

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2014-81274
(P2014-81274A)

(43) 公開日 平成26年5月8日(2014.5.8)

(51) Int. Cl.
G 2 1 B 1/03 (2006.01)

F 1
G 2 1 B 1/00

V

テーマコード (参考)

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2012-229145 (P2012-229145)	(71) 出願人	000236436
(22) 出願日	平成24年10月16日 (2012.10.16)		浜松ホトニクス株式会社
			静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1
		(71) 出願人	505125945
			学校法人光産業創成大学院大学
			静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番 1
		(71) 出願人	000003207
			トヨタ自動車株式会社
			愛知県豊田市トヨタ町 1 番地
		(71) 出願人	000003609
			株式会社豊田中央研究所
			愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹

最終頁に続く

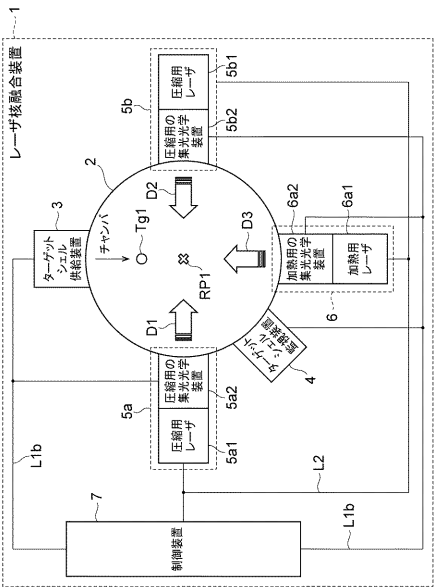
(54) 【発明の名称】 レーザ核融合装置、及び、核融合生成方法

(57) 【要約】

【課題】ターゲットの中心部のプラズマに供給されるエネルギーを比較的に容易に制御できるようにすること。

【解決手段】ターゲットシェルT g 1をチャンバ2に供給するターゲットシェル供給装置3と、ターゲットシェルT g 1の姿勢と位置を監視するターゲットシェル監視装置4と、ターゲットシェルT g 1に圧縮用レーザー光L S 1を照射する圧縮用レーザー出力装置5 a等と、ターゲットシェルT g 1に、圧縮用レーザー光L S 1に続き加熱用レーザー光L S 3を照射する加熱用レーザー出力装置6とを備え、ターゲットシェルT g 1には、中空の球殻状の形状を有し、内側には略球状の空隙S pが設けられ、外側と空隙S pとを繋ぐ少なくとも一つの貫通孔H 1が設けられ、ターゲットシェルT g 1の外表面S f 1は、圧縮用レーザー光の照射が予定されている照射領域A r 1、A r 2を含む。

【選択図】 図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】

レーザ核融合装置であって、
核融合反応を生じさせるターゲットシェルと、
前記ターゲットシェルが核融合反応を起こすチャンバと、
前記チャンバの内側の基準地点に前記ターゲットシェルを供給するターゲットシェル供給装置と、

前記ターゲットシェル供給装置によって前記チャンバに供給された前記ターゲットシェルの状態を監視するターゲットシェル監視装置と、

前記ターゲットシェルを圧縮するための圧縮用レーザ光を前記ターゲットシェルに向けて出力する圧縮用レーザ出力装置と、

前記ターゲットシェルを加熱するための加熱用レーザ光を前記ターゲットシェルに向けて出力する加熱用レーザ出力装置と、

前記ターゲットシェル供給装置と前記圧縮用レーザ出力装置と前記加熱用レーザ出力装置とを制御する制御装置と、

を備え、

前記ターゲットシェルは、中空の球殻状の形状を有し、

前記ターゲットシェルの内側には、前記ターゲットシェルの内表面によって画定される球状の空隙が設けられ、

前記ターゲットシェルには、前記ターゲットシェルの外側と前記ターゲットシェルの内側の前記空隙とを繋ぐ少なくとも一つの貫通孔が設けられ、

前記ターゲットシェルの外表面は、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域を含み、

前記圧縮用レーザ出力装置は、

前記ターゲットシェルを圧縮するための圧縮用レーザ光を出力する圧縮用レーザと、

前記圧縮用レーザから出力される圧縮用レーザ光を前記ターゲットシェルの前記照射領域に向け集光する圧縮用集光光学装置と、

を有し、

前記加熱用レーザ出力装置は、

前記ターゲットシェルを加熱するための加熱用レーザ光を出力する加熱用レーザと、

前記加熱用レーザから出力される加熱用レーザ光を前記ターゲットシェルの前記貫通孔に向け集光する加熱用集光光学装置と、

を有し、

前記制御装置は、

前記ターゲットシェルを前記チャンバに供給するよう前記ターゲットシェル供給装置を制御するターゲットシェル供給手段と、

前記ターゲットシェル供給手段によって供給される前記ターゲットシェルが前記基準地点に到達する到達タイミングを前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて算出し、前記到達タイミングに基づいて、前記圧縮用レーザが圧縮用レーザ光を出力する圧縮用レーザ光出力タイミングと、前記圧縮用レーザ光出力タイミングに続き前記加熱用レーザが加熱用レーザ光を出力する加熱用レーザ光出力タイミングと、を算出するタイミング算出手段と、

前記圧縮用レーザから出力される圧縮用レーザ光が、前記タイミング算出手段によって算出された前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に向けて集光されるように、前記圧縮用集光光学装置を前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて制御し、前記加熱用レーザから出力される加熱用レーザ光が、前記タイミング算出手段によって算出された前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に向けて集光されるように、前記加熱用集光光学装置を前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて制御する集光手段と、

前記集光手段によって前記圧縮用集光光学装置と前記加熱用集光光学装置とが制御され

10

20

30

40

50

た後に、前記タイミング算出手段によって算出された前記圧縮用レーザ光出力タイミングで圧縮用レーザ光を出力するよう前記圧縮用レーザを制御し、前記タイミング算出手段によって算出された前記加熱用レーザ光出力タイミングで加熱用レーザ光を出力するよう前記加熱用レーザを制御する出力手段と、

を有する、

レーザ核融合装置。

【請求項 2】

前記ターゲットシェルには、二つの前記貫通孔が設けられ、

二つの前記貫通孔は、前記ターゲットシェルの中心を通る中心軸に沿って延びており、前記中心を挟んで互に対向している、

ことを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ核融合装置。

【請求項 3】

前記ターゲットシェルは、重水素または三重水素を含む重合体である、

ことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレーザ核融合装置。

【請求項 4】

核融合生成方法であって、

核融合反応を生じさせるターゲットシェルをチャンバに供給する供給工程と、

前記供給工程の後に、前記ターゲットシェルを圧縮するための圧縮用レーザ光と圧縮後の前記ターゲットシェルを加熱するための加熱用レーザ光とを照射するための準備をする準備工程と、

前記準備工程の後に、圧縮用レーザ光と加熱用レーザ光とを順に前記ターゲットシェルに照射する照射工程と、

を備え、

前記ターゲットシェルは、中空の球殻状の形状を有し、

前記ターゲットシェルの内側には、前記ターゲットシェルの内表面によって画定される球状の空隙が設けられ、

前記ターゲットシェルには、前記ターゲットシェルの外側と前記ターゲットシェルの内側の前記空隙とを繋ぐ少なくとも一つの貫通孔が設けられ、

前記ターゲットシェルの外表面は、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域を含み、

前記準備工程は、

前記供給工程において前記チャンバに供給された前記ターゲットシェルの状態を監視しつつ、監視結果に基づいて、圧縮用レーザ光を出力する圧縮用レーザ光出力タイミングと加熱用レーザ光を出力する加熱用レーザ光出力タイミングとを算出する算出工程と、

前記監視結果に基づいて、圧縮用レーザ光が、前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に向け集光されるようにし、加熱用レーザ光が、前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に向け集光されるようにする集光工程と、

を有し、

前記照射工程では、

前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に圧縮用レーザ光を照射し、圧縮用レーザ光の照射に続く前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に加熱用レーザ光を照射する、

核融合生成方法。

【請求項 5】

前記ターゲットシェルには、二つの前記貫通孔が設けられ、

二つの前記貫通孔は、前記ターゲットシェルの中心を通る中心軸に沿って延びており、前記中心を挟んで互に対向している、

ことを特徴とする請求項 4 に記載の核融合生成方法。

【請求項 6】

前記ターゲットシェルは、重水素または三重水素を含む重合体である、
ことを特徴とする請求項 4 又は 5 に記載の核融合生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ核融合装置及び核融合生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

非特許文献 1～3 には、レーザ核融合に係る技術が開示されている。非特許文献 1～3 のレーザ核融合では、球殻状の C D 球体に円錐状（特に、円錐の底面は開口であり、円錐の内部は空洞であり、円錐の先端は開口ではない。）の金コーンを取り付けたターゲットが用いられている。非特許文献 1～3 の技術では、まず、C D 球体の外表面のうち金コーンが取り付けられていない領域に圧縮用のレーザを照射することによって、C D 球体を圧縮して C D 球体の内部においてプラズマを生成し、この圧縮の後に、金コーンの開口に向けて加熱用のレーザ光を照射し金コーンの内部において発生させる高速電子によって、C D 球体の内部のプラズマを加熱する。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0003】

【非特許文献 1】 " Fast heating scalable to laser fusion "、R.Kodama et al.、Nature Vol.418 933-934 (29 August 2002)

20

【非特許文献 2】 " Fast heating of ultrahigh-density plasma as a step towards laser fusion ignition "、R.Kodama et al.、Nature Vol.412 798-802 (23 August 2001)

【非特許文献 3】 " Fast ignition integrated experiments with Gekko and LFEX lasers "、H.Shiraga et al.、Plasma Physics And Controlled Fusion 53 (2011) 124029 (6pp)

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

30

非特許文献 1～3 の技術では、金コーンを有するターゲットに供給するエネルギーは金コーンを介してターゲットの中心部のプラズマに供給されるので、ターゲットの中心部のプラズマに実際に供給されるエネルギーを制御する場合には金コーンによる影響を考慮しなければならない、複雑となる。そこで、本発明の目的は、上記の事項を鑑みてなされたものであり、ターゲットの中心部のプラズマに供給されるエネルギーを比較的に容易に制御できるようにすることである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明に係るレーザ核融合装置は、核融合反応を生じさせるターゲットシェルと、前記ターゲットシェルが核融合反応を起こすチャンバと、前記チャンバの内側の基準地点に前記ターゲットシェルを供給するターゲットシェル供給装置と、前記ターゲットシェル供給装置によって前記チャンバに供給された前記ターゲットシェルの状態を監視するターゲットシェル監視装置と、前記ターゲットシェルを圧縮するための圧縮用レーザ光を前記ターゲットシェルに向けて出力する圧縮用レーザ出力装置と、前記ターゲットシェルを加熱するための加熱用レーザ光を前記ターゲットシェルに向けて出力する加熱用レーザ出力装置と、前記ターゲットシェル供給装置と前記圧縮用レーザ出力装置と前記加熱用レーザ出力装置とを制御する制御装置と、を備え、前記ターゲットシェルは、中空の球殻状の形状を有し、前記ターゲットシェルの内側には、前記ターゲットシェルの内表面によって画定される略球状の空隙が設けられ、前記ターゲットシェルには、前記ターゲットシェルの外側と前記ターゲットシェルの内側の前記空隙とを繋ぐ少なくとも一つの貫通孔が設けられ、

40

50

前記ターゲットシェルの外表面は、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域を含み、前記圧縮用レーザ出力装置は、前記ターゲットシェルの前記照射領域に向け集光する圧縮用集光光学装置と、を有し、前記加熱用レーザ出力装置は、前記ターゲットシェルの前記加熱領域に向け集光する加熱用集光光学装置と、を有し、前記制御装置は、前記ターゲットシェルの前記チャンバに供給するよう前記ターゲットシェル供給装置を制御するターゲットシェル供給手段と、前記ターゲットシェル供給手段によって供給される前記ターゲットシェルが前記基準地点に到達する到達タイミングを前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて算出し、前記到達タイミングに基づいて、前記圧縮用レーザが圧縮用レーザ光を出力する圧縮用レーザ光出力タイミングと、前記圧縮用レーザ光出力タイミングに続き前記加熱用レーザが加熱用レーザ光を出力する加熱用レーザ光出力タイミングと、を算出するタイミング算出手段と、前記圧縮用レーザから出力される圧縮用レーザ光が、前記タイミング算出手段によって算出された前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に向けて集光されるように、前記圧縮用集光光学装置を前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて制御し、前記加熱用レーザから出力される加熱用レーザ光が、前記タイミング算出手段によって算出された前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に向けて集光されるように、前記加熱用集光光学装置を前記ターゲットシェル監視装置による監視結果に基づいて制御する集光手段と、前記集光手段によって前記圧縮用集光光学装置と前記加熱用集光光学装置とが制御された後に、前記タイミング算出手段によって算出された前記圧縮用レーザ光出力タイミングで圧縮用レーザ光を出力するよう前記圧縮用レーザを制御し、前記タイミング算出手段によって算出された前記加熱用レーザ光出力タイミングで加熱用レーザ光を出力するよう前記加熱用レーザを制御する出力手段と、を有する、ことを特徴とする。

10

20

【0006】

本発明に係るレーザ核融合装置では、核融合反応を生じさせるターゲットとして、中空の球殻状の形状を有するターゲットシェルが用いられ、ターゲットシェルは、ターゲットシェルの外側とターゲットシェルの内側の空隙とを繋ぎ加熱用レーザ光をターゲットシェルの内側の空隙に導く少なくとも一つの貫通孔が設けられ、金コーンを有さない構成を有する。従って、加熱用レーザ光は従来のような金コーンを介さずに貫通孔によってターゲットシェルの内側の空隙に直接に案内されるので、金コーンによる影響を考慮する必要が無く、ターゲットシェルの中心部のプラズマに供給されるエネルギーが容易に制御可能となる。

30

【0007】

本発明に係るレーザ核融合装置では、前記ターゲットシェルには、二つの前記貫通孔が設けられ、二つの前記貫通孔は、前記ターゲットシェルの中心を通る中心軸に沿って延びており、前記中心を挟んで互いに対向している、ことを特徴とする。二つの貫通孔が対向する位置に設けられているので、一方の貫通孔からターゲットシェルの内側にレーザ光が照射された場合に、このレーザ光によって、この貫通孔の開口付近にプラズマが発生しても、このプラズマから生じる電子が、ターゲットシェルの内表面であってこの貫通孔の開口に対向する側に衝突することが無く、よって、ターゲットシェルの内側において副次的なプラズマの発生が抑制できる。

40

【0008】

本発明に係るレーザ核融合装置では、前記ターゲットシェルは、重水素または三重水素を含む重合体である、ことを特徴とする。従って、ターゲットシェルは、重水素または三重水素を含むので、核融合を好適に発生させることができる。

【0009】

本発明に係る核融合生成方法は、核融合反応を生じさせるターゲットシェルのチャンバ

50

に供給する供給工程と、前記供給工程の後に、前記ターゲットシェルを圧縮するための圧縮用レーザ光と圧縮後の前記ターゲットシェルを加熱するための加熱用レーザ光とを照射するための準備をする準備工程と、前記準備工程の後に、圧縮用レーザ光と加熱用レーザ光とを順に前記ターゲットシェルに照射する照射工程と、を備え、前記ターゲットシェルは、中空の球殻状の形状を有し、前記ターゲットシェルの内側には、前記ターゲットシェルの内表面によって画定される略球状の空隙が設けられ、前記ターゲットシェルには、前記ターゲットシェルの外側と前記ターゲットシェルの内側の前記空隙とを繋ぐ少なくとも一つの貫通孔が設けられ、前記ターゲットシェルの外表面は、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域を含み、前記準備工程は、前記供給工程において前記チャンバに供給された前記ターゲットシェルの状態を監視しつつ、監視結果に基づいて、圧縮用レーザ光を出力する圧縮用レーザ光出力タイミングと加熱用レーザ光を出力する加熱用レーザ光出力タイミングとを算出する算出工程と、前記監視結果に基づいて、圧縮用レーザ光が、前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に向け集光されるようにし、加熱用レーザ光が、前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に向け集光されるようにする集光工程と、を有し、前記照射工程では、前記圧縮用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記照射領域に圧縮用レーザ光を照射し、圧縮用レーザ光の照射に続く前記加熱用レーザ光出力タイミングで前記ターゲットシェルの前記貫通孔に加熱用レーザ光を照射する、ことを特徴とする。

10

【0010】

本発明に係る核融合生成方法では、核融合反応を生じさせるターゲットとして、中空の球殻状の形状を有するターゲットシェルが用いられ、ターゲットシェルは、ターゲットシェルの外側とターゲットシェルの内側の空隙とを繋ぎ加熱用レーザ光をターゲットシェルの内側の空隙に導く少なくとも一つの貫通孔が設けられ、金コーンを有さない構成を有する。従って、加熱用レーザ光は従来のような金コーンを介さずに貫通孔によってターゲットシェルの内側の空隙に直接に案内されるので、金コーンによる影響を考慮する必要が無く、ターゲットシェルの中心部のプラズマに供給されるエネルギーが容易に制御可能となる。

20

【0011】

本発明に係る核融合生成方法では、前記ターゲットシェルには、二つの前記貫通孔が設けられ、二つの前記貫通孔は、前記ターゲットシェルの中心を通る中心軸に沿って延びており、前記中心を挟んで互いに対向している、ことを特徴とする。二つの貫通孔が対向する位置に設けられているので、一方の貫通孔からターゲットシェルの内側にレーザ光が照射された場合に、このレーザ光によって、この貫通孔の開口付近にプラズマが発生しても、このプラズマから生じる電子が、ターゲットシェルの内表面であってこの貫通孔の開口に対向する側に衝突することが無く、よって、ターゲットシェルの内側において副次的なプラズマの発生が抑制できる。

30

【0012】

本発明に係る核融合生成方法では、前記ターゲットシェルは、重水素または三重水素を含む重合体である、ことを特徴とする。従って、重水素または三重水素を含むので、核融合を好適に発生させることができる。

40

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、ターゲットの中心部のプラズマに供給されるエネルギーを比較的に容易に制御できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】実施形態に係るレーザ核融合装置の構成を示す図である。

【図2】実施形態に係る圧縮用レーザと加熱用レーザとの構成を示す図である。

【図3】実施形態に係る制御装置の機能的な構成を示す図である。

【図4】実施形態に係るターゲットシェルの構成を示す図である。

50

【図5】実施形態に係るターゲットシェルの他の構成を示す図である。

【図6】実施形態に係る核融合生成方法を説明するためのフローチャートである。

【図7】実施形態に係る核融合生成方法において、ターゲットシェルの圧縮し加熱する態様を説明するための図である。

【図8】実施形態に係る核融合生成方法において、ターゲットシェルが圧縮され加熱される態様を示す図である。

【図9】実施例の効果の説明するための図である。

【図10】実施形態に係るターゲットシェルと従来の金コーン付きターゲットとにおけるプラズマの発生の様子を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0015】

以下、図面を参照して、本発明に係る好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明において、可能な場合には、同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。まず、図1～5を参照して、実施形態に係るレーザー核融合装置1の構成を説明する。図1～5は、レーザー核融合装置1の構成を説明するための図である。

【0016】

レーザー核融合装置1は、チャンバ2、ターゲットシェル供給装置3、ターゲットシェル監視装置4、圧縮用レーザー出力装置5a、圧縮用レーザー出力装置5b、加熱用レーザー出力装置6、制御装置7、ターゲットシェルTg1を備える。レーザー核融合装置1は、ターゲットシェルTg1にレーザー光を照射することによってターゲットシェルTg1の内部で核融合反応を生じさせる装置である。

20

【0017】

チャンバ2は、ターゲットシェルTg1が核融合反応を起こす空間領域を提供する。換言すれば、本実施形態において、ターゲットシェルTg1の核融合反応は、チャンバ2の内側において生じる。チャンバ2の内側の気圧は、予め低減されて保持される。チャンバ2は、ターゲットシェル供給装置3からターゲットシェルTg1の供給が可能な供給口を有する。チャンバ2は、圧縮用レーザー出力装置5a、圧縮用レーザー出力装置5b、加熱用レーザー出力装置6のそれぞれから出力されるレーザー光を通す複数の窓を有する。チャンバ2は、ターゲットシェル監視装置4がターゲットシェル供給装置3によって供給されたターゲットシェルTg1の状態を観察するための窓を有する。チャンバ2の内側には、基準地点RP1が予め設定されている。基準地点RP1は、ターゲットシェルTg1の核融合反応の発生日点として用いられる。

30

【0018】

ターゲットシェル供給装置3は、複数のターゲットシェルTg1を格納する。ターゲットシェル供給装置3は、チャンバ2の内側の基準地点RP1にターゲットシェルTg1を供給する。

【0019】

ターゲットシェル監視装置4は、ターゲットシェル供給装置3によってチャンバ2に供給されたターゲットシェルTg1の状態を監視する。ターゲットシェル監視装置4は、複数の2次元高速度カメラ及び複数の2次元X線カメラ等の何れかを有し、複数の2次元高速度カメラ及び複数の2次元X線カメラ等によって撮像されたターゲットシェルTg1の画像を表す複数の画像データを制御装置7に送信する。

40

【0020】

圧縮用レーザー出力装置5aは、ターゲットシェルTg1を圧縮するための圧縮用レーザー光をターゲットシェルTg1に向けて（進行方向D1に）出力する。圧縮用レーザー出力装置5bは、ターゲットシェルTg1を圧縮するための圧縮用レーザー光をターゲットシェルTg1に向けて（進行方向D2に）出力する。圧縮用レーザー出力装置5aは、圧縮用レーザー5a1と圧縮用集光光学装置5a2とを有する。圧縮用レーザー出力装置5bは、圧縮用レーザー5b1と圧縮用集光光学装置5b2とを有する。圧縮用レーザー出力装置5aと圧縮用レーザー出力装置5bとは、同一の構成を有する。圧縮用レーザー5a1と圧縮用レーザー5

50

b 1とは、同一の構成（図2参照）を有する。圧縮用集光光学装置5 a 2と圧縮用集光光学装置5 b 2とは、同一の構成を有する。圧縮用レーザ5 a 1と圧縮用レーザ5 b 1とは、制御装置7による制御のもとで、ターゲットシェルT g 1を圧縮するための圧縮用レーザ光を出力する。圧縮用レーザ5 a 1が出力する圧縮用レーザ光と、圧縮用レーザ5 b 1が出力する圧縮用レーザ光とは、同一の特性を有する。

【0021】

圧縮用集光光学装置5 a 2は、圧縮用レーザ5 a 1から出力される圧縮用レーザ光をターゲットシェルT g 1の照射領域（図4及び図5に示す照射領域A r 1等）に向け集光する。圧縮用集光光学装置5 b 2は、圧縮用レーザ5 b 1から出力される圧縮用レーザ光をターゲットシェルT g 1の照射領域（図4及び図5に示す照射領域A r 2等）に向け集光する。圧縮用集光光学装置5 a 2と圧縮用集光光学装置5 b 2とは、制御装置7による制御のもとで動作する。圧縮用集光光学装置5 a 2と圧縮用集光光学装置5 b 2とは、同一の構成を有する。圧縮用集光光学装置5 a 2と圧縮用集光光学装置5 b 2とは、何れも、モータ駆動する複数のミラー等を有する。複数のミラーの位置、傾斜等は、制御装置7による制御される。

【0022】

圧縮用レーザ光の波長は、300 nm（ナノメートル）以上1 μ m（マイクロメートル）以下の範囲にある。圧縮用レーザ光のエネルギーは、圧縮用レーザ光のビーム毎に、1 kJ（キロジュール）以上10 kJ（キロジュール）以下の範囲にある。圧縮用レーザ光の時間パルス幅は、数100 ps（ピコ秒）から数10 ns（ナノ秒）までの範囲にある。以下、時間パルス幅とは、レーザ光のエネルギーが、ピークパワーの $1/e^2$ （ $=0.135$ ）（ $e=2.718$ ）となる時間幅である。圧縮用レーザ光の時間波形は、ターゲットシェルT g 1を圧縮するために予め設計された波形（テラードパルス波形）である。圧縮用レーザ光のピークパワーは、エネルギーの値を時間パルス幅で割った値（エネルギー／時間パルス幅）であり、10 GW（ギガワット）以上100 TW（テラワット）以下の範囲にある。圧縮用レーザ光の集光径は、ターゲットシェルT g 1の表面（外表面S f 1）において、圧縮用レーザ光の一のビームが照射された照射領域の直径であり、数100 μ m（マイクロメートル）から数mm（ミリメートル）までの範囲である。圧縮用レーザ光の集光強度は、ピークパワーをターゲットシェル表面における照射領域の面積で割った値（ピークパワー／面積）であり、 1×10^{11} W/cm²以上 1×10^{17} W/cm²以下の範囲である。

【0023】

加熱用レーザ出力装置6は、ターゲットシェルT g 1を加熱するための加熱用レーザ光をターゲットシェルT g 1に向けて（進行方向D 3に）出力する。加熱用レーザ出力装置6は、加熱用レーザ6 a 1と加熱用集光光学装置6 a 2とを有する。

【0024】

加熱用レーザ6 a 1は、制御装置7による制御のもとで、ターゲットシェルT g 1を加熱するための加熱用レーザ光を出力する。加熱用レーザ光の波長は、800 nm（ナノメートル）以上1 μ m（マイクロメートル）以下の範囲にある。加熱用レーザ光のエネルギーは、圧縮用レーザ光のビーム毎に、1 kJ（キロジュール）以上10 kJ（キロジュール）以下の範囲にある。加熱用レーザ光の時間パルス幅は、100 fs（フェムト秒）から10 ps（ピコ秒）までの範囲にある。加熱用レーザ光の時間波形は、例えば、ガウシアン波形等であるが、他の波形であることもできる。加熱用レーザ光のピークパワーは、エネルギーの値を時間パルス幅で割った値（エネルギー／時間パルス幅）であり、100 TW（テラワット）以上100 PW（ペタワット）以下の範囲にある。加熱用レーザ光の集光径は、ターゲットシェルT g 1の表面（外表面S f 1であるが、実際には、ターゲットシェルT g 1の貫通孔H 1の開口）において、加熱用レーザ光の一のビームが照射された照射領域の直径であり、数10 μ m（マイクロメートル）から数100 μ m（マイクロメートル）までの範囲である。加熱用レーザ光の集光強度は、ピークパワーをターゲットシェル表面における照射領域の面積で割った値（ピークパワー／面積）であり、 1×10

$1^5\text{W}/\text{cm}^2$ 以上 $1\times 10^{22}\text{W}/\text{cm}^2$ 以下の範囲である。

【0025】

加熱用集光光学装置6a2は、加熱用レーザ6a1から出力される加熱用レーザ光をターゲットシェルTg1の貫通孔H1に向け集光する。加熱用集光光学装置6a2は、制御装置7による制御のもとで動作する。加熱用集光光学装置6a2は、モータ駆動する複数のミラー等を有する。複数のミラーの位置、傾斜等は、制御装置7による制御される。

【0026】

ターゲットシェル供給装置3、圧縮用集光光学装置5a2は、制御用の信号ラインL1aを介して制御装置7に接続され、ターゲットシェル監視装置4、圧縮用集光光学装置5b2、加熱用集光光学装置6a2は、制御用の信号ラインL1bを介して制御装置7に接続されている。圧縮用レーザ5a1、圧縮用レーザ5b1、加熱用レーザ6a1は、レーザ出力用の信号ラインL2を介して制御装置7に接続されている。制御用の信号ラインL1aと制御用の信号ラインL1bとは、寸法形状を除き、同一の構成を有する。

【0027】

制御装置7は、ターゲットシェル供給装置3と、圧縮用レーザ出力装置5aと、圧縮用レーザ出力装置5bと、加熱用レーザ出力装置6とを制御する。制御装置7は、ターゲットシェル監視装置4から送信される画像データを受け、この画像データに対し、予め設定された画像処理を予め設定されたタイミングで行い、この画像処理による結果に応じて、ターゲットシェル供給装置3と、圧縮用レーザ出力装置5aと、圧縮用レーザ出力装置5bと、加熱用レーザ出力装置6とを制御する。制御装置7は、また、ターゲットシェル監視装置4の動作（オン・オフ、撮像、撮像された画像データの送信等）を制御する。

【0028】

図2を参照して、圧縮用レーザ5a1及び圧縮用レーザ5b1の構成を、説明する。図2に示すように、圧縮用レーザ5a1及び圧縮用レーザ5b1は、何れも、レーザ発振器51、波形制御装置52、レーザ増幅器53、波長変換装置54を有する。レーザ発振器51は、ターゲットシェルTg1の圧縮に用いるパルス状のレーザ光を出力する。レーザ発振器51から出力されるレーザ光は、波形制御装置52、レーザ増幅器53、波長変換装置54によって圧縮用レーザ光に整形及び増幅される。波形制御装置52は、レーザ発振器51から出力されるレーザ光を、ターゲットシェルTg1の圧縮に適したパルス波形（テーラードパルス波形）を有するのように整形して出力する。レーザ増幅器53は、波形制御装置52から出力されるレーザ光のエネルギーを増幅する。波長変換装置54は、レーザ増幅器53から出力される増幅後のレーザ光を、ターゲットシェルTg1の圧縮に適した波長を有するように変換し、圧縮用レーザ光として出力する。波長変換装置54から出力されるレーザ光は、圧縮用レーザ出力装置5aの場合には圧縮用集光光学装置5a2に出力され、圧縮用レーザ出力装置5bの場合には圧縮用集光光学装置5b2に出力される。

【0029】

図2を参照して、加熱用レーザ6a1の構成を、説明する。図2に示すように、加熱用レーザ6a1は、レーザ発振器61、パルス伸長器62、波形制御装置63、レーザ増幅器64、パルス圧縮器65を有する。レーザ発振器61は、ターゲットシェルTg1の加熱に用いるパルス状のレーザ光を出力する。レーザ発振器61から出力されるレーザ光は、パルス伸長装置62、波形制御装置63、レーザ増幅器64、パルス圧縮器65によって加熱用レーザ光に整形及び増幅される。パルス伸長器62は、レーザ発振器61から出力されるパルス状のレーザ光のパルス時間幅を伸長する。パルス伸長器62によるパルス時間幅の伸長によってレーザ光のピーク強度が低減されるので、パルス伸長器62の後段に設けられたレーザ増幅器64において、レーザ光の光学損傷が低減される。波形制御装置63は、レーザ発振器61から出力されるレーザ光を、ターゲットシェルTg1の加熱に適したパルス波形を有するのように整形（例えば、プリプラズマの形成を抑制する等）して出力する。レーザ増幅器64は、波形制御装置63から出力されるレーザ光のエネルギーを増幅する。パルス圧縮器65は、レーザ増幅器64から出力される増幅後のレーザ

光のパルス時間幅を短縮する。パルス圧縮器 6 5 によるパルス時間幅の短縮によってレーザー光のピーク強度が増加される。パルス圧縮器 6 5 から出力されるレーザー光は、加熱用集光光学装置 6 a 2 に入力する。

【0030】

制御装置 7 の構成を、図 3 及び図 6 を参照して説明する。制御装置 7 は、物理的には、例えば、CPU、メモリ、通信装置等を備える。制御装置 7 の CPU は、制御装置 7 のメモリに格納されているコンピュータプログラムを実行することにより、制御装置 7 を統括的に制御する。制御装置 7 のメモリに格納されているコンピュータプログラムは、例えば、図 6 のフローチャートを実行するためのコンピュータプログラムである。制御装置 7 のメモリには、コンピュータプログラムの実行に必要な各種のデータ（例えば、ターゲットシェル監視装置 4、圧縮用レーザー出力装置 5 a、圧縮用レーザー出力装置 5 b、加熱用レーザー出力装置 6 の各種の動作タイミングを示すデータ等）が格納されている。制御装置 7 は、機能的には、例えば、図 3 に示すターゲットシェル供給手段 7 a、タイミング算出手段 7 b、集光手段 7 c、出力手段 7 d を有する。ターゲットシェル供給手段 7 a、タイミング算出手段 7 b、集光手段 7 c、出力手段 7 d は、制御装置 7 の CPU が制御装置 7 のメモリに格納されたコンピュータプログラムを実行し、図 1 に示す制御装置 7 の各構成部を動作させることによって実現される機能である。制御装置 7 の CPU は、制御装置 7 のメモリに格納されたコンピュータプログラムを実行し、ターゲットシェル供給手段 7 a、タイミング算出手段 7 b、集光手段 7 c、出力手段 7 d を用いることによって、図 6 のフローチャートに示す処理を実行する。制御装置 7 は、ターゲットシェル供給装置 3、ターゲットシェル監視装置 4、圧縮用レーザー出力装置 5 a、圧縮用レーザー出力装置 5 b、加熱用レーザー出力装置 6 を用いて、チャンバ 2 の内側を移動するターゲットシェル（ターゲットシェル T g 1 等）の姿勢や場所の変化に対し、追従して、圧縮用レーザー光（圧縮用レーザー光 L S 1 等）と加熱用レーザー光（加熱用レーザー光 L S 3 等）とを、このターゲットシェルに照射することができる。

【0031】

ターゲットシェル供給手段 7 a は、ターゲットシェル T g 1 をチャンバ 2 の内側の基準地点 R P 1 に供給するようターゲットシェル供給装置 3 を制御する。タイミング算出手段 7 b は、ターゲットシェル供給装置 3 によって供給されるターゲットシェル T g 1 が基準地点 R P 1 に到達する到達タイミングをターゲットシェル監視装置 4 による監視結果に基づいて算出し、到達タイミングに基づいて、圧縮用レーザー 5 a 1 及び圧縮用レーザー 5 b 1 が圧縮用レーザー光を出力する圧縮用レーザー光出力タイミングと、圧縮用レーザー光出力タイミングに続き加熱用レーザー 6 a 1 が加熱用レーザー光を出力する加熱用レーザー光出力タイミングと、を算出する。集光手段 7 c は、圧縮用レーザー 5 a 1 及び圧縮用レーザー 5 b 1 から出力される圧縮用レーザー光が、タイミング算出手段 7 b によって算出された圧縮用レーザー光出力タイミングでターゲットシェル T g 1 の照射領域 A r 1 及び照射領域 A r 2 に向けて集光されるように、圧縮用集光光学装置 5 a 2 及び圧縮用集光光学装置 5 b 2 をターゲットシェル監視装置 4 による監視結果に基づいて制御し、加熱用レーザー 6 a 1 から出力される加熱用レーザー光が、タイミング算出手段 7 b によって算出された加熱用レーザー光出力タイミングでターゲットシェル T g 1 の貫通孔 H 1 に向けて集光されるように、加熱用集光光学装置 6 a 2 をターゲットシェル監視装置 4 による監視結果に基づいて制御する。出力手段 7 d は、集光手段 7 c によって、圧縮用集光光学装置 5 a 2 及び圧縮用集光光学装置 5 b 2 と、加熱用集光光学装置 6 a 2 とが制御された後に、タイミング算出手段 7 b によって算出された圧縮用レーザー光出力タイミングで圧縮用レーザー光を出力するよう圧縮用レーザー 5 a 1 及び圧縮用レーザー 5 b 1 を制御し、タイミング算出手段 7 b によって算出された加熱用レーザー光出力タイミングで加熱用レーザー光を出力するよう加熱用レーザー 6 a 1 を制御する。

【0032】

図 4 を参照して、ターゲットシェル T g 1 の構成について説明する。図 4 の（A）部に示す図は、ターゲットシェル T g 1 の外観を示す図である。図 4 の（B）部に示す図は、

図4の(A)部に示すI-I線に沿ってとられたターゲットシェルTg1の断面図である。図4の(C)部に示す図は、図4の(A)部に示すI-I-I線に沿ってとられたターゲットシェルTg1の断面図である。ターゲットシェルTg1は、中空の球殻状の形状を有する。ターゲットシェルTg1は、外表面Sf1と内表面Sf2とを有する。ターゲットシェルTg1の内側には、ターゲットシェルTg1の内表面Sf2によって画定される略球状の空隙Spが設けられている。ターゲットシェルTg1には、ターゲットシェルTg1の外側とターゲットシェルTg1の内側の空隙Spとを繋ぐ貫通孔H1が設けられている。ターゲットシェルTg1の外表面Sf1は、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域Ar1及び照射領域Ar2を含む。貫通孔H1は、加熱用レーザ光LS3を空隙Spに導く。なお、ターゲットシェルTg1等のターゲットシェルは、圧縮用レーザ光の照射が予定されている照射領域として、照射領域Ar1及び照射領域Ar2の他に更に複数の照射領域を含んでも良いし、貫通孔H1の他に更に一又は複数の貫通孔を有していても良い。この空隙には、核融合反応の原料となる液体状もしくは固体状の重水素や三重水素が充填されていても良い。また、その核融合原料は20ケルビンほどに冷却されていても良い。

10

【0033】

ターゲットシェルTg1は、炭素原子と、水素、重水素及び三重水素の少なくとも一つの種類の原子とから成る重合体である。例えば、ターゲットシェルTg1は、 C_8H_8 、 C_8D_8 、 C_8T_8 等の重合体である。Cは炭素原子を表し、Hは水素原子を表し、Dは重水素原子を表し、Tは三重水素原子を表している。ターゲットシェルTg1の直径は、100 μm 以上数mm以下の範囲であり、より好ましくは480 μm 以上520 μm 以下の範囲である。ターゲットシェルTg1の外表面Sf1と内表面Sf2との間の距離（換言すれば、ターゲットシェルTg1の殻の厚み）は、1 μm 以上1mm以下の範囲であり、より好ましくは6.8 μm 以上7.2 μm 以下の範囲である。貫通孔H1の直径は、10 μm 以上1mm以下の範囲であり、より好ましくは245 μm 以上255 μm 以下の範囲である。

20

【0034】

なお、ターゲットシェルTg1の代わりに、図5に示すターゲットシェルTg2が用いられても良い。図5の(A)部に示す図は、ターゲットシェルTg2の外観を示す図である。図5の(B)部に示す図は、図5の(A)部に示すI-I-I線に沿ってとられたターゲットシェルTg2の断面図である。図5の(C)部に示す図は、図5の(A)部に示すI-V-I線に沿ってとられたターゲットシェルTg2の断面図である。ターゲットシェルTg2は、ターゲットシェルTg1の構成に加えて、貫通孔H2が更に設けられており、ターゲットシェルTg1とターゲットシェルTg2との構成上の相違は、この点のみである。すなわち、ターゲットシェルTg1は、貫通孔H1を有し、ターゲットシェルTg2は、貫通孔H1及び貫通孔H2を有する。貫通孔H1の寸法・形状は、貫通孔H2の寸法・形状と同一である。貫通孔H1及び貫通孔H2は、ターゲットシェルTg2の中心Ctを通る中心軸Axに沿って延びており、中心Ctを挟んで互いに対向している。貫通孔H1の二つの開口は、中心軸Axに交差している。貫通孔H2の二つの開口は、中心軸Axに交差している。

30

40

【0035】

なお、ターゲットシェルTg1及びターゲットシェルTg2は、それぞれ、圧縮用レーザ光LS1の照射が予定されている照射領域Ar1と圧縮用レーザ光LS2の照射が予定されている照射領域Ar2とを有するが、圧縮用レーザ光は、3本以上であっても良く、1000本程度の圧縮用レーザ光の照射が可能である。圧縮用レーザ光の追加は、圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2のように、ターゲットシェルTg1の中心Ctを挟んで同軸（中心軸Ax）上に対向して入射する2本の圧縮用レーザ光を一組として、2本毎に追加されることができる。また、圧縮用レーザ光を1本毎に追加することもできる。圧縮用レーザ光の数に応じて、圧縮用レーザ光の数と同数の圧縮用レーザ出力装置（圧縮用レーザ出力装置5a及び圧縮用レーザ出力装置5bに対応）が設けられる。

50

【0036】

ターゲットシェルTg1及びターゲットシェルTg2には、貫通孔H1や貫通孔H2に限らず、更に多くの貫通孔が設けられても良い。貫通孔の追加は、貫通孔H1及び貫通孔H2のように、ターゲットシェルTg2の中心Ctを挟んで同軸（中心軸Ax）上に対向する二つの貫通孔を一組として、2つの貫通孔毎に追加されることができる。また、貫通孔を1つ毎に追加することもできる。貫通孔の数以下の数の加熱用レーザー光を供給することができる。加熱用レーザー光は、2本以上であっても良く、100本程度の加熱用レーザー光の照射が可能である。加熱用レーザー光の数に応じて、加熱用レーザー光の数と同数の加熱用レーザー出力装置（加熱用レーザー出力装置6に対応）が設けられる。

【0037】

次に、図6を参照して、レーザー核融合装置1を用いた核融合生成方法について説明する。まず、ステップS1において、制御装置7のターゲットシェル供給手段7aがターゲットシェル供給装置3を制御することによって、核融合反応を生じさせるターゲットシェルTg1を、チャンバ2に供給する（ステップS1：供給工程）。

【0038】

ステップS1に引き続き、制御装置7のタイミング算出手段7bと制御装置7の集光手段7cとが、ターゲットシェルTg1を圧縮するための圧縮用レーザー光と圧縮後のターゲットシェルTg1を加熱するための加熱用レーザー光とを照射するための準備をする（ステップS2：準備工程）。ステップS2に引き続き、制御装置7の出力手段7dは、圧縮用レーザー5a1及び圧縮用レーザー5b1と、加熱用レーザー6a1とを制御することによって、圧縮用レーザー光と加熱用レーザー光とを順にターゲットシェルTg1に照射する（ステップS3：照射工程）。ステップS3をより詳細に説明する。ステップS3では、制御装置7の出力手段7dが圧縮用レーザー5a1及び圧縮用レーザー5b1を制御することによって、後述のステップS2aにおいてタイミング算出手段7bによって算出される圧縮用レーザー光出力タイミングでターゲットシェルTg1の照射領域Ar1及び照射領域Ar2に圧縮用レーザー光を照射し、制御装置7の出力手段7dが加熱用レーザー6a1を制御することによって、後述のステップS2aにおいてタイミング算出手段7bによって算出され圧縮用レーザー光の照射に続く加熱用レーザー光出力タイミングで、ターゲットシェルTg1の貫通孔H1に加熱用レーザー光を照射する。

【0039】

ステップS2は、更に、ステップS2aとステップS2bとを有する。ステップS2aでは、ステップS1においてターゲットシェル供給装置3によってチャンバ2に供給されたターゲットシェルTg1の状態をターゲットシェル監視装置4が監視しつつ、制御装置7のタイミング算出手段7bが、ターゲットシェル監視装置4による監視結果に基づいて、圧縮用レーザー5a1と圧縮用集光光学装置5b2とが圧縮用レーザー光を出力する圧縮用レーザー光出力タイミングと加熱用レーザー6a1が加熱用レーザー光を出力する加熱用レーザー光出力タイミングとを算出する（ステップS2a：算出工程）。

【0040】

ステップS2bでは、ターゲットシェル監視装置4による監視結果に基づいて制御装置7の集光手段7cが圧縮用集光光学装置5a2と圧縮用集光光学装置5b2とを制御することによって、圧縮用レーザー5a1から出力される圧縮用レーザー光が圧縮用レーザー光出力タイミングでターゲットシェルTg1の照射領域Ar1に向け集光されるようにし、圧縮用レーザー5b1から出力される圧縮用レーザー光が圧縮用レーザー光出力タイミング（圧縮用レーザー5a1における圧縮用レーザー光出力タイミングと同一のタイミング）でターゲットシェルTg1の照射領域Ar2に向け集光されるようにし、更に、ターゲットシェル監視装置4による監視結果に基づいて制御装置7の集光手段7cが加熱用集光光学装置6a2を制御することによって、加熱用レーザー6a1から出力される加熱用レーザー光が、加熱用レーザー光出力タイミング（圧縮用レーザー5a1及び圧縮用レーザー5b1における圧縮用レーザー光出力タイミングに引き続くタイミング）でターゲットシェルTg1の貫通孔H1に向け集光されるようにする（ステップS2b：集光工程）。

10

20

30

40

50

【0041】

図7及び図8を参照して、ステップS3について、更に、詳細に説明する。図7は、圧縮用レーザ光のエネルギーの時間波形（期間T1における波形）と、加熱用レーザ光のエネルギーの時間波形（期間T2における波形）とが示されている。図7の縦軸は、レーザ光の強度を表し、図7の横軸は、レーザ光が出力される時間を表している。

【0042】

期間T1は、圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2のそれぞれが圧縮用レーザ5a1及び圧縮用レーザ5b1のそれぞれによって同時に出力される期間であり、タイミング算出手段7bによって算出される圧縮用レーザ光出力タイミングに対応する。圧縮用レーザ5a1の圧縮用レーザ光出力タイミングと圧縮用レーザ5b1の圧縮用レーザ光出力タイミングとは同一（期間T1）である。期間T1は、期間T1a、期間T1b、期間T1cを順に含む。期間T1bは期間T1aに続き、期間T1cは期間T1bに続く。

【0043】

期間T1aにおける圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2は、比較的に低い強度である。期間T1aでは、徐々にターゲットシェルTg1の外表面Sf1がアブレーションされ、外表面Sf1の外側からプラズマP1が噴出される（図8の（A）部を参照）。そして、プラズマP1が外表面Sf1から外側に向けて噴出されることによる反作用によって、ターゲットシェルTg1の内側（内表面Sf2の側）が、中心Ctに向かって圧縮される。

【0044】

期間T1aの終期において、ターゲットシェルTg1が中心Ctに集まりターゲットシェルTg1の中心部の密度が上昇すると、プラズマP1の噴出によって生じターゲットシェルTg1の内側に向かう反作用は低減し、ターゲットシェルTg1に対する圧縮作用が低減する。そこで、期間T1aに続く期間T1bでは、圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2の強度を、期間T1aにおける圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2の強度から、一気に増加させ、ターゲットシェルTg1に対する圧縮作用を増加させ、ターゲットシェルTg1の中心部の密度を更に上昇させる（図8の（B）部を参照）。期間T1bにおけるプラズマP1の密度は、期間T1aにおけるプラズマP1の密度に比較して高い。貫通孔H1に対応する箇所からはプラズマP1の噴出が無いので、貫通孔H1上では、貫通孔H1以外の外表面Sf1の他の領域上と比較して、プラズマP1の密度が比較的に低い。

【0045】

期間T1cにおける圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2は、期間T1bにおける圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2の強度の最大値を有し、この値に強度が維持される（図8の（C）部を参照）。期間T1cにおけるプラズマP1の密度は、期間T1a及び期間T1bにおけるプラズマP1の密度に比較して高い。以上のように、圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2は、期間T1の後半部（期間T1b、T1c）において強度が一気に上昇するテーラードパルスになっている。期間T1における圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2の照射によって、ターゲットシェルTg1の内部には、プラズマ（図9に示すプラズマP2に対応）が生成される。

【0046】

期間T1に続く期間T2は、加熱用レーザ光LS3が加熱用レーザ6a1によって出力される期間であり、タイミング算出手段7bによって算出される加熱用レーザ光出力タイミングに対応する。期間T2における加熱用レーザ光LS3は、圧縮用レーザ光LS1及び圧縮用レーザ光LS2に比較して高エネルギーである。加熱用レーザ光LS3が貫通孔H1に入射すると、加熱用レーザ光LS3によって、内表面Sf2の側における貫通孔H1の開口の近傍において、高速電子及びイオンが発生し、この発生した高速電子及びイオンによって、期間T1において生成されたターゲットシェルTg1の内部のプラズマP2（図9を参照）が加熱され、核融合反応が引き起こされる（図8の（D）部を参照）。

【0047】

10

20

30

40

50

次に、図9を参照して、ターゲットシェルTg1を、従来の金コーン付きターゲットTg-pと比較する。図9の(A)部に、金コーン付きターゲットTg-pの構成の概略を示す。図9の(B)部に、ターゲットシェルTg1の構成の概略を示す。金コーン付きターゲットTg-pは、金コーンCnとCD球体Shを有する。金コーンCnは、金等の金属から成る。CD球体Shは、炭素(C)と、重水素(D)等を含む高分子から成る。金コーンCnは、円錐状の形状を有し、円錐の内側(円錐の内側面の側)には空隙Sa2(空洞)が形成され、円錐の先端Paは閉じている(開口ではない)。金コーンCnの先端Paは、CD球体Shの内部Sa1に到達しているが、金コーンCnの内側の空隙Sa2は、CD球体Shの内部Sa1に到達していない。加熱用レーザ光LS3は、プリパルスPL1と、プリパルスPL1の後に発生しプリパルスPL1よりも高いエネルギーのメインパルスPL2とを含む場合がある。メインパルスPL2は、核融合反応を引き起こすためのエネルギーをターゲットに供給する。プリパルスPL1が発生する場合、金コーン付きターゲットTg-pには、プリパルスPL1によるプラズマP3が、金コーンCnの内側の空隙Sa2に発生する。メインパルスPL2の一部は、金コーンCnに衝突する前に、プリパルスPL1によって金コーンCnの内側の空隙Sa2に発生したプラズマP3に衝突するので、メインパルスPL2から、CD球体Shの空隙Sa2のプラズマP2a(CD球体Shが圧縮されることによってCD球体Shの内部Sa1の中心部に生じるプラズマ)に供給されるエネルギーは、プリパルスPL1が無い場合に比較して、低減される。

10

【0048】

一方、ターゲットシェルTg1は、従来の金コーンCnを有さず、貫通孔H1を有する。プリパルスPL1は、ターゲットシェルTg1の内側の空隙Spにあって内表面Sf2の側における貫通孔H1の開口の近傍において、プラズマP4を発生させ、プリパルスPL1の後に照射されるメインパルスPL2の一部又は全部は、このプラズマP4に衝突し、この衝突によって発生する高速電子が(または、このプラズマP4との衝突が回避されたメインパルスPL2の一部が直接に)、期間T1の間にターゲットシェルTg1の中心部(中心Ct)に発生したプラズマP2と衝突し、この中心部のプラズマP2を加熱する。ターゲットシェルTg1の場合にプリパルスPL1によってターゲットシェルTg1の内側の空隙Spで発生するプラズマP4は、プリパルスPL1によって金コーンCnの内側の空隙Sa2で発生するプラズマP3よりも、ターゲットの中心部のプラズマ(ターゲットシェルTg1の場合にはプラズマP2であり、金コーン付きターゲットTg-pの場合にはプラズマP2a。)により近いので、プリパルスPL1の後に照射されるメインパルスPL2のエネルギーは、ターゲットシェルTg1の場合のほうが、従来の金コーン付きターゲットTg-pの場合に比較して、より多くターゲットの中心部のプラズマに供給される。また、ターゲットシェルTg1の場合、加熱用レーザ光LS3は、金コーンCnを介さずに、ターゲットシェルTg1の貫通孔H1に直接に照射されるので、従来の金コーン付きターゲットTg-pの場合に比較して、金コーンCnによるエネルギーの損失を考慮する必要がなく、ターゲットシェルTg1の中心部のプラズマP2に供給されるエネルギーの制御がより正確に、容易に行える。また、金コーンCnを用いた場合、重イオンである金イオンの加速が困難なことから、イオンによる加熱の寄与は余りない。

20

30

40

【0049】

更に、ターゲットシェルTg1の場合のプリパルスPL1による影響とターゲットシェルTg2の場合のプリパルスPL1による影響とを比較する。ターゲットシェルTg1の場合には、プリパルスPL1によって内表面Sf2の側における貫通孔H1の開口の近傍に生じるプラズマP4(一次的なプラズマ)中の電子が、内表面Sf2のうち中心Ctを挟んで貫通孔H1と対向する領域に衝突することによって若干のプラズマ(副次的なプラズマ)が更に発生し、内表面Sf2の側における貫通孔H1の開口の近傍にまで到達する可能性がある。メインパルスPL2は、プリパルスPL1が直接に引き起こす一次的なプラズマと共に、この若干の副次的なプラズマとも衝突するが、この副次的なプラズマによる影響は一次的なプラズマによる影響に比較して微小であり、従って、従来の金コーン付

50

きターゲット T g - p の場合におけるプリパルス P L 1 によるプラズマの影響に比較して、小さい。これに対し、ターゲットシェル T g 2 の場合、中心 C t を挟んで貫通孔 H 1 と対向する領域には貫通孔 H 2 が設けられているので、ターゲットシェル T g 1 の場合とは異なり、プリパルス P L 1 によって内表面 S f 2 の側における貫通孔 H 1 の開口の近傍に生じるプラズマ中の電子は、内表面 S f 2 には衝突せず、よって、副次的なプラズマは生じない。

【0050】

本実施形態に係るレーザ核融合装置 1 と核融合生成方法では、核融合反応を生じさせるターゲットとして、中空の球殻状の形状を有するターゲットシェル T g 1 が用いられ、ターゲットシェル T g 1 は、ターゲットシェル T g 1 の外側とターゲットシェル T g 1 の内側の空隙 S p とを繋ぎ加熱用レーザ光 L S 3 をターゲットシェル T g 1 の内側の空隙 S p に導く貫通孔 H 1 が設けられ、従来のような金コーン C n を有さない構成を有する。従って、加熱用レーザ光 L S 3 は従来のような金コーン C n を介さずに貫通孔 H 1 によってターゲットシェル T g 1 の内側の空隙 S p に直接に案内されるので、金コーン C n による影響を考慮する必要が無く、ターゲットシェル T g 1 の空隙 S p の中心部のプラズマ P 2 に供給されるエネルギーが容易に制御可能となる。

【0051】

更に、ターゲットシェル T g 2 の場合、貫通孔 H 1 及び貫通孔 H 2 が対向する位置に設けられているので、一方の貫通孔 H 1 からターゲットシェル T g 2 の内側の空隙 S p に加熱用レーザ光 L S 3 が照射された場合に、この加熱用レーザ光 L S 3 によって、この貫通孔 H 1 の開口付近にプラズマ P 4 が発生しても、このプラズマ P 4 から生じる電子が、ターゲットシェル T g 2 の内表面 S f 2 であってこの貫通孔 H 2 の開口に対向する側に衝突することが無く、よって、ターゲットシェル T g 2 の内側において副次的なプラズマの発生が抑制できる。更に、ターゲットシェル T g 1 及びターゲットシェル T g 2 は、何れも、炭素原子と、水素、重水素及び三重水素とを含むので、核融合を好適に発生させることができる。

【0052】

(実施例)

図 10 に、ターゲットシェル T g 2 の実施例（実施例ターゲットという）を用いた場合の測定結果と、従来の金コーン付きターゲット T g - p の実施例（従来ターゲットという）を用いた場合の測定結果とを示す。図 10 の横軸は、実施例ターゲットと、従来の従来ターゲットとに照射されるレーザ光のエネルギーを表しており、図 10 の縦軸は、核融合反応によって実施例ターゲット及び従来ターゲットのそれぞれから発生した中性子の総数を表している。

【0053】

測定結果 G 1 ～ G 4 は、実施例ターゲットを用いた場合の測定結果を表している。測定結果 G 1 ～ G 4 が得られた実施例ターゲットは、直径が 500 μm 程度であり、殻の厚み（外表面 S f 1 と内表面 S f 2 との間の距離に対応）は 7 μm 程度であり、貫通孔 H 1 に対応する貫通孔の直径と、貫通孔 H 2 に対応する貫通孔の直径とは、何れも 250 μm 程度であった。測定結果 G 1 ～ G 4 が得られた圧縮用レーザ光は二本であり（圧縮用レーザ光 L S 1 と圧縮用レーザ光 L S 2 とに対応）、この二本の圧縮用レーザ光の時間パルス幅は、何れも、1.3 ナノ秒程度であり、測定結果 G 1 ～ G 4 が得られた二本の圧縮用レーザ光のエネルギーは、何れも、300 J 程度であった。二本の圧縮用レーザ光の照射によって、圧縮用レーザ光の照射期間内に 1×10^6 個の中性子を測定した。圧縮用レーザ光の照射に続き、1.5 ps（ピコ秒）程度の時間パルス幅と 600 J 程度のエネルギーとを有する一本の加熱用レーザ光（加熱用レーザ光 L S 3 に対応）を照射して核融合反応を生成し、この加熱用レーザ光の照射期間内に 5×10^8 個の中性子を測定した（測定結果 G 4）。更に、圧縮用レーザ光の照射に続き、1.5 ps（ピコ秒）程度の時間パルス幅と 500 J 程度のエネルギーとを有する加熱用レーザ光（加熱用レーザ光 L S 3 に対応）を照射して核融合反応を生成し、この加熱用レーザ光の照射期間内に 1×10^8 個の中性

子を測定した（測定結果 G 4）。

【0054】

測定結果 G 5, G 6 は、従来ターゲットを用いた場合の測定結果を表している。測定結果 G 5, G 6 が得られた従来ターゲットは、金コーンの先端と C D 球体の中心との距離が $50\text{ }\mu\text{m}$ の程度となるまで金コーンを C D 球体の内側に侵入させた構成であった。この従来ターゲットの球殻状の C D 球体の直径は $500\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、C D 球体の殻の厚み（C D 球体の外表面と内表面との間の距離）は $7\text{ }\mu\text{m}$ 程度であり、円錐状の金コーンの壁厚は $10\text{ }\mu\text{m} \sim 20\text{ }\mu\text{m}$ の程度であった。従来ターゲットに照射した圧縮用レーザー光は 9 から 12 本であり、圧縮用レーザー光の総エネルギーは 1.5 から 4.5 kJ であり、それぞれの圧縮用レーザー光の時間パルス幅は、何れも、1.5 ns であった。圧縮用レーザー光の照射に続き従来ターゲットに照射した加熱用レーザー光は 1 本であり、この加熱用レーザー光のエネルギーは 300 J であり、時間パルス幅は 1 ps（ピコ秒）であった。加熱用レーザー光を従来ターゲットに照射して核融合反応を生成し、この加熱用レーザー光の照射期間内に最大 3.5×10^7 個の中性子を測定した（測定結果 G 5, G 6）。

【0055】

図 6 に示す測定結果によれば、ターゲットシェル T g 2 に対応する実施例ターゲットを用いた場合は、従来の金コーン付きターゲットを用いた場合に比較して、照射したレーザー光の総エネルギー（圧縮用レーザー光のエネルギーと加熱用レーザー光のエネルギーの総和）が約 $1/3$ となっているのに対し、発生した中性子の総数は、一桁以上、上回っていた。

【0056】

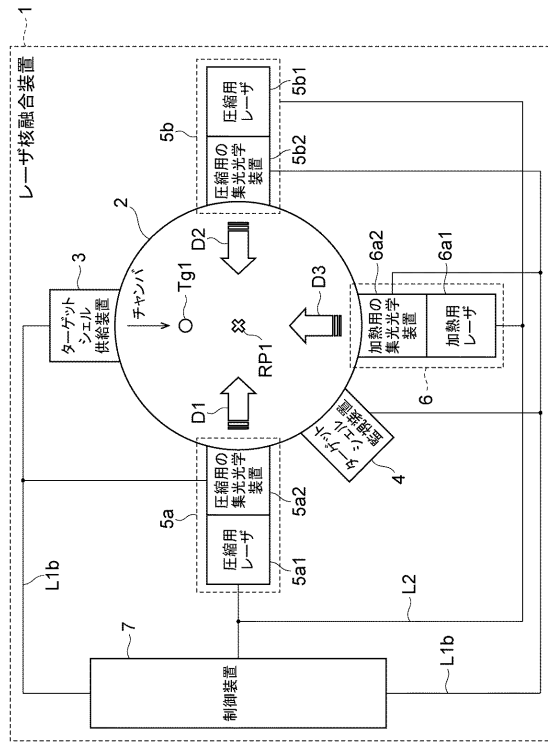
以上、好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更に権利を請求する。

【符号の説明】

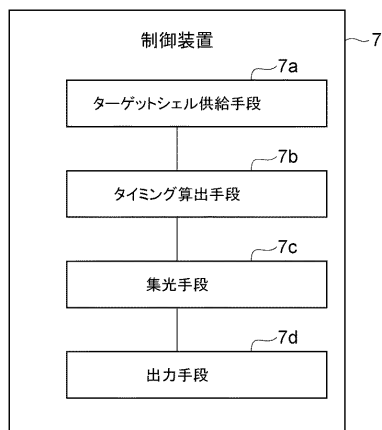
【0057】

1…レーザー核融合装置、2…チャンバ、3…ターゲットシェル供給装置、4…ターゲットシェル監視装置、5 1, 6 1…レーザー発振器、5 2, 6 3…波形制御装置、5 3, 6 4…レーザー増幅器、5 4…波長変換装置、5 a, 5 b…圧縮用レーザー出力装置、5 a 1, 5 b 1…圧縮用レーザー、5 a 2, 5 b 2…圧縮用集光光学装置、6…加熱用レーザー出力装置、6 2…パルス伸長器、6 5…パルス圧縮器、6 a 1…加熱用レーザー、6 a 2…加熱用集光光学装置、7…制御装置、7 a…ターゲットシェル供給手段、7 b…タイミング算出手段、7 c…集光手段、7 d…出力手段、A r 1, A r 2…照射領域、A x…中心軸、C n…金コーン、C t…中心、D 1, D 2, D 3…進行方向、G 1, G 2, G 3, G 4, G 5, G 6…測定結果、H 1, H 2…貫通孔、L 1 a, L 1 b…制御用の信号ライン、L 2…レーザー出力用の信号ライン、L S 1, L S 2…圧縮用レーザー光、L S 3…加熱用レーザー光、P 1, P 2, P 2 a, P 3, P 4…プラズマ、P a…先端、P L 1…プリパルス、P L 2…メインパルス、R P 1…基準地点、S a 1…内部、S a 2…空隙、S f 1…外表面、S f 2…内表面、S h…C D 球体、S p…空隙、T 1, T 1 a, T 1 b, T 1 c, T 2…期間、T g 1, T g 2…ターゲットシェル、T g - p…金コーン付きターゲット。

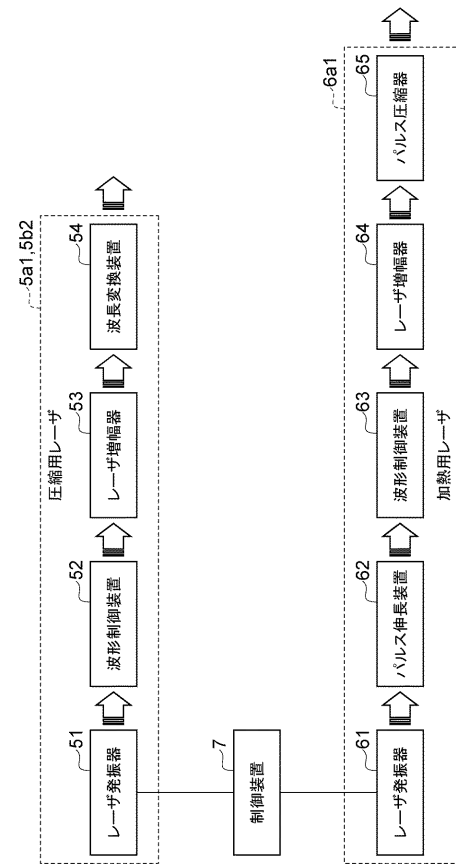
【図 1】



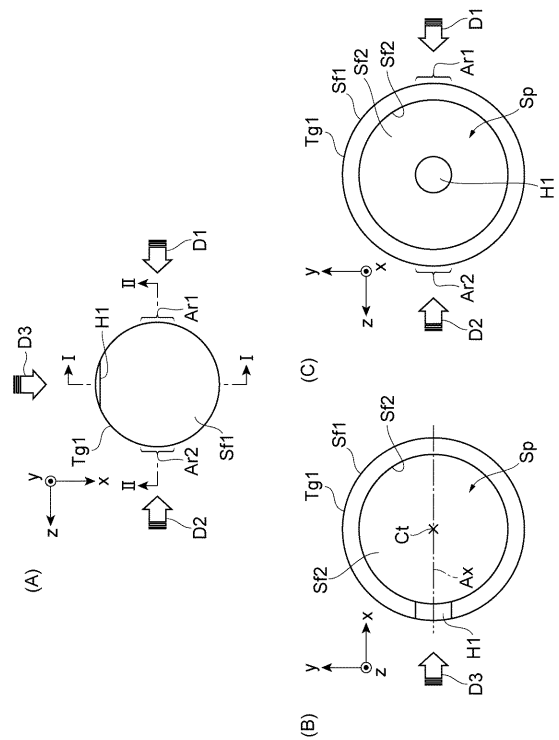
【図 3】



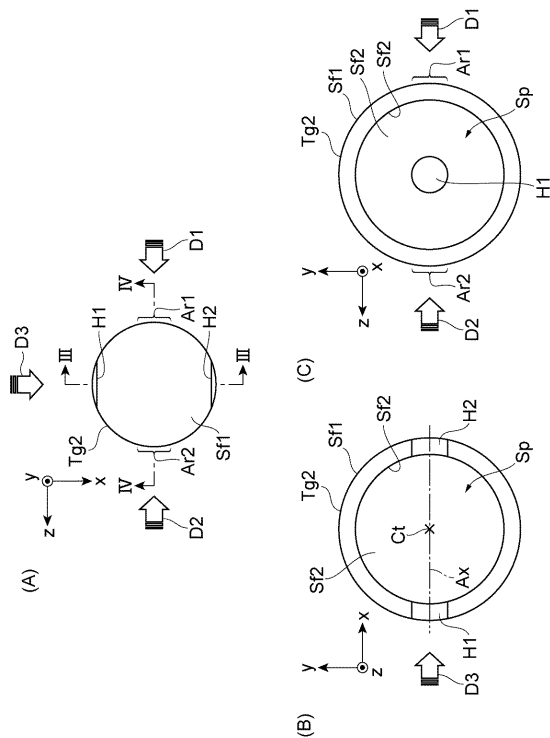
【図 2】



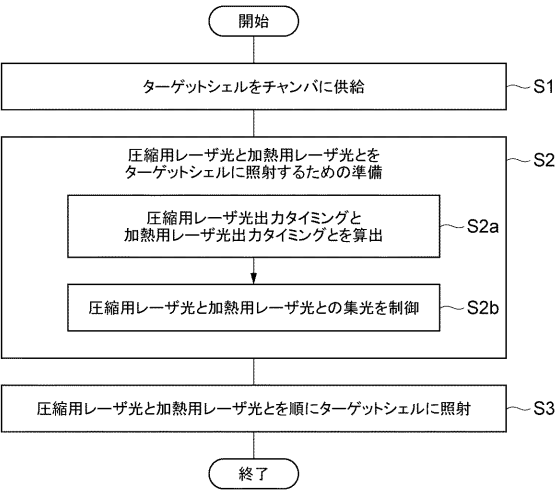
【図 4】



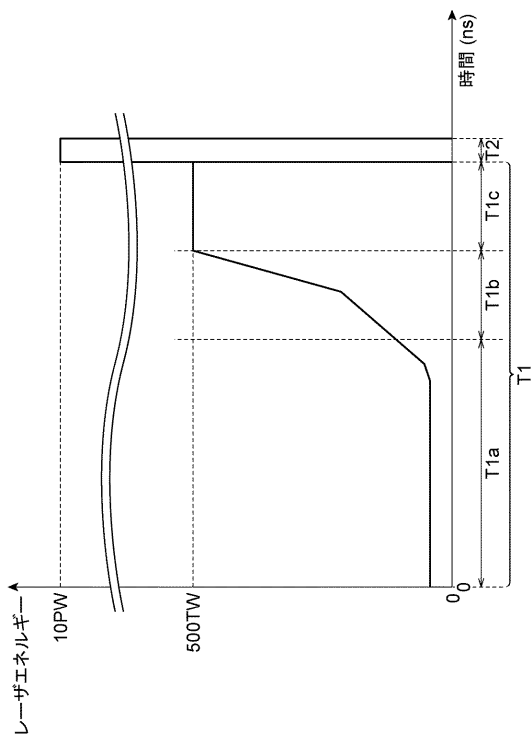
【図 5】



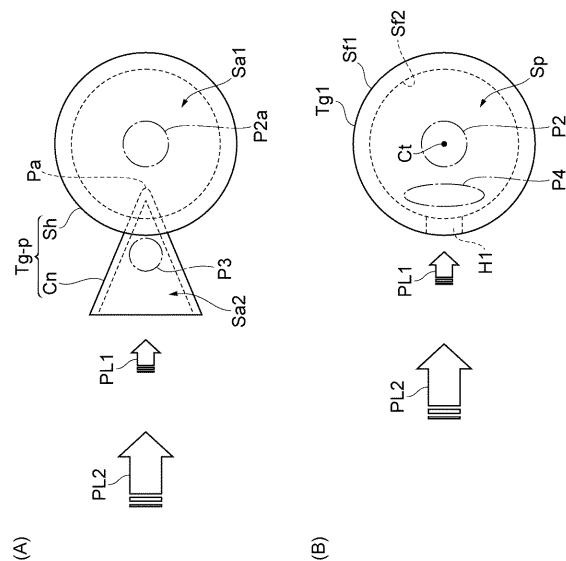
【図 6】



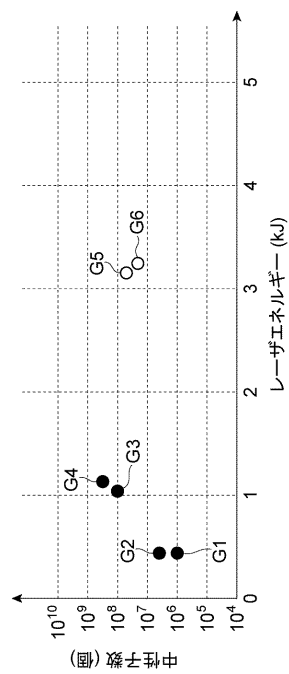
【図 7】



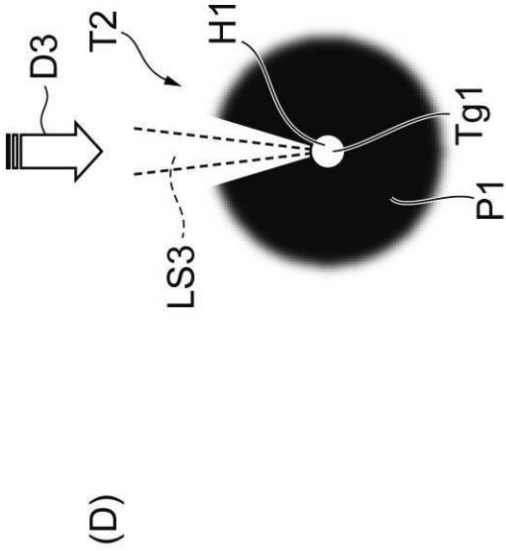
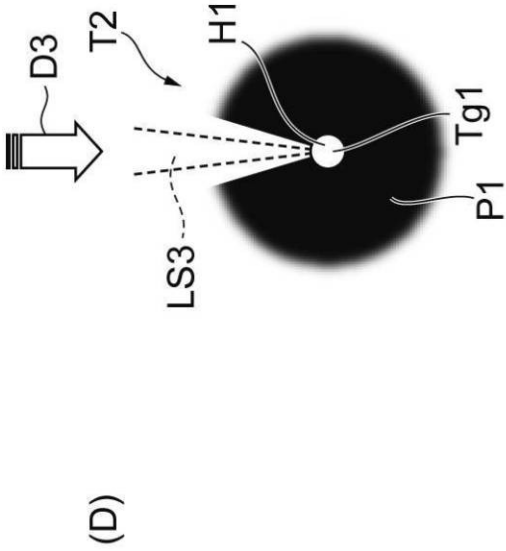
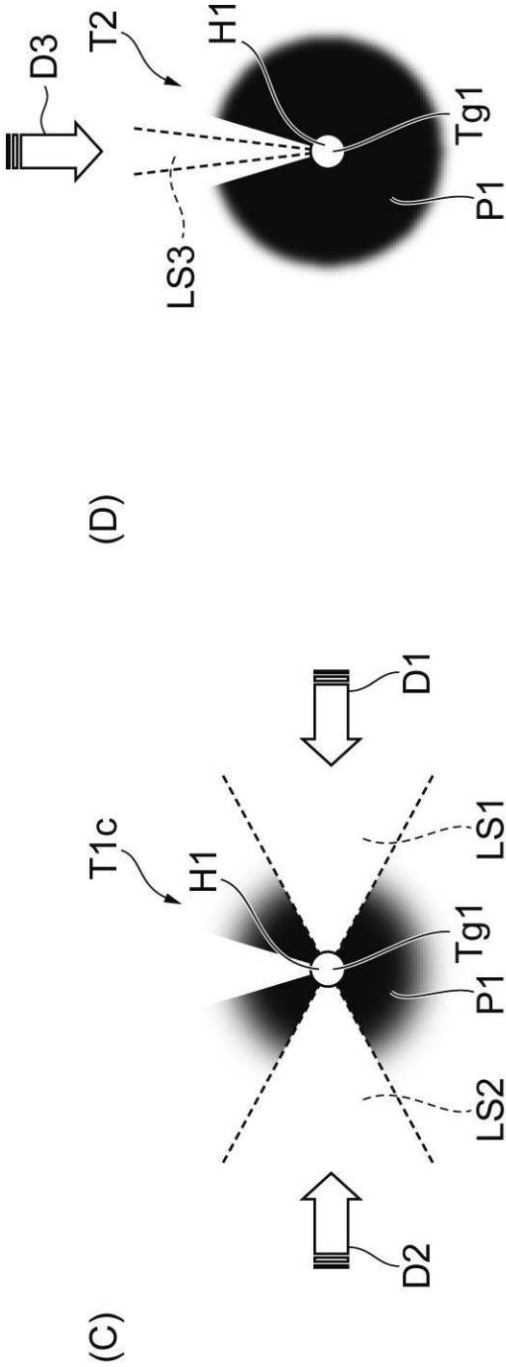
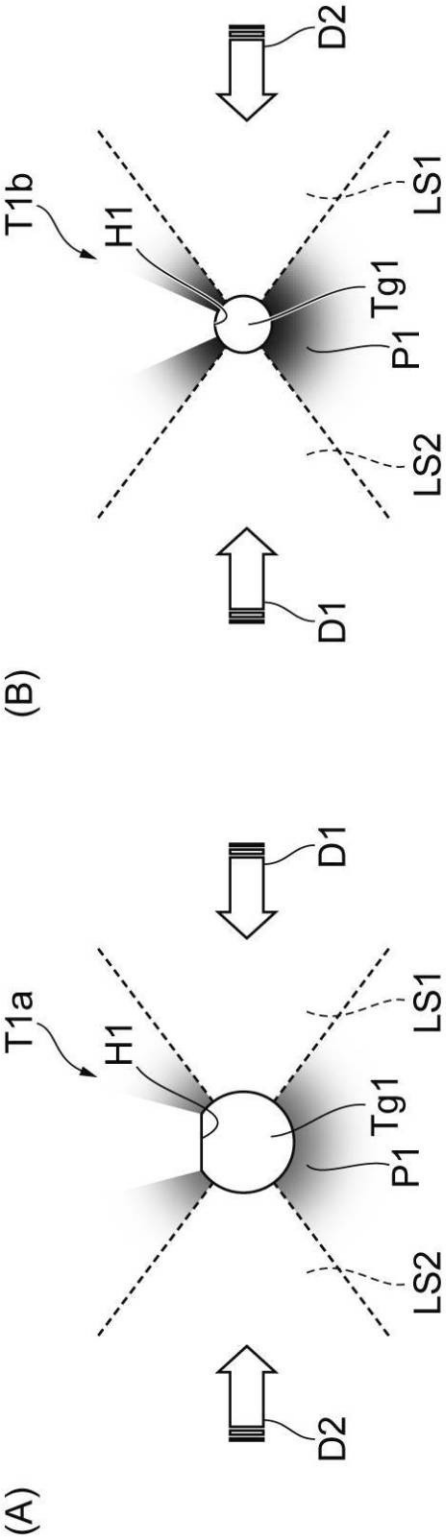
【図 9】



【図 1 0】



【図 8】



フロントページの続き

- (74)代理人 100113435
弁理士 黒木 義樹
- (74)代理人 100124291
弁理士 石田 悟
- (72)発明者 関根 尊史
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 栗田 隆史
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 川嶋 利幸
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 佐藤 伸弘
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 菅 博文
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内
- (72)発明者 北川 米喜
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 森 芳孝
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 石井 勝弘
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 藤田 和久
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 花山 良平
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 沖原 伸一郎
静岡県浜松市西区呉松町 1 9 5 5 番地の 1 学校法人光産業創成大学院大学内
- (72)発明者 砂原 淳
大阪府大阪市西区靱本町 1 丁目 8 番 4 号 公益財団法人レーザー技術総合研究所内
- (72)発明者 米田 修
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 中村 直樹
愛知県豊田市トヨタ町 1 番地 トヨタ自動車株式会社内
- (72)発明者 西村 靖彦
愛知県豊田市花本町井前 1 番地 2 1 トヨタテクニカルディベロップメント株式会社内
- (72)発明者 東 博純
愛知県長久手市横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内