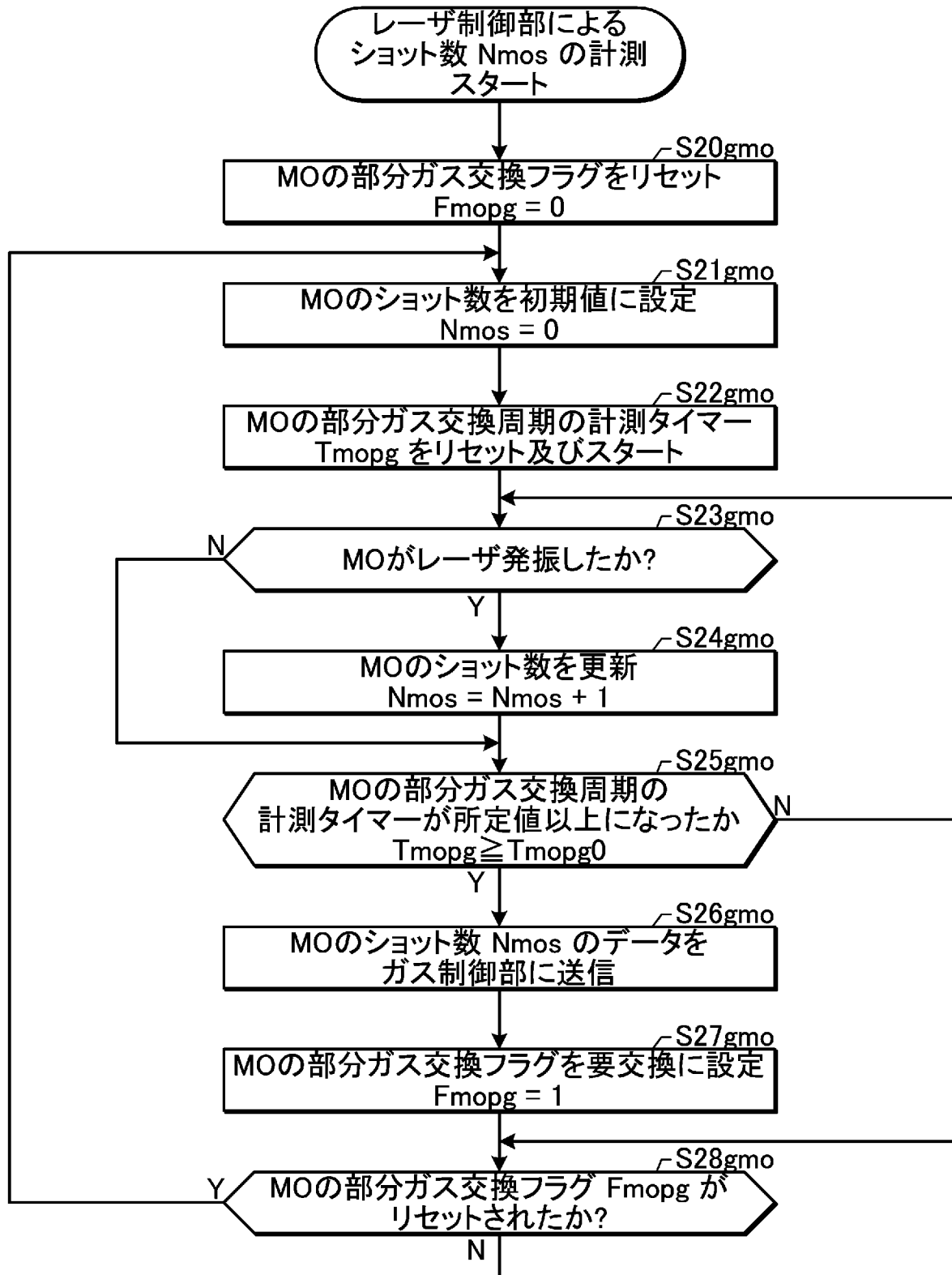
[図38]



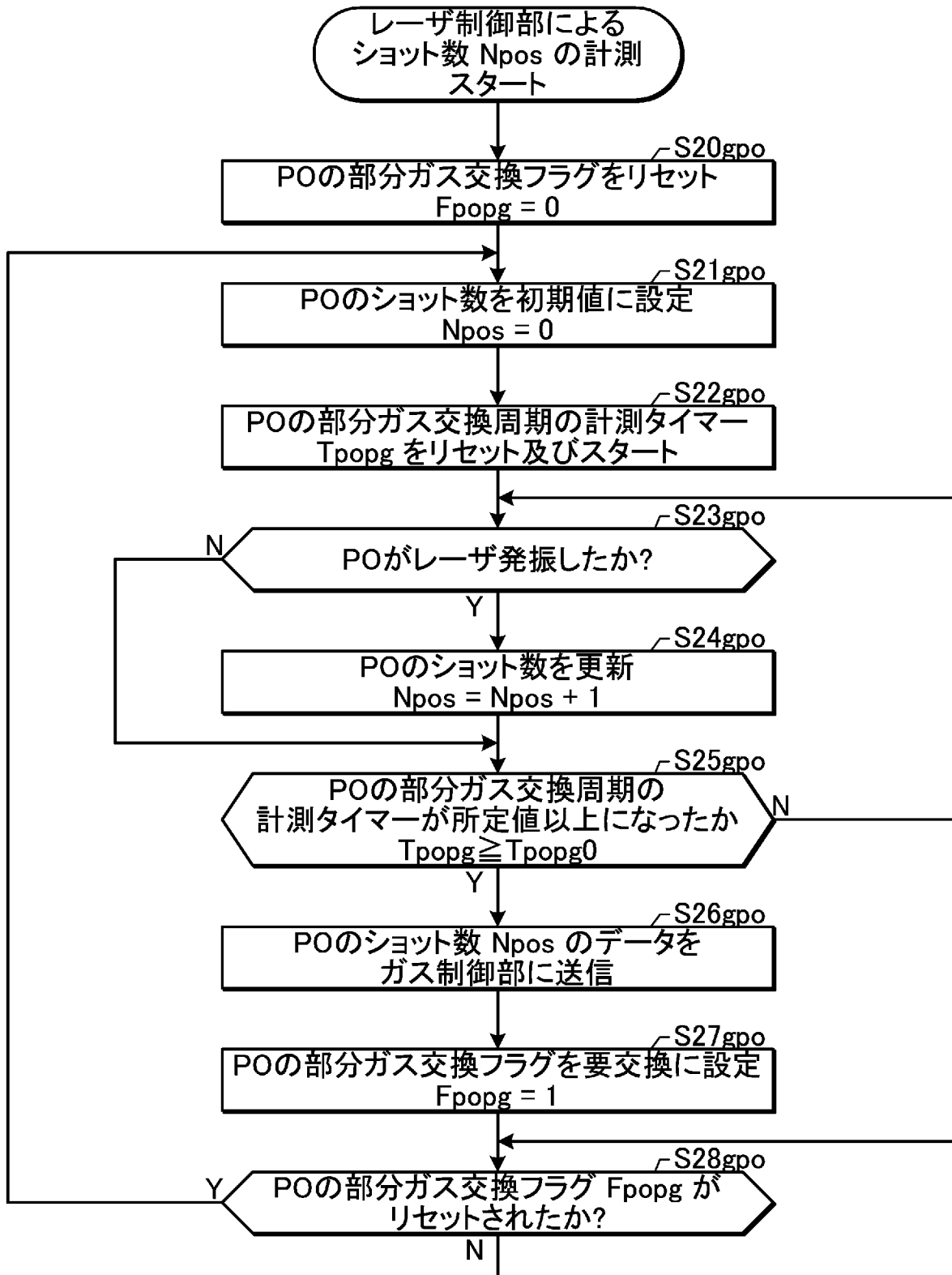
[図39]



[図40]



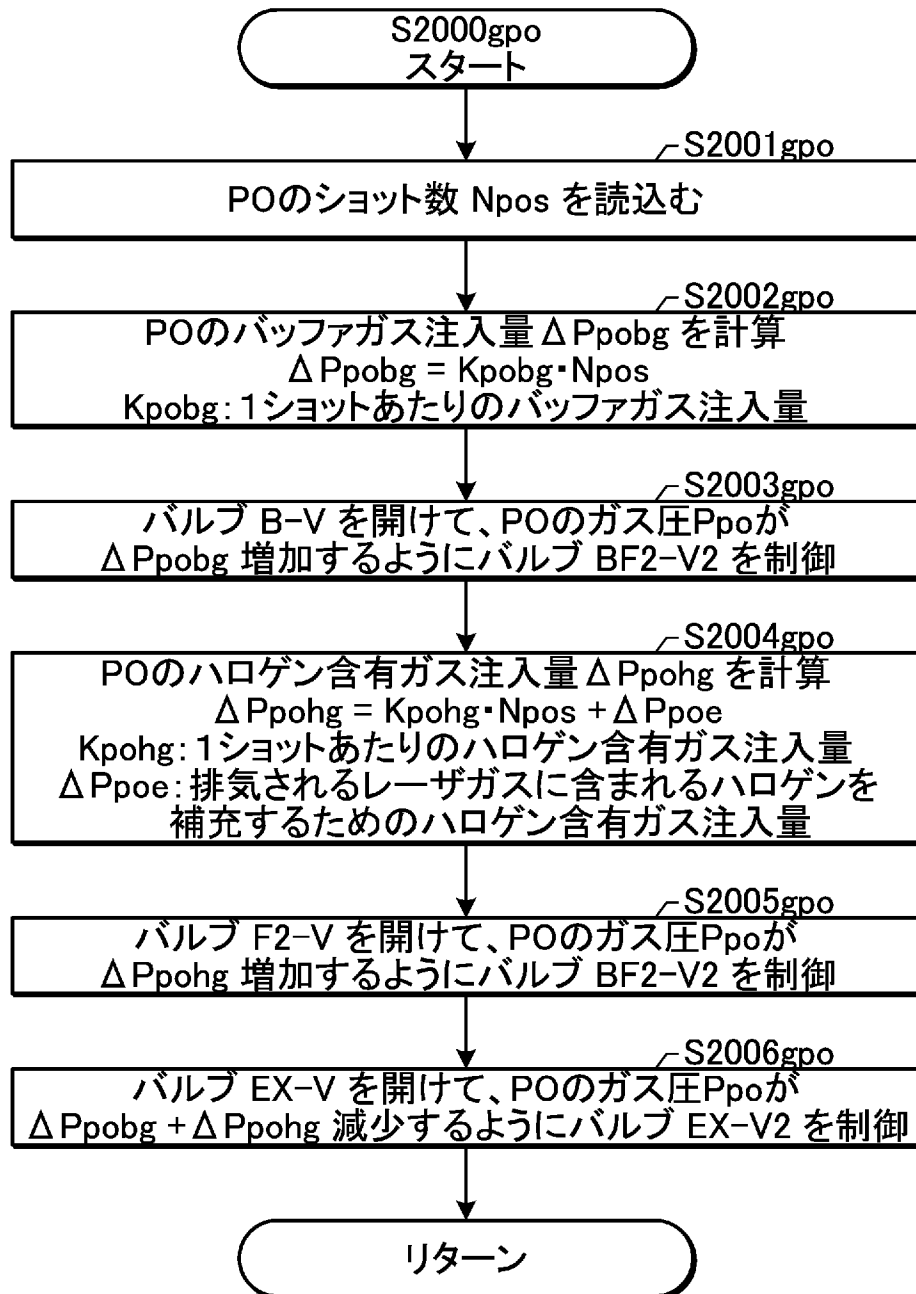
[図41]



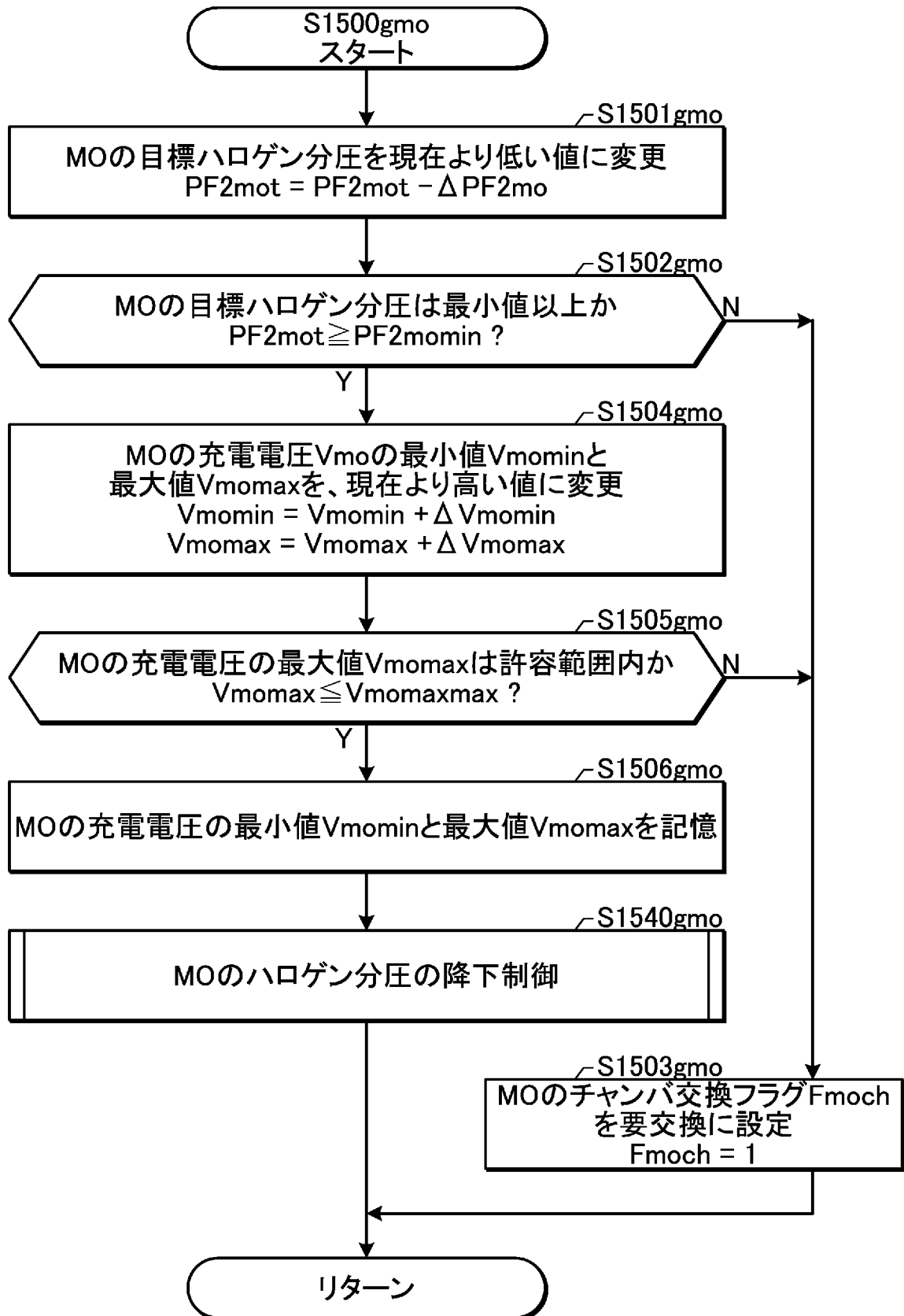
[図42]



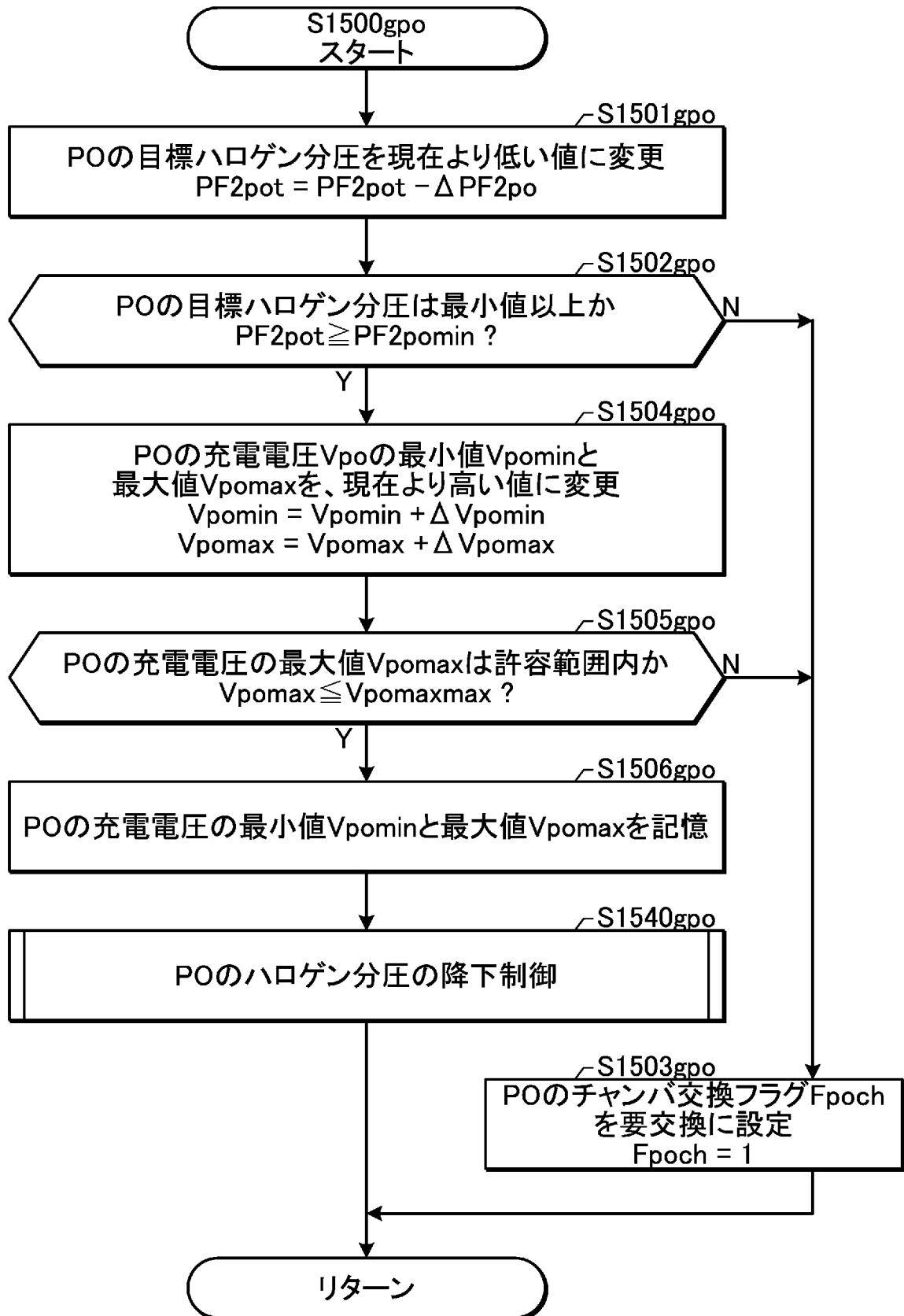
[図43]



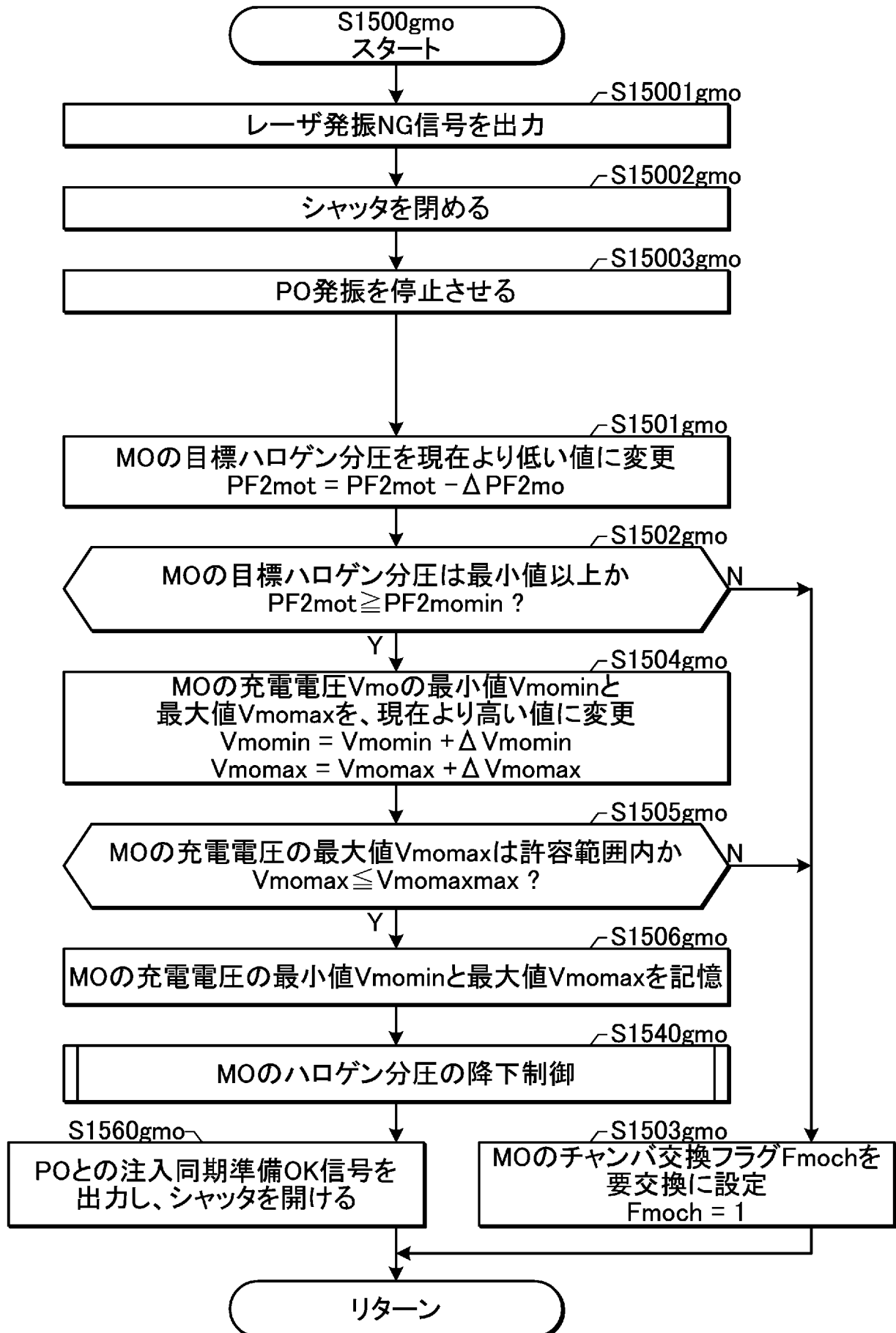
[図44]



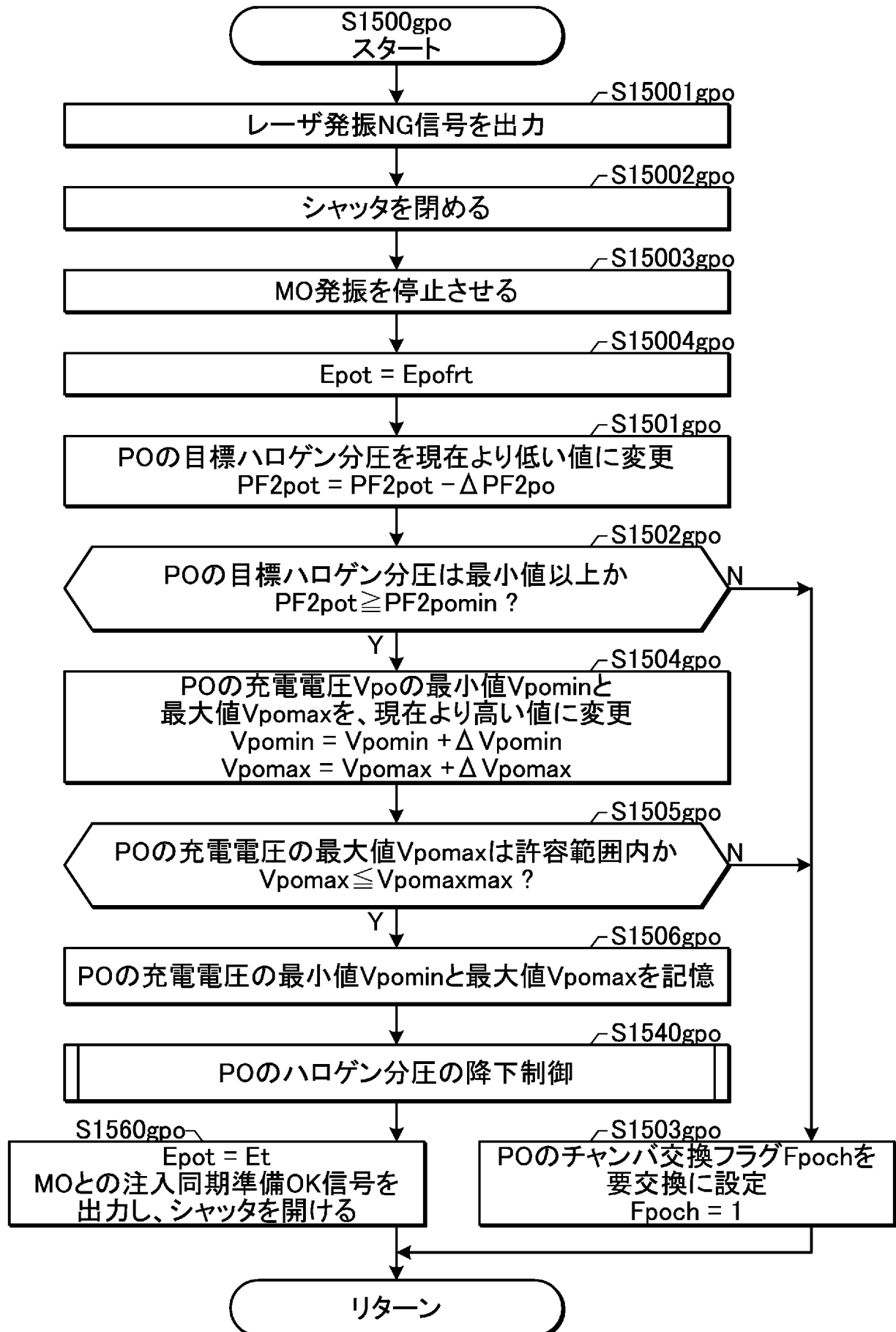
[図45]



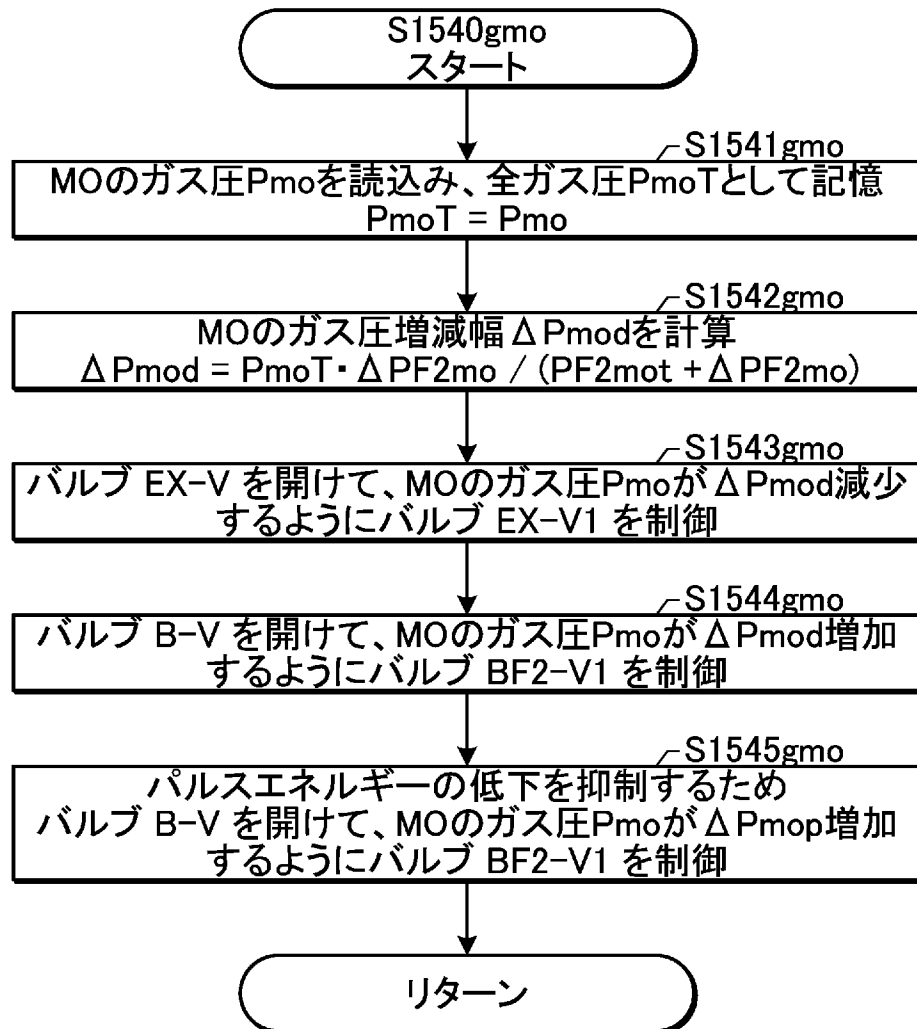
[図46]



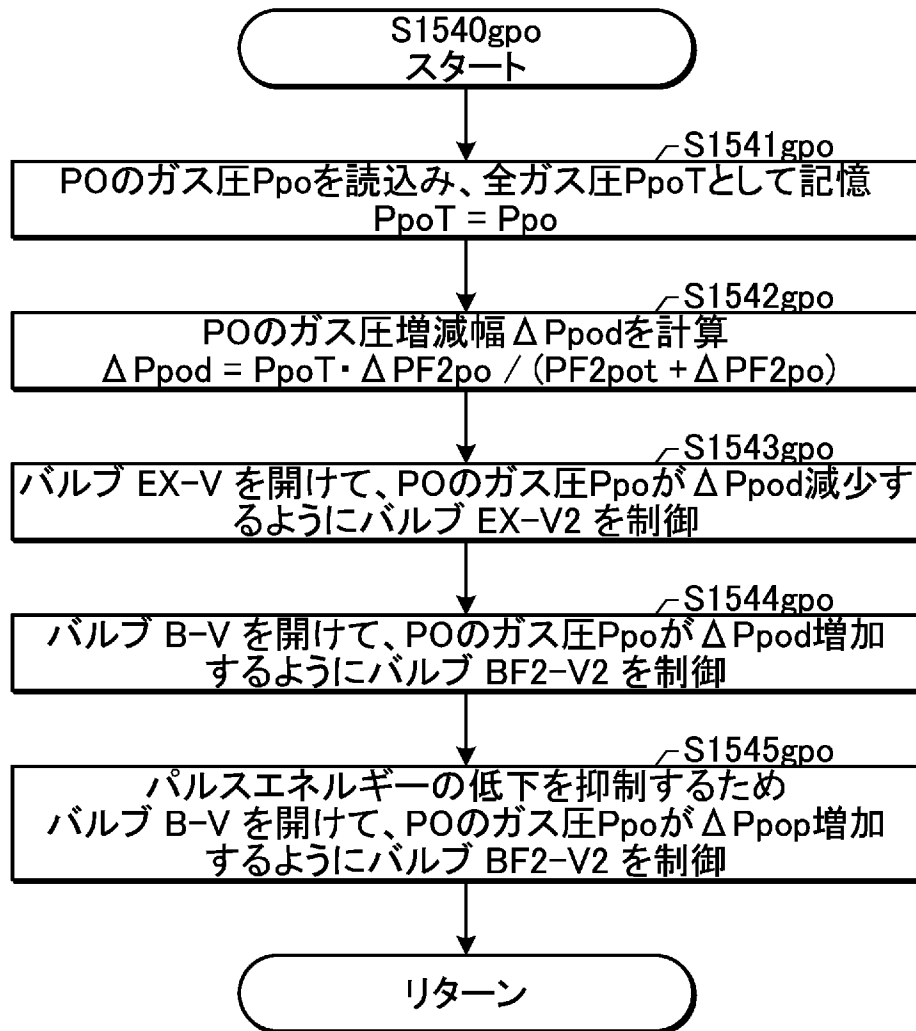
[図47]



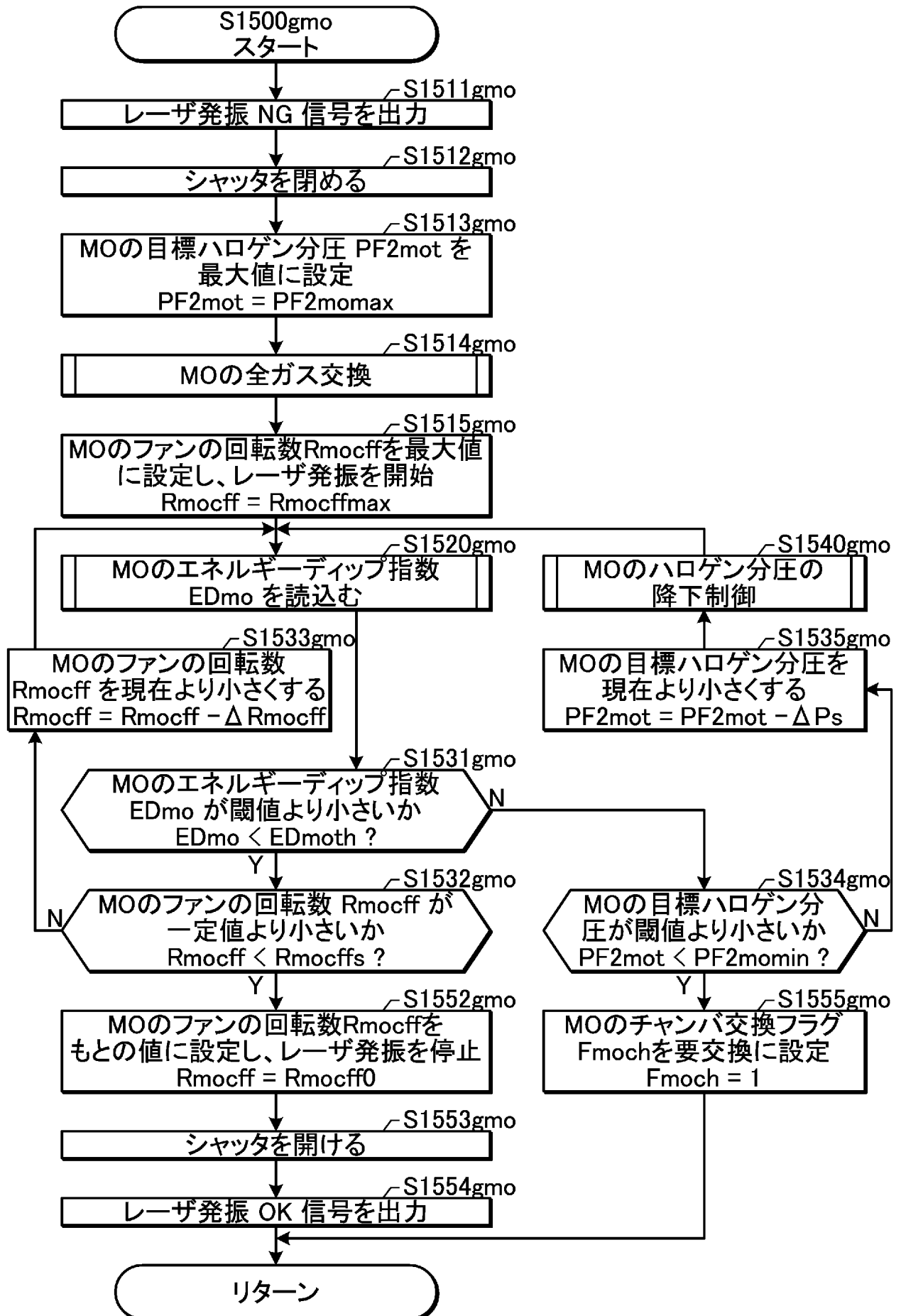
[図48]



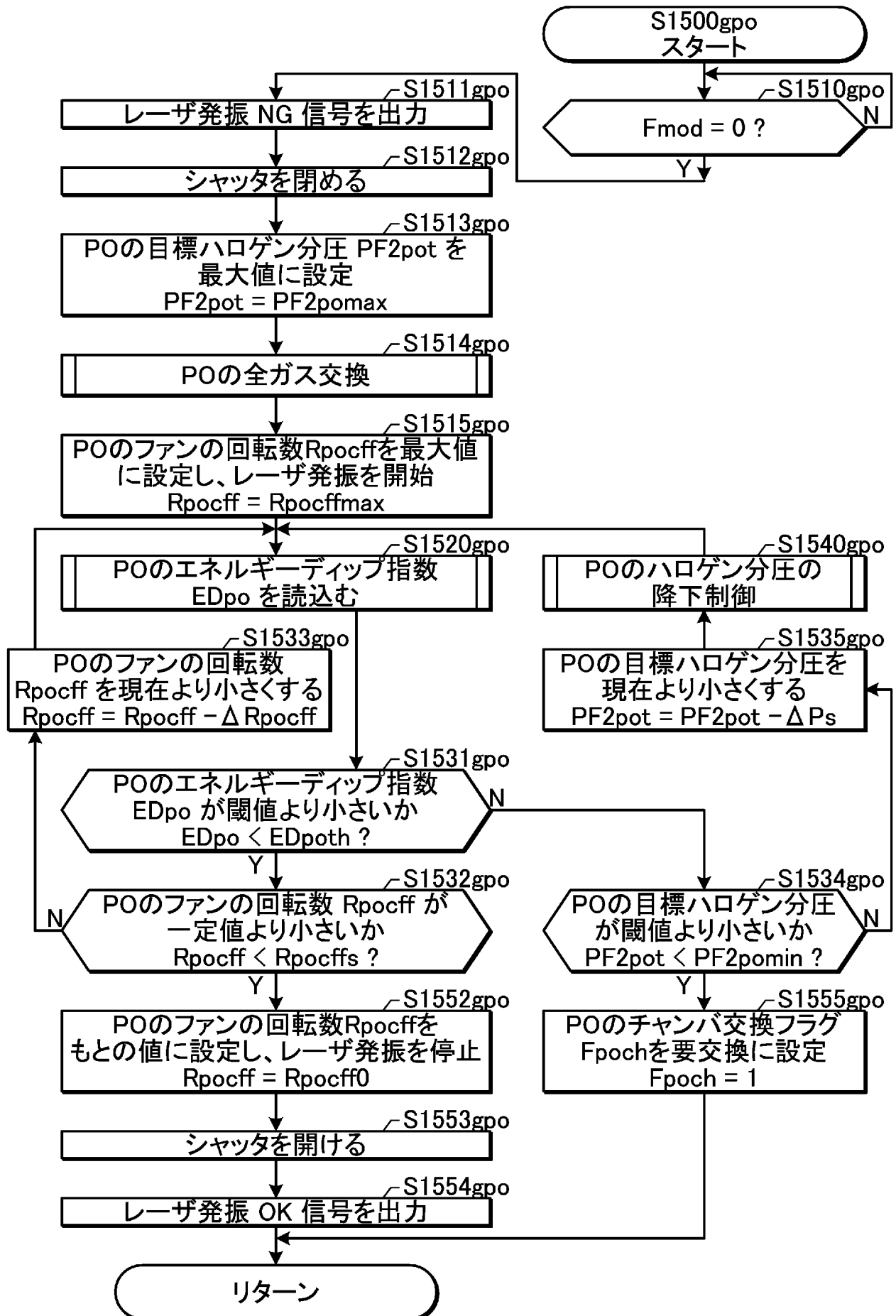
[図49]



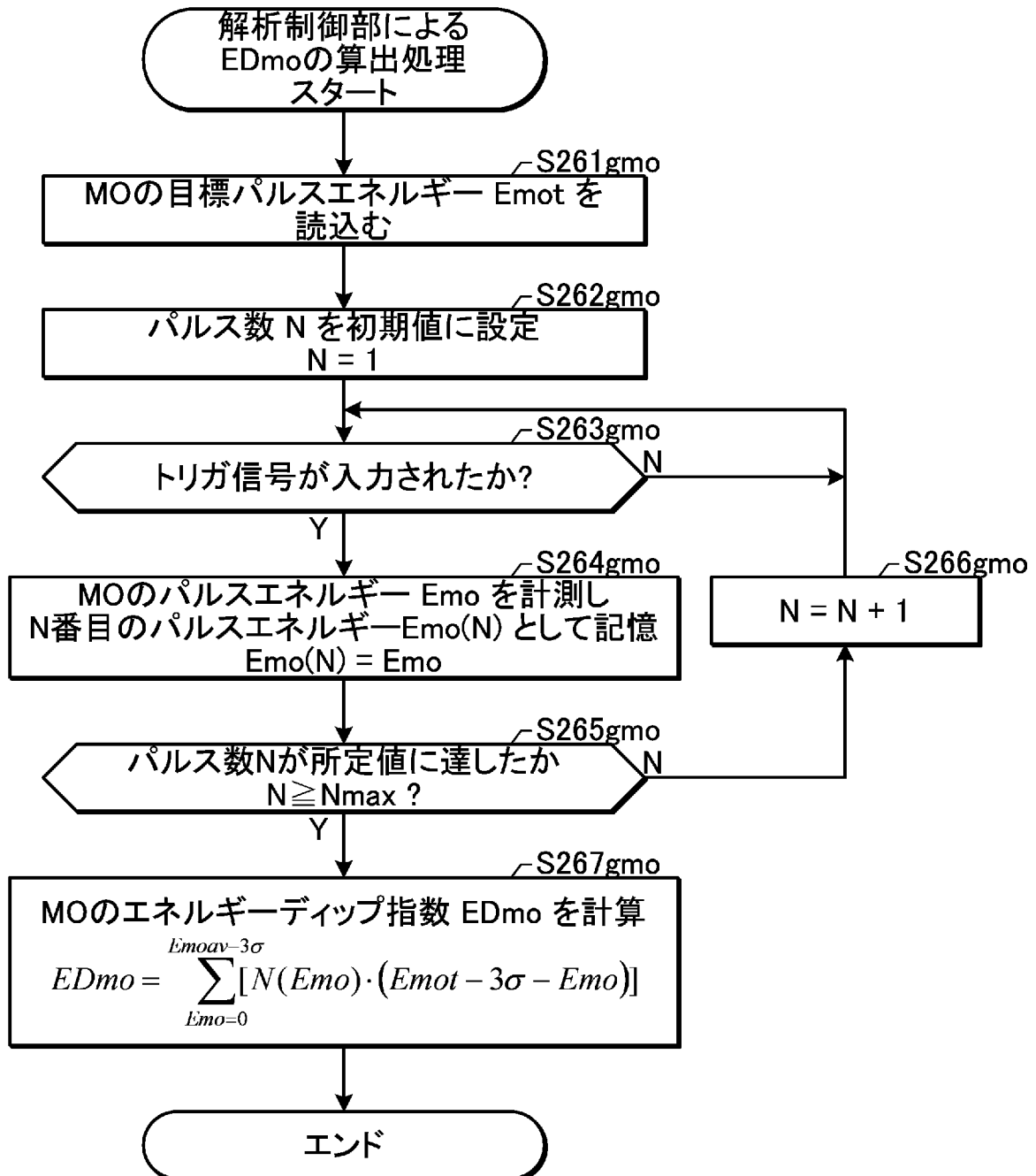
[図50]



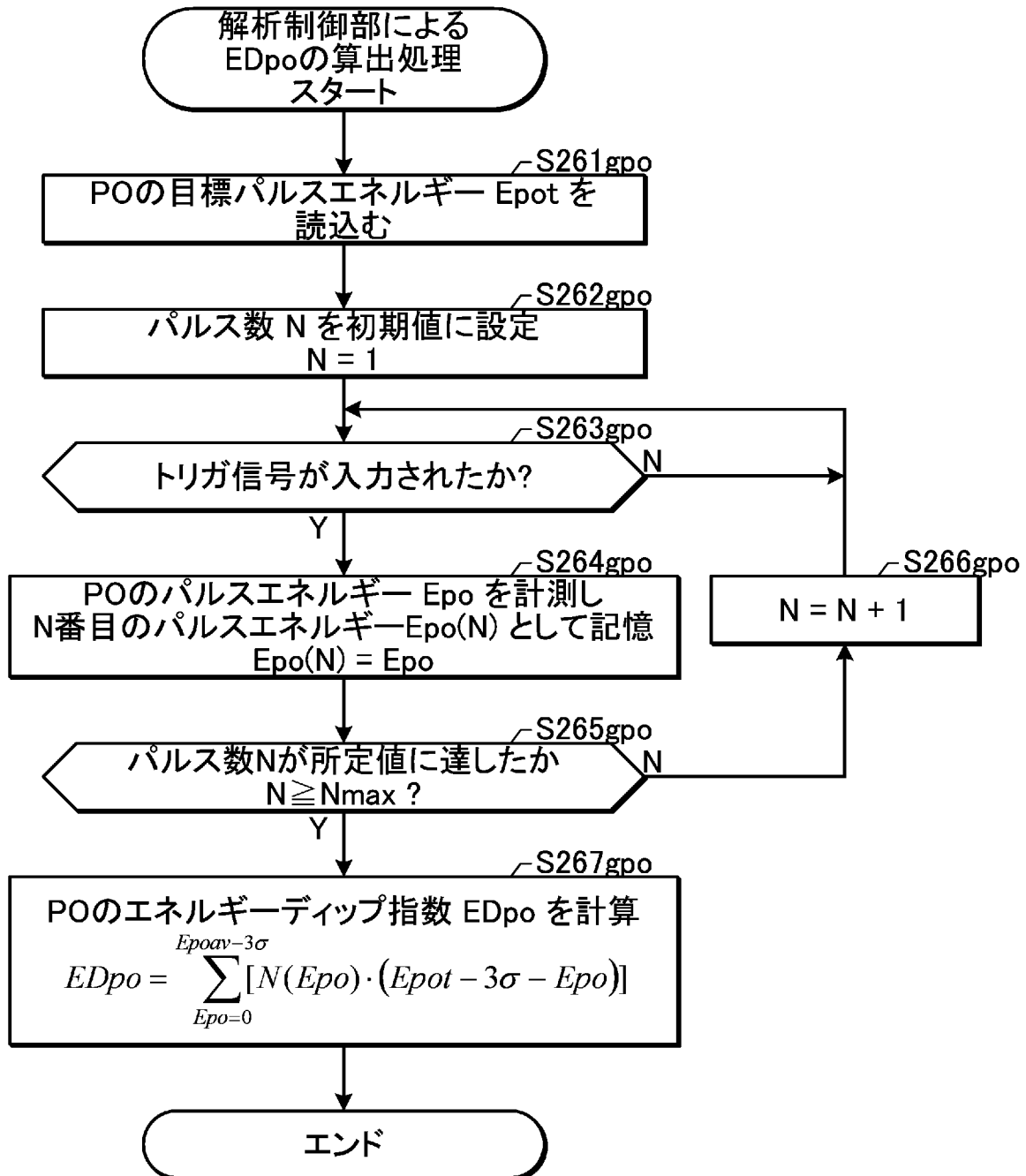
[図51]



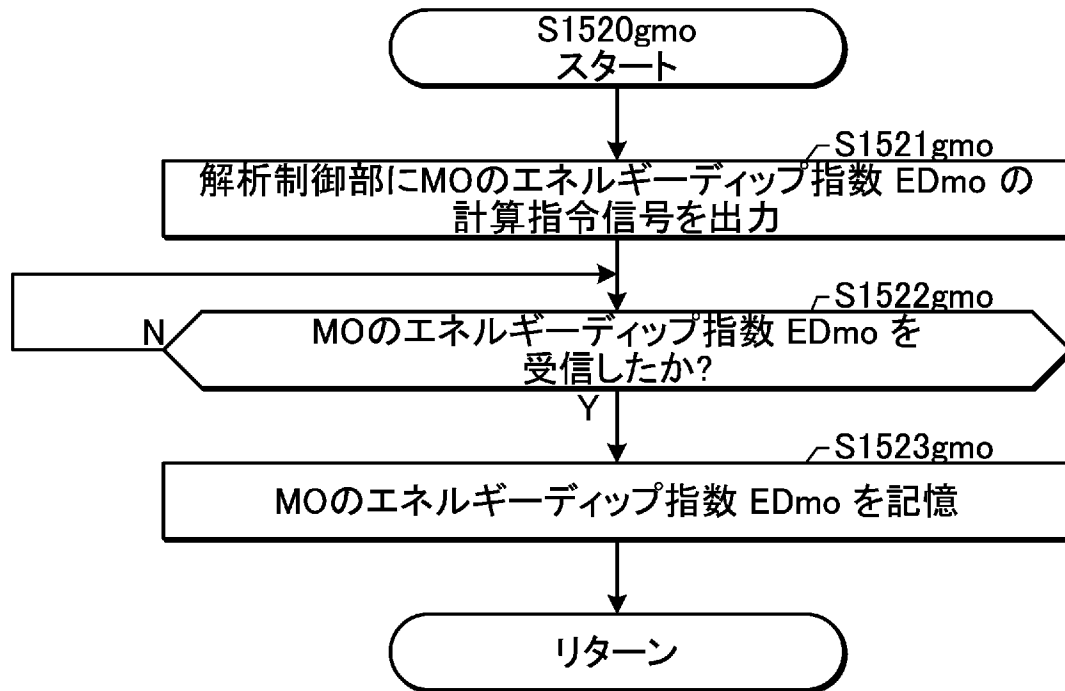
[図52]



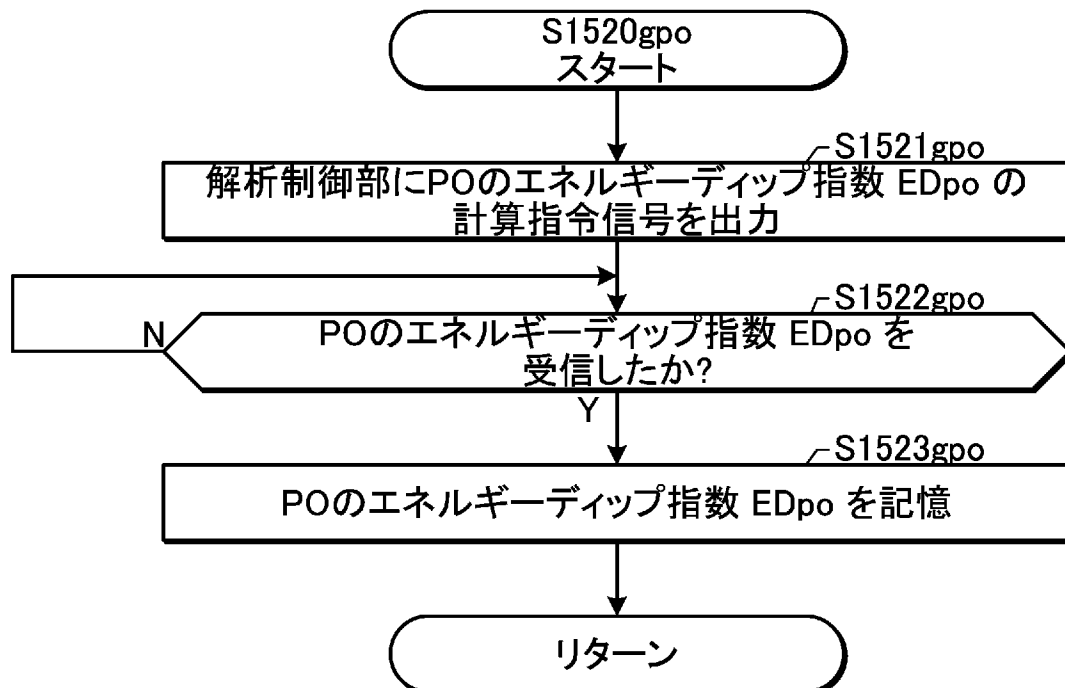
[図53]



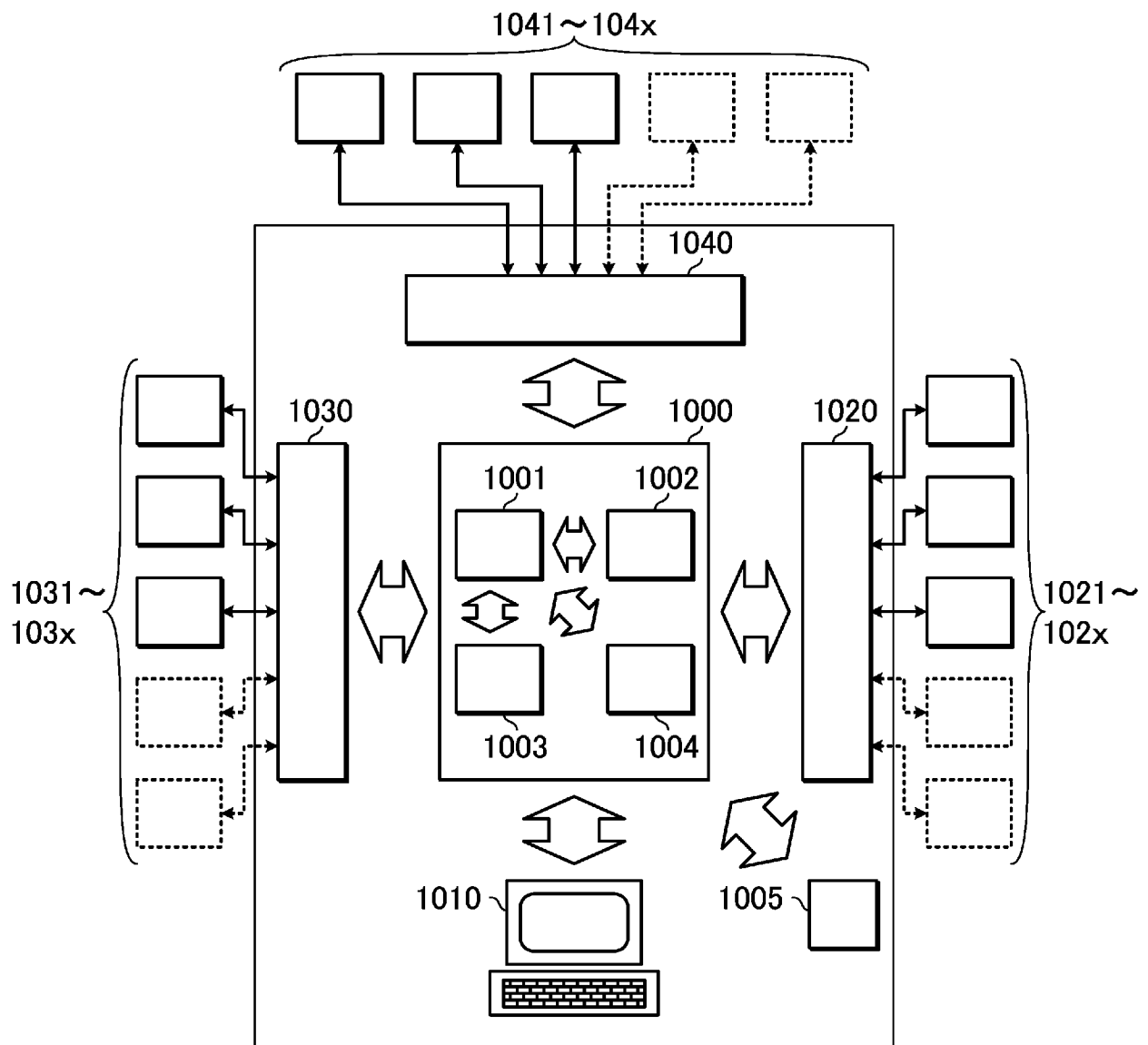
[図54]



[図55]



[図56]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/083147

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S3/225(2006.01)i, H01S3/036(2006.01)i, H01S3/134(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S3/00-3/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2015/097790 A1 (Gigaphoton Inc.), 02 July 2015 (02.07.2015), paragraphs [0082] to [0098], [0136] to [0142], [0241] to [0259], [0273] to [0280]; fig. 1, 8, 9, 15, 32, 41 & US 2016/0254634 A1 paragraphs [0247] to [0273], [0322] to [0332], [0525] to [0550], [0569] to [0579]; fig. 2, 9, 10, 16, 39, 48	1, 6-7, 15 5, 16-17 2-4, 8-14, 18-19
Y	JP 2010-109195 A (Sunx Ltd.), 13 May 2010 (13.05.2010), paragraphs [0029] to [0031]; fig. 3 (Family: none)	5, 16-17

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
25 January 2017 (25.01.17)

Date of mailing of the international search report
07 February 2017 (07.02.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/083147

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-154842 A (Komatsu Ltd.), 09 June 1998 (09.06.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 2002-502134 A (Saima Inc.), 22 January 2002 (22.01.2002), entire text; all drawings & WO 99/039414 A1	1-19
A	JP 2000-294857 A (Lambda Physik Gesellschaft zur Herstellung von Lasern mbH), 20 October 2000 (20.10.2000), entire text; all drawings & US 6490307 B1 & TW 454370 B	1-19
A	JP 2008-235646 A (Komatsu Ltd.), 02 October 2008 (02.10.2008), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	JP 10-173262 A (Komatsu Ltd.), 26 June 1998 (26.06.1998), entire text; all drawings (Family: none)	1-19
A	WO 2015/140930 A1 (Gigaphoton Inc.), 24 September 2015 (24.09.2015), entire text; all drawings & US 2016/0359291 A1	1-19

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/225(2006.01)i, H01S3/036(2006.01)i, H01S3/134(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H01S3/00-3/30

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	WO 2015/097790 A1（ギガフォトン株式会社）	1, 6-7, 15
Y	2015.07.02, 段落[0082]-[0098], [0136]-[0142], [0241]-[0259],	5, 16-17
A	[0273]-[0280], 図1, 図8, 図9, 図15, 図32, 図41 & US 2016/0254634 A1, 段落[0247]-[0273], [0322]-[0332], [0525]-[0550], [0569]-[0579], 第2図, 第9図, 第10図, 第16 図, 第39図, 第48図	2-4, 8-14, 18-19
Y	JP 2010-109195 A（サンクス株式会社） 2010.05.13, 段落【0029】-【0031】、図3（ファミリーなし）	5, 16-17

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

25.01.2017

国際調査報告の発送日

07.02.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

廣崎 拓登

2 K

5 2 6 3

電話番号 03-3581-1101 内線 3255

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 10-154842 A (株式会社小松製作所) 1998.06.09, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 2002-502134 A (サイマー, インコーポレイテッド) 2002.01.22, 全文, 全図 & WO 99/039414 A1	1-19
A	JP 2000-294857 A (ラムダ・フィジック・ゲゼルシャフト・ツァ・ ヘルシュテルンク・フォン・ラーゼルン・ミット・ベシュレンクテ ル・ハフツング) 2000.10.20, 全文, 全図 & US 6490307 B1 & TW 454370 B	1-19
A	JP 2008-235646 A (株式会社小松製作所) 2008.10.02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-19
A	JP 10-173262 A (株式会社小松製作所) 1998.06.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-19
A	WO 2015/140930 A1 (ギガフォトン株式会社) 2015.09.24, 全文, 全図 & US 2016/0359291 A1	1-19