

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6774305号
(P6774305)

(45) 発行日 令和2年10月21日 (2020. 10. 21)

(24) 登録日 令和2年10月6日 (2020. 10. 6)

(51) Int.Cl.		F I	
F 4 1 H	13/00	(2006. 01)	F 4 1 H 13/00
F 4 1 H	3/00	(2006. 01)	F 4 1 H 3/00
H O 1 S	3/00	(2006. 01)	H O 1 S 3/00 Z
H O 1 S	3/10	(2006. 01)	H O 1 S 3/10 Z

請求項の数 13 (全 26 頁)

(21) 出願番号	特願2016-218229 (P2016-218229)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成28年11月8日 (2016. 11. 8)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2018-76992 (P2018-76992A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43) 公開日	平成30年5月17日 (2018. 5. 17)	(74) 代理人	100205350
審査請求日	令和1年7月19日 (2019. 7. 19)		弁理士 狩野 芳正
		(74) 代理人	100117617
			弁理士 中尾 圭策
		(72) 発明者	西方 伸吾
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	池淵 博
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水中物体破壊システムおよび水中物体破壊方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水中の目標物体を探知する探知装置と、
レーザ光を生成するレーザ発振器と、
前記レーザ発振器からの前記レーザ光の方向と集光位置とを定める照射光学系と、
前記目標物体に前記レーザ光を照射することなく、前記探知装置により探知された前記目標物体から所定の距離だけ離れた水中の目標位置に前記レーザ光を集光して前記目標位置に存在する水を気化またはプラズマ化するように前記レーザ発振器および前記照射光学系を制御する制御装置と
を具備し、

前記水の気化によって発生する気泡による衝撃、または、前記水のプラズマ化によって発生するプラズマによる衝撃で前記目標物体を破壊する
水中物体破壊システム。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記レーザ発振器は、
パルスレーザ光を発振するパルスレーザ発振器
を具備する

水中物体破壊システム。

【請求項 3】

10

20

請求項 1 に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記レーザ発振器は、
連続波レーザ光を発振する連続波レーザ発振器
を具備する
水中物体破壊システム。

【請求項 4】

請求項 2 に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記レーザ発振器は、
連続波レーザ光を発振する連続波レーザ発振器
をさらに具備する
水中物体破壊システム。

10

【請求項 5】

請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の水中物体破壊システムにおいて、
照射したレーザ光に起因する前記気泡または前記プラズマの発生の有無を感知するソナ
ー
をさらに具備し、
前記制御装置は、前記発生の有無を感知した結果に応じて照射条件を調整するフィード
バック制御を行う
水中物体破壊システム。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記ソナーは、発生した前記気泡または前記プラズマに起因する前記衝撃の位置情報を
さらに感知し、
前記制御装置は、感知した前記位置情報に基づいて前記レーザ光の集光位置を調整する
フィードバック制御をさらに行う
水中物体破壊システム。

20

【請求項 7】

請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記制御装置を搭載する第 1 本体と、
前記照射光学系を搭載する第 2 本体と
をさらに具備し、
前記第 1 本体および前記第 2 本体のうち、一方は、他方から分離している
水中物体破壊システム。

30

【請求項 8】

水中の目標物体を感知する感知装置と、
レーザ光を生成するレーザ発振器と、
前記レーザ発振器からの前記レーザ光の方向と集光位置とを定める照射光学系と、
前記感知装置により感知された前記目標物体から所定の距離だけ離れた水中の目標位置
に前記レーザ光を集光して前記目標位置に存在する水を気化またはプラズマ化するように
前記レーザ発振器および前記照射光学系を制御する制御装置と、
前記制御装置を搭載する第 1 本体と、
前記照射光学系を搭載する第 2 本体と
を具備し、
前記第 1 本体および前記第 2 本体のうち、一方は、他方から分離しており、
前記第 1 本体は、船舶であり、
前記第 2 本体は、前記船舶に曳航されている曳航式デコイであり、
前記水の気化によって発生する気泡による衝撃、または、前記水のプラズマ化によって
発生するプラズマによる衝撃で前記目標物体を破壊する
水中物体破壊システム。

40

【請求項 9】

50

請求項 8 に記載の水中物体破壊システムにおいて、
前記レーザ発振器は、前記船舶に搭載されており、
前記レーザ発振器が発振する前記レーザ光を前記照射光学系まで導光する光ファイバケーブル

をさらに具備する

水中物体破壊システム。

【請求項 10】

水中の目標物体を探知することと、

レーザ光を生成することと、

前記目標物体に前記レーザ光を照射することなく、前記探知された前記目標物体から所定の距離だけ離れた水中の目標位置に前記レーザ光を集光して、前記目標位置に存在する水を気化またはプラズマ化することと、

前記水の気化によって発生する気泡による衝撃、または、前記水のプラズマ化によって発生するプラズマによる衝撃で前記目標物体を破壊することと

を具備する

水中物体破壊方法。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の水中物体破壊方法において、

前記レーザ光を集光した結果を観測することと、

前記観測の結果、前記気泡または前記プラズマが水中に発生しなかったことを検知した場合に、前記レーザ光の照射条件を調整するフィードバック制御を行うことと

をさらに具備する

水中物体破壊方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載の水中物体破壊方法において、

前記観測の結果、前記目標物体が破壊されなかったことを検知した場合に、前記レーザ光の集光位置を調整するフィードバック制御を行うこと

をさらに具備する

水中物体破壊方法。

【請求項 13】

請求項 10 ~ 12 のいずれか一項に記載の水中物体破壊方法において、

前記気泡または前記プラズマを水中に発生させることは、

複数の前記気泡または複数の前記プラズマを水中に発生させること

を具備する

水中物体破壊方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は水中物体破壊システムおよび水中物体破壊方法に関し、例えば、レーザ光を用いる水中物体破壊システムおよび水中物体破壊方法に好適に利用できるものである。

【背景技術】

【0002】

水中の主な攻撃手段として、魚雷が知られている。魚雷は、炸薬の爆発による衝撃波や、バブルジェットによる破壊を行う。これらの威力は総じて高く、潜水艦のみならず水上艦にとっても大きな脅威となっている。

【0003】

魚雷の多くは、目標の音源を探知して追尾する。そこで、魚雷から防御するために、音源の欺瞞や、デコイによる回避を企図する多くの防御システムが研究開発されている。このように、魚雷の直接的な破壊を狙う防御システムは少ない。

【 0 0 0 4 】

その一方で、高出力レーザ光を用いる破壊装置の研究開発が各国でなされている。これは、高出力のレーザ光を大気中に伝搬させて目標に照射し、遠隔で目標を破壊するものである。

【 0 0 0 5 】

上記に関連して、特許文献 1（米国特許公開公報第 2 0 0 3 / 0 1 2 7 5 5 8 号）には、レーザ光による脅威および水中物体を検出し、また、これらに対抗するために水中移動体で用いるシステムに係る記載が開示されている。このシステムは、レーザ光検出手段と、レーザ光警告受信機と、信号プロセッサとを備える。ここで、レーザ光検出手段は、水中移動体の表面に配置されるように構成されたレーザ光を検出する。レーザ光警告受信機および信号プロセッサは、レーザ光検出手段に接続されており、レーザ光検出手段を制御する。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 6 】

【特許文献 1】米国特許公開公報第 2 0 0 3 / 0 1 2 7 5 5 8 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 7 】

しかしながら、通常のレーザ光は水中では大きく減衰する。したがって、特許文献 1 のように、レーザ光を水中の魚雷に向けて直接照射してこれを破壊することは、困難である。

20

【 0 0 0 8 】

レーザ光を用いて水中物体を効率よく破壊するシステムおよび方法を提供する。その他の課題と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 9 】

以下に、（発明を実施するための形態）で使用される番号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号は、（特許請求の範囲）の記載と（発明を実施するための形態）との対応関係を明らかにするために付加されたものである。ただし、それらの番号を、（特許請求の範囲）に記載されている発明の技術的範囲の解釈に用いてはならない。

30

【 0 0 1 0 】

一実施の形態によれば、水中物体破壊システム（1）は、探知装置（12）などの外部装置と、レーザ発振器（14A～14C）と、照射光学系（18A～18C）と、制御装置（13）とを備える。ここで、探知装置（12）は、水中の目標物体（40）を探知する。レーザ発振器（14A～14C）は、水中に集光して気泡（70）またはプラズマ（60）を発生させるように構成されたレーザ光（51、52）を生成する。照射光学系（18A～18C）は、生成されたレーザ光（51、52）を所定の集光位置に向けて照射する。制御装置（13）は、探知された目標物体（40）の至近に気泡（70）またはプラズマ（60）が発生するようにレーザ発振器（14A～14C）および照射光学系（18A～18C）を制御する。水中物体破壊システム（1）は、気泡（70）またはプラズマ（60）による衝撃（61、71）で目標物体（40）を破壊する。

40

【 0 0 1 1 】

一実施形態によれば、水中物体破壊方法は、水中の目標物体（40）を探知すること（S101、S201、S301）と、探知した目標物体（40）の至近にレーザ光（51、52）を集光して（S102、S202、S302）気泡（70）またはプラズマ（60）を水中に発生させること（S103、S203、S303）と、気泡（70）またはプラズマ（60）による衝撃（61、71）で目標物体（40）を破壊すること（S104、S205）とを含む。

50

【発明の効果】

【0012】

一実施の形態によれば、レーザ光を水中の目標物体の至近に集光して気泡またはプラズマを発生させ、気泡またはプラズマによる衝撃によって目標物体を効率よく破壊することが出来る。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1A】図1Aは、魚雷によるバブルジェットを用いた破壊方法の第1段階を示す図である。

【図1B】図1Bは、魚雷によるバブルジェットを用いた破壊方法の第2段階を示す図である。

10

【図1C】図1Cは、魚雷によるバブルジェットを用いた破壊方法の第3段階を示す図である。

【図1D】図1Dは、魚雷によるバブルジェットを用いた破壊方法の第4段階を示す図である。

【図2】図2は、魚雷による攻撃を避ける方法の例を示す図である。

【図3】図3は、高出力レーザ光照射装置の一構成例を示す図である。

【図4】図4は、第1実施形態による水中物体破壊システムの一構成例を示すブロック回路図である。

【図5】図5は、第1実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。

20

【図6A】図6Aは、第1実施形態による水中物体破壊システムが目標物体を探知する状態の一例を示す図である。

【図6B】図6Bは、第1実施形態による水中物体破壊システムがレーザ光を照射する状態の一例を示す図である。

【図6C】図6Cは、第1実施形態による水中物体破壊システムがレーザ光によって発生したプラズマまたは気泡の至近に目標物体が接近した状態の一例を示す図である。（別紙3、右上図その1）

【図6D】図6Dは、第1実施形態による水中物体破壊システムが目標物体をプラズマによる衝撃で破壊する状態の一例を示す図である。

30

【図6E】図6Eは、第1実施形態による水中物体破壊システムが目標物体を気泡によるバブルジェットで破壊する状態の一例を示す図である。

【図7A】図7Aは、第1実施形態による水中物体破壊システムが複数のレーザ光を照射する状態一例を示す図である。

【図7B】図7Bは、第1実施形態による水中物体破壊システムが、複数のレーザ光を照射して、複数の気泡または複数のプラズマを発生させている状態の一例を示す図である。

【図8A】図8Aは、第1実施形態による水中物体破壊システムにおいて、潜水艦がレーザ光を水中から照射する場合の一構成例を示す図である。

【図8B】図8Bは、第1実施形態による水中物体破壊システムにおいて、船舶がレーザ光を水中から照射する場合の一構成例を示す図である。

40

【図8C】図8Cは、第1実施形態による水中物体破壊システムにおいて、船舶がレーザ光を空中から照射する場合の一構成例を示す図である。

【図8D】図8Dは、第1実施形態による水中物体破壊システムにおいて、航空機がレーザ光を空中から照射する場合の一構成例を示す図である。

【図9】図9は、第2実施形態による水中物体破壊システムの一構成例を示すブロック回路図である。

【図10】図10は、第2実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。

【図11A】図11Aは、第2実施形態による水中物体破壊システムが連続波レーザ光を照射する状態を示す図である。

50

【図 1 1 B】図 1 1 B は、第 2 実施形態による水中物体破壊システムが連続波レーザ光を照射し続ける最中に目標物体が接近する状態を示す図である。

【図 1 1 C】図 1 1 C は、第 2 実施形態による水中物体破壊システムが持続的に照射する連続波レーザ光によって生じる気泡によって目標物体が破壊される状態を示す図である。

【図 1 2 A】図 1 2 A は、第 3 実施形態による水中物体破壊システムの第 1 構成例を示すブロック回路図である。

【図 1 2 B】図 1 2 B は、第 3 実施形態による水中物体破壊システムの第 2 構成例を示すブロック回路図である。

【図 1 2 C】図 1 2 C は、第 3 実施形態による水中物体破壊システムの第 3 構成例を示すブロック回路図である。

10

【図 1 2 D】図 1 2 D は、第 3 実施形態による水中物体破壊システムの第 5 構成例を示すブロック回路図である。

【図 1 3】図 1 3 は、第 4 実施形態による水中物体破壊システムの一構成例を示すブロック回路図である。

【図 1 4】図 1 4 は、第 4 実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。

【図 1 5 A】図 1 5 A は、第 4 実施形態による水中物体破壊システムがレーザ光を照射する状態の一例を示す図である。

【図 1 5 B】図 1 5 B は、第 4 実施形態による水中物体破壊システムが照射したレーザ光が想定より近距離に集光されたことを検知した状態の一例を示す図である。

20

【図 1 5 C】図 1 5 C は、第 4 実施形態による水中物体破壊システムが照射したレーザ光が集光されずに衝撃波が発生しなかったことを検知した状態の一例を示す図である。

【図 1 5 D】図 1 5 D は、第 4 実施形態による水中物体破壊システムがフィードバック制御によって再度レーザ光を照射する状態の一例を示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、第 5 実施形態による水中物体破壊システムの一構成例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

添付図面を参照して、本発明による水中物体破壊システム 1 および水中物体破壊方法を実施するための形態を以下に説明する。

30

【0015】

まず、図 1 A ~ 図 1 D を参照して、前述したバブルジェットについてより詳細に説明する。図 1 A は、魚雷 40 によるバブルジェット 204 を用いた破壊方法の第 1 段階を示す図である。魚雷 40 が備える炸薬が船舶 100 の至近で爆発すると、水中に気泡 201 が生じる。

【0016】

図 1 B は、魚雷 40 によるバブルジェット 204 を用いた破壊方法の第 2 段階を示す図である。気泡 201 は、内部の気圧と、外部の水圧との相互作用によって、膨張および収縮を繰り返す。この現象は、バブルパルスと呼ばれる。

【0017】

40

図 1 C は、魚雷 40 によるバブルジェット 204 を用いた破壊方法の第 3 段階を示す図である。気泡 201 が収縮するとき、船舶 100 の船底などの構造物が気泡 201 の付近に存在すると、気泡 201 の構造物側の表面と、その反対側の表面との間で、圧力差が発生する。その結果、反対側の表面から構造物側の表面に向かって気泡 201 がへこみ、水流 203 が発生する。

【0018】

図 1 D は、魚雷 40 によるバブルジェット 204 を用いた破壊方法の第 4 段階を示す図である。この水流 203 がバブルジェット 204 となり、船舶 100 などの構造物を破壊する大きな力を発揮する。なお、このバブルジェット 204 の威力は、炸薬の爆発による衝撃波 202 よりも強いことが多い。

50

【 0 0 1 9 】

次に、前述の魚雷から防御する方法の一例について説明する。図 2 は、魚雷 4 0 による攻撃を避ける方法の例を示す図である。潜水艦 3 0 などから発射される魚雷 4 0 は、船舶 2 0 などの目標に向かって移動する際、目標の音を検知して、検知した音に向かって移動する。そこで、目標とされた船舶 2 0 は、自身から離れた位置から音を発信することで、潜水艦 3 0 や魚雷 4 0 を欺瞞する。ここで、船舶 2 0 は、曳航式デコイ 2 1 や、自走式デコイ 2 2 から音を発信しても良い。音源を欺瞞された結果、魚雷 4 0 はデコイに向かって移動し、目標とされた船舶 2 0 は魚雷 4 0 の脅威を回避することが出来る。

【 0 0 2 0 】

次に、前述の高出力レーザ光を用いる破壊装置の一例について説明する。図 3 は、高出力レーザ光照射装置の一構成例を示す図である。図 3 の例では、高出力レーザ照射装置 3 0 0 が出力する高出力レーザ光 3 0 3 を目標 4 0 0 に照射する。高出力レーザ照射装置 3 0 0 は、高出力レーザ発振器 3 0 1 を用いて高出力レーザ光 3 0 3 を生成し、照射光学系 3 0 2 を用いて高出力レーザ光 3 0 3 の照射方向を目標 4 0 0 に向けて設定する。目標 4 0 0 の、高出力レーザ光 3 0 3 が照射されている部分を、便宜上、被照射部分 4 0 1 と呼ぶ。高出力レーザ光 3 0 3 が照射された結果、目標 4 0 0 はその一部または全てが破壊される。

【 0 0 2 1 】

このような高出力レーザ光 3 0 3 は、伝搬する距離に応じてその強度が減衰する。それでも、このような高出力レーザ照射装置 3 0 0 は、空中を伝搬する場合は数キロメートル程度離れた距離から目標 4 0 0 を破壊することが可能である。しかしながら、水中を伝搬する場合は、空中を伝搬する場合よりもさらに減衰してしまう。そこで、以下に説明する実施形態では、レーザ光を水中に集光し、水を沸騰させて気泡を発生させる。この気泡を魚雷 4 0 などの水中物体の至近で発生させることでバブルジェットが発生し、このバブルジェットによって水中物体を破壊する。または、レーザ光を水中に集光し、プラズマを発生させる。このプラズマを魚雷 4 0 などの水中物体の至近で発生させることで、プラズマの発生に伴う衝撃波によって水中物体を破壊する。この場合、照射側から例えば 2 0 メートル以内の範囲や、またはさらにその遠方でも、水中を伝搬して減衰した後でも集光位置で気泡またはプラズマを発生させられる。

【 0 0 2 2 】

(第 1 の実施形態)

図 4 は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 の一構成例を示すブロック回路図である。図 4 に示した水中物体破壊システム 1 の構成要素について説明する。図 4 の水中物体破壊システム 1 は、外部システム 1 2 と、制御装置 1 3 と、パルスレーザ発振器 1 4 A と、照射光学系 1 8 A とを備えている。外部システム 1 2 は、例えば、船舶 2 0 に設けられた艦船管制システムであって、魚雷 4 0 などの水中物体の存在を探知するためのソナーなどを備えていることが望ましい。制御装置 1 3 は、信号の送受信を行う入出力インタフェースと、プログラムやデータなどを格納するメモリと、メモリ上のプログラムを実行して信号を生成する CPU (Central Processing Unit : 中央演算装置) とを備える計算機であっても良い。照射光学系 1 8 A は、照射方向および焦点距離を調整するために、レンズや反射鏡などの光学装置と、レンズの位置や反射鏡の角度などを調整する駆動装置とを備えることが望ましい。外部システム 1 2 と、制御装置 1 3 と、パルスレーザ発振器 1 4 A と、照射光学系 1 8 A とは、その全てが図示しない船舶 2 0 などに設けられていても良いし、その一部が船舶 2 0 に、残りがデコイや航空機など他の場所に設けられていても良い。

【 0 0 2 3 】

図 4 の各構成要素の接続関係について説明する。電気的な接続関係に注目すると、外部システム 1 2 の後段には、制御装置 1 3 が接続されている。制御装置の後段には、パルスレーザ発振器 1 4 A と、照射光学系 1 8 A とが接続されている。ここで、電気的な接続関係は、有線で実現されていても良いし、無線で実現されていても良い。光学的な接続関係

10

20

30

40

50

に注目すると、照射光学系 18 A は、パルスレーザ発振器 14 A の後段に配置されている。なお、光学的な接続関係は、図示しないミラー、レンズ、ビームスプリッタなどの光学部品を適宜に用いて仲介しても良いことは言うまでもない。

【0024】

図4の水中物体破壊システム1の動作、すなわち本実施形態による水中物体破壊方法について、図5および図6A～図6Eを参照して説明する。図5は、第1実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。図5のフローチャートは、第0ステップS100～第5ステップS105の、合計6のステップを含んでいる。図5のフローチャートは、第0ステップS100から開始する。第0ステップS100の次には、第1ステップS101が実行される。

10

【0025】

第1ステップS101において、水中物体破壊システム1は、目標物体40を検知する。より具体的には、外部システム12が、目標物体40が発射される際に発する発射音31や、目標物体40が水中を航行する際に発する航行音や、その他のあらゆる音などを検知して、水中の目標物体40としての魚雷などの位置や、移動方向や、移動速度などを検知する。図6Aは、第1実施形態による水中物体破壊システム1が魚雷などの目標物体40を検知する状態の一例を示す図である。目標物体40が検知された場合、第1ステップS101の次には、第2ステップS102が実行される。

【0026】

第2ステップS102において、水中物体破壊システム1は、目標物体40の至近に集光するようにパルスレーザ光51を照射する。より具体的には、外部システム12が、目標物体40を検知した結果を示す検知信号121を生成する。外部システム12は、生成した検知信号121を制御装置13に向けて送信する。制御装置13は、送信された検知信号121を受信する。

20

【0027】

制御装置13は、受信した検知信号121に応じて、パルスレーザの発振を制御するための発振制御信号131Aを生成する。制御装置13は、生成した発振制御信号131Aを、パルスレーザ発振器14Aに向けて送信する。パルスレーザ発振器14Aは、送信された発振制御信号131Aを受信する。

【0028】

パルスレーザ発振器14Aは、受信した発振制御信号131Aに応じて、パルスレーザを発振し、パルスレーザ光51を出射する。照射光学系18Aは、出射されたパルスレーザ光51を受光する。

30

【0029】

制御装置13は、受信した検知信号121に応じて、パルスレーザ光51を照射する方向を制御し、かつ、照射されたパルスレーザ光51が集光する位置を制御するための、照射方向制御信号134Aを生成する。制御装置13は、生成した照射方向制御信号134Aを、照射光学系18Aに向けて送信する。照射光学系18Aは、送信された照射方向制御信号134Aを受信する。

【0030】

照射光学系18Aは、受信した照射方向制御信号134Aに応じて、パルスレーザ光51を照射する方向を調整し、かつ、照射したパルスレーザ光51が集光する焦点距離を調整する。照射光学系18Aは、受光したパルスレーザ光51を、調整した方向に向けて、かつ、調整した焦点距離で集光するように、照射する。第2ステップS102の次には、第3ステップS103が実行される。

40

【0031】

第3ステップS103において、照射されたレーザ光によって水中に気泡70またはプラズマ60が発生する。より具体的には、照射されたパルスレーザ光51は、調整された位置に集光する。集光したパルスレーザ光51によって、周囲の水が沸騰し、気泡70が発生する。または、集光したパルスレーザ光51によって周囲の水がプラズマ化し、プラ

50

ズマ 60 が発生する。図 6 B は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 がレーザ光を照射する状態の一例を示す図である。第 3 ステップ S 103 の次には、第 4 ステップ S 104 が実行される。

【0032】

第 4 ステップ S 104 において、気泡 70 によって発生するバブルジェット 71 またはプラズマ 60 によって発生する衝撃波 61 で目標物体 40 を破壊する。より具体的には、パルスレーザ光 51 によって水中に気泡 70 が発生し、この気泡 70 の至近に目標物体 40 があつたり、この気泡 70 に目標物体 40 が接近したりした場合に、バブルジェット 71 が発生し、発生したバブルジェット 71 が目標物体 40 を破壊する。または、パルスレーザ光 51 によって水中にプラズマ 60 が発生し、このプラズマ 60 の至近に目標物体 40 があつたり、このプラズマ 60 に目標物体 40 が接近したりした場合に、プラズマ 60 によって発生する衝撃波 61 が目標物体 40 を破壊する。図 6 C は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 がレーザ光によって発生したプラズマ 60 または気泡 70 の至近に目標物体 40 が接近した状態の一例を示す図である。図 6 D は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 が目標物体 40 を気泡 70 によるバブルジェット 71 で破壊する状態の一例を示す図である。図 6 E は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 が目標物体 40 をプラズマ 60 による衝撃波 61 で破壊する状態の一例を示す図である。第 4 ステップ S 104 の次には、第 5 ステップ S 105 が実行されて、図 5 のフローチャートは終了する。

【0033】

レーザ光の集光位置の観点から、本実施形態の変形例について説明する。本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、例えば、複数のパルスレーザ発振器 14 A を備えていても良い。この場合、水中物体破壊システム 1 は、一度に複数のパルスレーザ光 51 を照射し、かつ、それぞれ異なる位置に集光させて、一度に複数の気泡 70 またはプラズマ 60 を発生させることが可能となる。または、単独のパルスレーザ発振器 14 A でパルスレーザ光 51 を、短い間隔で断続的に照射し、かつ、それぞれ異なる位置に集光させて、連続的に複数の気泡 70 またはプラズマ 60 を発生させても良い。図 7 A は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 が複数のレーザ光を照射する状態一例を示す図である。

【0034】

本実施形態の別の構成例について説明する。本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、上記に説明したとおり、複数のパルスレーザ光 51 を、一度に、または連続的に照射することで、複数の気泡 70 またはプラズマ 60 を、壁または網のように並べて発生させることが可能である。図 7 B は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 が複数のレーザ光を照射して、複数の気泡 70 または複数のプラズマ 60 を発生させている状態の一例を示す図である。複数の気泡 70 または複数のプラズマ 60 の間隔を、魚雷などの目標物体 40 の寸法に対して十分小さく調整することによって、目標物体 40 を精度よく待ち受けて破壊することが可能となる。

【0035】

レーザ光の照射位置の観点から、本実施形態の他の構成例について説明する。本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、例えば、潜水艦 23 に搭載することが可能である。この場合、パルスレーザ光 51 は、水中から照射されることになる。図 8 A は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 において、潜水艦 23 がレーザ光を水中から照射する場合の一構成例を示す図である。

【0036】

本実施形態の別の構成例について説明する。本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、例えば、船舶 20 に搭載することが可能である。この場合、パルスレーザ光 51 は、水中から照射すること、水上から照射することも可能である。図 8 B は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 において、船舶 20 がレーザ光を水中から照射する場合の一構成例を示す図である。図 8 C は、第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 において、船舶 20 がレーザ光を空中から照射する場合の一構成例を示す図である。なお、前述

のとおり、レーザ光の減衰は水中を伝搬する場合よりも空中を伝搬する場合の方が少ないので、空中から照射した方がパルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 をより遠方に集光することが可能である。

【 0 0 3 7 】

本実施形態のさらに別の構成例について説明する。本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、航空機に搭載することが可能である。この場合、パルスレーザ光 5 1 は、空中から照射することになる。図 8 D は、第 1 実施形態による水中物体破壊システムにおいて、航空機 2 4 がレーザ光を空中から照射する場合の一構成例を示す図である。水中物体破壊システム 1 を航空機 2 4 に搭載することによって、例えば、目標物体 4 0 としての魚雷などから防御したい対象である船舶 2 0 の遠方で、目標物体 4 0 の予測進路 4 1 上にパルスレーザ光 5 1 の集光点を設定することで、防御対象をより確実に防御することが可能となる。

10

【 0 0 3 8 】

以上に説明したように、本実施形態の水中物体破壊システム 1 および水中物体破壊方法によれば、魚雷 4 0 などの水中物体による脅威を破壊して回避することが可能である。なお、パルスレーザは瞬間的な出力が大きいので、照射してから気泡 7 0 またはプラズマ 6 0 が発生するまでのタイムラグがナノ秒オーダーに抑えられる。また、パルスレーザは出力の時間平均が小さいので、脅威となる水中物体を破壊するために必要な電力を小さく抑えることが出来る。

【 0 0 3 9 】

20

(第 2 実施形態)

図 9 は、第 2 実施形態による水中物体破壊システム 1 の一構成例を示すブロック回路図である。図 9 に示した本実施形態による水中物体破壊システム 1 は、図 4 に示した第 1 実施形態による水中物体破壊システム 1 と比較して、以下の相違点を有する。すなわち、本実施形態では、第 1 実施形態で用いたパルスレーザ光 5 1 に変わって、連続波レーザ光 5 2 を用いる。

【 0 0 4 0 】

具体的には、第 1 実施形態のパルスレーザ発振器 1 4 A および照射光学系 1 8 A を、図 9 に示した連続波レーザ発振器 1 4 B および照射光学系 1 8 B に、それぞれ置き換える。本実施形態による水中物体破壊システム 1 のその他の構成は、第 1 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

30

【 0 0 4 1 】

本実施形態で用いる連続波レーザ光 5 2 は、第 1 実施形態のパルスレーザ光 5 1 と同様に、水中に集光することによって、気泡 7 0 を発生させることが出来る。さらに、連続波レーザ光 5 2 は間断なく照射することが可能であり、したがって、気泡 7 0 を持続的に発生させることが出来る。ここで、連続波レーザ光 5 2 は、持続的に発生させながら集光位置を移動することで、単独の長い気泡 7 0 を発生させることが出来る。

【 0 0 4 2 】

本実施形態による各構成要素の、連続波レーザ発振器 1 4 B および照射光学系 1 8 B に係る動作について説明する。図 1 0 は、第 2 実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。図 1 0 のフローチャートは、第 0 ステップ S 2 0 0 ~ 第 6 ステップ S 2 0 6 の、合計 7 のステップを含んでいる。図 1 0 のフローチャートは、第 0 ステップ S 2 0 0 から開始する。第 0 ステップ S 2 0 0 の次には、第 1 ステップ S 2 0 1 が実行される。

40

【 0 0 4 3 】

第 1 ステップ S 2 0 1 において、水中物体破壊システム 1 は、目標物体 4 0 を探知する。本実施形態による第 1 ステップ S 2 0 1 は、第 1 実施形態による第 1 ステップ S 1 0 1 と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。第 1 ステップ S 2 0 1 の次には、第 2 ステップ S 2 0 2 が実行される。

【 0 0 4 4 】

50

第2ステップS202において、水中物体破壊システム1は、目標物体40の至近に集光するようにレーザ光を照射する。より具体的には、外部システム12が、目標物体40を検知した結果を示す検知信号121を生成する。外部システム12は、生成した検知信号121を制御装置13に向けて送信する。制御装置13は、送信された検知信号121を受信する。

【0045】

制御装置13は、受信した検知信号121に応じて、連続波レーザ光52の発振を制御するための発振制御信号131Bを生成する。制御装置13は、生成した発振制御信号131Bを、連続波レーザ発振器14Bに向けて送信する。連続波レーザ発振器14Bは、送信された発振制御信号131Bを受信する。

10

【0046】

連続波レーザ発振器14Bは、受信した発振制御信号131Bに応じて、連続波レーザ光52を発振する。連続波レーザ発振器14Bは、発振した連続波レーザ光52を照射光学系18Bに向けて出射する。照射光学系18Bは、出射された連続波レーザ光52を受光する。

【0047】

制御装置13は、受信した検知信号121に応じて、連続波レーザ光52を照射する方向を制御し、かつ、照射された連続波レーザ光52が集光する位置を制御するための、照射方向制御信号134Bを生成する。制御装置13は、生成した照射方向制御信号134Bを、照射光学系18Bに向けて送信する。照射光学系18Bは、送信された照射方向制御信号134Bを受信する。

20

【0048】

照射光学系18Bは、受信した照射方向制御信号134Bに応じて、連続波レーザ光52を照射する方向を調整し、かつ、照射した連続波レーザ光52が集光する焦点距離を調整する。照射光学系18Bは、受光した連続波レーザ光52を、調整した方向に向けて、かつ、調整した焦点距離で集光するように、照射する。第2ステップS202の次には、第3ステップS203が実行される。

【0049】

第3ステップS203において、照射された連続波レーザ光52によって水中に気泡70が発生する。より具体的には、照射された連続波レーザ光52は、調整された位置に集光する。集光した連続波レーザ光52によって、周囲の水が沸騰し、気泡70が発生する。ここで、連続波レーザ光52は持続的に照射され続け、気泡70も持続的に発生し続ける。図11Aは、第2実施形態による水中物体破壊システム1が連続波レーザ光52を照射する状態の一例を示す図である。第3ステップS203の次には、第4ステップS204が実行される。

30

【0050】

第4ステップS204において、目標物体40が気泡70に向かって接近する。図11Bは、第2実施形態による水中物体破壊システム1が連続波レーザ光52を照射し続ける最中に目標物体40が接近する状態を示す図である。第4ステップS204の次には、第5ステップS205が実行される。

40

【0051】

第5ステップS205において、気泡70によって発生するバブルジェット71で目標物体40を破壊する。より具体的には、連続波レーザ光52によって水中に気泡70が発生し、この気泡70に目標物体40が接近した結果、バブルジェット71が発生し、発生したバブルジェット71が目標物体40を破壊する。図11Cは、第2実施形態による水中物体破壊システム1が持続的に照射する連続波レーザ光52によって生じる気泡70によって目標物体40が破壊される状態を示す図である。第5ステップS205の次には、第6ステップS206が実行されて、図10のフローチャートは終了する。

【0052】

連続波レーザ光52は、集光位置を変えながら断続的に照射することで、複数の気泡7

50

0が発生することが出来る。この構成例は、図7Aに示した第1実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【0053】

さらに、連続波レーザー光52は、気泡70が一定間隔で並ぶように照射することで、目標物体40を精度よく待ち構えることが出来る。この構成例は、図7Bに示した第1実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【0054】

連続波レーザー発振器14Bおよび照射光学系18Bは、図8A～図8Dに示した第1実施形態の場合と同様に、潜水艦23、船舶20、航空機24などに搭載することが可能である。また、これらの場合には、連続波レーザー光52を、水中または空中から照射することが可能である。

10

【0055】

一般的に、連続波レーザー光52は、パルスレーザー光51と比較して、瞬間的な出力が低い。そのため、照射してから気泡70が発生するまでに数十ミリ秒乃至数百ミリ秒のオーダーのタイムラグがかかる。その一方で、気泡70を持続的に発生させることが可能であるので、魚雷などの目標物体40が移動する方向は精度よく検知できてもその移動速度までは精度よく検知できない場合に、目標物体40の破壊をより高い確率で実現出来る。

【0056】

(第3実施形態)

第3実施形態では、第1実施形態で用いたパルスレーザー光51と、第2実施形態で用いた連続波レーザー光52とを併用することで、第1実施形態および第2実施形態の長所を両立する。ここで、パルスレーザー光51および連続波レーザー光52は、切り替え動作によって片方ずつ照射しても良いし、両方を同時に照射しても良い。

20

【0057】

(第3実施形態の第1構成例)

パルスレーザー光51および連続波レーザー光52を片方ずつ照射する場合、本実施形態による水中物体破壊システム1の第1構成例として、パルスレーザー光51および連続波レーザー光52は、異なる発振器からそれぞれ発振し、かつ、異なる照射光学系からそれぞれ照射されても良い。図12Aは、第3実施形態による水中物体破壊システム1の第1構成例を示すブロック回路図である。図12Aの水中物体破壊システム1は、制御装置13と、パルスレーザー発振器14Aと、連続波レーザー発振器14Bと、パルスレーザー用の照射光学系18Aと、連続波レーザー用の照射光学系18Bとを備える。

30

【0058】

図12Aに示した第3実施形態の第1構成例は、図4に示した第1実施形態の場合と比較して、以下の相違点を有する。すなわち、連続波レーザー発振器14Bおよび連続波レーザー用の照射光学系18Bが追加されている。また、図12Aに示した第3実施形態の第1構成例は、図9に示した第2実施形態の場合と比較して、以下の相違点を有する。すなわち、パルスレーザー発振器14Aおよびパルスレーザー用の照射光学系18Aが追加されている。

【0059】

制御装置13、パルスレーザー発振器14Aおよびパルスレーザー用の照射光学系18Aの構成および接続関係については、第1実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。制御装置13、連続波レーザー発振器14Bおよび連続波レーザー用の照射光学系18Bの構成および接続関係については、第2実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。制御装置13は、図示しない外部システム12から受信する検知信号121に応じて、パルスレーザー光51の発振を制御するための発振制御信号131Aと、連続波レーザー光52の発振を制御するための発振制御信号131Bとを、それぞれ適切なタイミングで生成出力することが望ましい。本実施形態の第1構成例による水中物体破壊システム1のその他の動作については、第1実施形態または第2実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

40

50

【 0 0 6 0 】

(第 3 実施形態の第 2 構成例)

パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 を片方ずつ照射する場合、本実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 2 構成例として、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 は、異なる発振器からそれぞれ発振し、かつ、補助的な光学系などによって同軸化されたのち、共通の照射光学系から照射されても良い。図 1 2 B は、第 3 実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 2 構成例を示すブロック回路図である。図 1 2 B の水中物体破壊システム 1 は、制御装置 1 3 と、パルスレーザ発振器 1 4 A と、連続波レーザ発振器 1 4 B と、補助光学系としての反射鏡 1 5 と、切替装置 1 6 と、照射光学系 1 8 C とを備える。図 1 2 B の水中物体破壊システム 1 は、図 4 に示した第 1 実施形態の場合と比較して、以下の相違点を有する。すなわち、連続波レーザ発振器 1 4 B および切替装置 1 6 が追加されている。ここで、切替装置 1 6 は、2つの受光口と、1つの出射口と、反射鏡 1 5 とは別の反射鏡と、この反射鏡の位置または角度を調整するための駆動装置とを備えることが望ましい。

10

【 0 0 6 1 】

制御装置 1 3 およびパルスレーザ発振器 1 4 A の構成および接続関係については、第 1 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。制御装置 1 3 および連続波レーザ発振器 1 4 B の構成および接続関係については、第 2 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【 0 0 6 2 】

20

図 1 2 B に示した各構成要素のその他の接続関係のうち、電気的な接続関係に注目すると、切替装置 1 6 および照射光学系 1 8 C は、それぞれ、制御装置 1 3 に接続されている。また、光学的な接続関係に注目すると、パルスレーザ発振器 1 4 A の後段には切替装置 1 6 が配置されており、切替装置 1 6 の後段には照射光学系 1 8 C が配置されている。さらに、連続波レーザ発振器 1 4 B の後段にも、反射鏡 1 5 を介して、切替装置 1 6 が配置されている。なお、反射鏡 1 5 は、パルスレーザ発振器 1 4 A および切替装置 1 6 の間に配置されていても良い。

【 0 0 6 3 】

第 3 実施形態の第 2 構成例の各構成要素の、反射鏡 1 5 、切替装置 1 6 および照射光学系 1 8 C に係る動作について説明する。

30

【 0 0 6 4 】

制御装置 1 3 が発振制御信号 1 3 1 A を生成してからパルスレーザ発振器 1 4 A がパルスレーザ光 5 1 を発振するまでの一連の動作については、第 1 実施形態の場合と同様である。また、制御装置 1 3 が発振制御信号 1 3 1 B を生成してから連続波レーザ発振器 1 4 B が連続波レーザ光 5 2 を発振するまでの一連動作については、第 2 実施形態の場合と同様である。切替装置 1 6 は、第 1 受光口ではパルスレーザ光 5 1 を受光し、第 2 受光口では連続波レーザ光 5 2 を、反射鏡 1 5 を介して、受光する。ここで、反射鏡 1 5 は、連続波レーザ光 5 2 を、連続波レーザ発振器 1 4 B の出射口から、切替装置 1 6 の第 2 受光口へ導く。

【 0 0 6 5 】

40

制御装置 1 3 は、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 の切替を制御するための切替制御信号 1 3 2 を生成する。制御装置 1 3 は、生成した切替制御信号 1 3 2 を切替装置 1 6 に向けて送信する。切替装置 1 6 は、送信された切替制御信号 1 3 2 を受信する。切替装置 1 6 は、受信した切替制御信号 1 3 2 に応じて、駆動装置によって反射鏡の位置や角度などを調整する。こうすることで、切替装置 1 6 は、制御装置 1 3 の制御下で、第 1 状態と、第 2 状態とを切り替えることが出来る。すなわち、第 1 状態の切替装置 1 6 は、第 1 受光口から受光するパルスレーザ光 5 1 を出射口から選択的に出射する。また、第 2 状態の切替装置 1 6 は、第 2 受光口から受光する連続波レーザ光 5 2 を出射口から選択的に出射する。照射光学系 1 8 C は、選択的に出射されたパルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 を受光する。

50

【 0 0 6 6 】

制御装置 1 3 は、照射光学系 1 8 C がレーザ光を照射する方向を制御し、かつ、レーザ光が集光する位置を制御するための、照射方向制御信号 1 3 4 C を生成する。制御装置 1 3 は、生成した照射方向制御信号 1 3 4 C を、照射光学系 1 8 C に向けて送信する。照射光学系 1 8 C は、送信された照射方向制御信号 1 3 4 C を受信する。照射光学系 1 8 C は、受信した照射方向制御信号 1 3 4 C に応じて、照射方向および焦点距離を調整する。照射光学系 1 8 C は、調整した照射方向に向けて、かつ、調整した焦点距離に集光するように、受光したパルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 を照射する。

【 0 0 6 7 】

制御装置 1 3 は、図示しない外部システム 1 2 から受信する検知信号 1 2 1 に応じて、発振制御信号 1 3 1 A と、発振制御信号 1 3 1 B と、切替制御信号 1 3 2 とを、それぞれ適切なタイミングで生成出力することが望ましい。本実施形態の第 2 構成例による水中物体破壊システム 1 のその他の動作については、第 1 実施形態または第 2 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【 0 0 6 8 】

(第 3 実施形態、第 3 構成例)

パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 を片方ずつ照射する場合、本実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 3 構成例として、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 は、同一の発振器から発信され、かつ、同一の照射光学系から照射されても良い。図 1 2 C は、第 3 実施形態による水中物体破壊システムの第 3 構成例を示すブロック回路図である。図 1 2 C の水中物体破壊システム 1 は、制御装置 1 3 と、パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C と、照射光学系 1 8 C とを備える。

【 0 0 6 9 】

パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、制御装置 1 3 の制御下で切り替わる、第 1 状態および第 2 状態を有する。すなわち、パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、第 1 状態ではパルスレーザ光 5 1 を発振し、第 2 状態では連続波レーザ光 5 2 を発振する。

【 0 0 7 0 】

より具体的には、例えば、いわゆる「Q スイッチ」などのパルス化デバイスおよびこれを使用する方法が考えられる。すなわち、第 1 状態のパルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、パルス化デバイスが光学的に接続されており、パルスレーザ光 5 1 を発振する。第 2 状態のパルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、パルス化デバイスが光学的に外されており、連続波レーザ光 5 2 を発振する。

【 0 0 7 1 】

図 1 2 C に示した各構成要素の接続関係について説明する。電気的な接続関係に注目すると、パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C および照射光学系 1 8 C は、それぞれ、制御装置 1 3 に接続されている。また、光学的な接続関係に注目すると、パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C の後段には、照射光学系 1 8 C が配置されている。

【 0 0 7 2 】

図 1 2 C に示した水中物体破壊システム 1 の動作について説明する。制御装置 1 3 は、パルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 の発振およびその切り替えを制御するための発振制御信号 1 3 1 C を生成する。制御装置 1 3 は、生成した発振制御信号 1 3 1 C を、パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C に向けて送信する。パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、送信された発振制御信号 1 3 1 C を受信する。パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、受信した発振制御信号 1 3 1 C に応じて、パルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 を選択的に発振する。パルス / 連続波切替可能レーザ発振器 1 4 C は、発振したパルスレーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 を、照射光学系 1 8 C に向けて出射する。

【 0 0 7 3 】

制御装置 1 3 が照射方向制御信号 1 3 4 C を生成してから照射光学系 1 8 C がパルスレ

10

20

30

40

50

ーザ光 5 1 または連続波レーザ光 5 2 を照射するまでの動作については、図 1 2 B に示した第 3 実施形態の第 2 構成例の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 4 】

(第 3 実施形態、第 4 構成例)

パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 を同時に照射する場合、本実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 4 構成例として、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 は、異なる発振器からそれぞれ発振し、かつ、異なる照射光学系からそれぞれ照射されても良い。第 3 実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 4 構成例を示すブロック回路図は、第 3 実施形態の第 1 構成例を示す図 1 2 A と同一であるので、ここでは省略する。ただし、第 1 構成例の場合とは異なり、本構成例による水中物体破壊システム 1 は、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 を、同時に照射することが可能である。このため、本構成例では、制御装置 1 3 が、発振制御信号 1 3 1 A および発振制御信号 1 3 1 B を、パルスレーザ発振器 1 4 A および連続波レーザ発振器 1 4 B に、それぞれ、同時に送信しても良い。

10

【 0 0 7 5 】

本構成例による水中物体破壊システム 1 のその他の構成および動作は、第 1 実施形態または第 2 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

【 0 0 7 6 】

(第 3 実施形態、第 5 構成例)

パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 を同時に照射する場合、本実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 5 構成例として、パルスレーザ光 5 1 および連続波レーザ光 5 2 は、異なる発振器からそれぞれ発振し、かつ、同一の照射光学系から照射されても良い。図 1 2 D は、第 3 実施形態による水中物体破壊システム 1 の第 5 構成例を示すブロック回路図である。図 1 2 D の水中物体破壊システム 1 は、図 1 2 B に示した本実施形態の第 2 構成例と比較して、以下の相違点を有する。すなわち、切替装置 1 6 が、同軸化装置 1 7 に置き換えられている。ここで、同軸化装置 1 7 は、2 つの受光口と、1 つの出射口とを備えていることが望ましい。同軸化装置 1 7 は、2 つの受光口でそれぞれ受光する 2 つのレーザ光を同軸化して出射口から出射する。

20

【 0 0 7 7 】

制御装置 1 3 およびパルスレーザ発振器 1 4 A の構成および接続関係については、第 1 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。制御装置 1 3 および連続波レーザ発振器 1 4 B の構成および接続関係については、第 2 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

30

【 0 0 7 8 】

同軸化装置 1 7 に係る各構成要素の接続関係について説明する。電気的な接続関係に注目すると、同軸化装置 1 7 は、制御装置 1 3 に接続されている。また、光学的な接続関係に注目すると、パルスレーザ発振器 1 4 A の後段には、同軸化装置 1 7 の第 1 受光口が配置されている。連続波レーザ発振器 1 4 B の後段には、反射鏡 1 5 を介して、同軸化装置 1 7 の第 2 受光口が配置されている。同軸化装置 1 7 の後段には、照射光学系 1 8 C が配置されている。

40

【 0 0 7 9 】

第 3 実施形態の第 5 構成例の各構成要素の、同軸化装置 1 7 に係る動作について説明する。

【 0 0 8 0 】

制御装置 1 3 が発振制御信号 1 3 1 A を生成してからパルスレーザ発振器 1 4 A がパルスレーザ光 5 1 を発振するまでの一連の動作については、第 1 実施形態の場合と同様である。パルスレーザ発振器 1 4 A は、発振したパルスレーザ光 5 1 を、同軸化装置 1 7 の第 1 受光口に向けて出射する。同軸化装置 1 7 は、出射されたパルスレーザ光 5 1 を、第 1 受光口で受光する。

【 0 0 8 1 】

50

制御装置 13 が発振制御信号 131B を生成してから連続波レーザ発振器 14B が連続波レーザ光 52 を発振するまでの一連動作については、第 2 実施形態の場合と同様である。連続波レーザ発振器 14B は、発振した連続波レーザ光 52 を、同軸化装置 17 の第 2 受光口に向けて出射する。

【0082】

制御装置 13 は、パルスレーザ光 51 および連続波レーザ光 52 の同軸化を制御するための同軸化制御信号 133 を生成する。制御装置 13 は、生成した同軸化制御信号 133 を、同軸化装置 17 に向けて送信する。同軸化装置 17 は、送信された同軸化制御信号 133 を受信する。同軸化装置 17 は、受信した同軸化制御信号 133 に応じて、パルスレーザ光 51 を受光する第 1 受光口の光軸方向と、連続波レーザ光 52 を受光する第 2 受光口の光軸方向と、同軸化したパルスレーザ光 51 および連続波レーザ光 52 を出射する出射口の光軸方向とを、それぞれ調整する。同軸化装置 17 は、出射されたパルスレーザ光 51 を、光軸方向を調整した第 1 受光口で受光する。同軸化装置 17 は、出射された連続波レーザ光 52 を、光軸方向を調整した第 2 受光口で受光する。同軸化装置 17 は、受光したパルスレーザ光 51 および連続波レーザ光 52 を同軸化し、光軸方向を調整した出射口から照射する。

10

【0083】

制御装置 13 は、図示しない外部システム 12 から受信する検知信号 121 に応じて、発振制御信号 131A と、発振制御信号 131B と、同軸化制御信号 133 とを生成出力する。第 3 実施形態の第 5 構成例による水中物体破壊システム 1 のその他の動作については、第 1 実施形態または第 2 実施形態の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。

20

【0084】

以上に説明したように、第 3 実施形態による水中物体破壊システム 1 および水中物体破壊方法は、パルスレーザ光 51 および連続波レーザ光 52 を、切り替えて、または、同時に照射することによって、第 1 実施形態および第 2 実施形態の長所を両立することを可能とする。

【0085】

(第 4 実施形態)

第 4 実施形態では、第 1 ~ 第 3 実施形態にフィードバック制御を追加する。すなわち、レーザ光の照射によって気泡 70 またはプラズマ 60 が発生したことを示す音や、反対に不発に終わったことを示す無音状態を、ソナーなどの観測装置によって観測し、その結果をフィードバックして照射光学系の調整を行う。

30

【0086】

図 13 は、第 4 実施形態による水中物体破壊システム 1 の一構成例を示すブロック回路図である。図 13 に示した水中物体破壊システム 1 は、一例として、図 12C に示した第 3 実施形態の第 3 構成例に、ソナー 11 を追加したものである。ソナー 11 は、制御装置 13 に電氣的に接続されている。なお、このソナー 11 は、図示しない外部システム 12 の一部であっても良い。

【0087】

本実施形態による水中物体破壊システム 1 の動作、すなわち本実施形態による水中物体破壊方法について説明する。図 14 は、第 4 実施形態による水中物体破壊方法の一例を示すフローチャートである。図 14 のフローチャートは、第 0 ステップ S300 ~ 第 7 ステップ S307 の、合計 8 のステップを含んでいる。図 14 のフローチャートは、第 0 ステップ S300 から開始する。第 0 ステップ S300 の次には、第 1 ステップ S301 が実行される。

40

【0088】

第 1 ステップ S301 において、水中物体破壊システム 1 は、目標物体 40 を探知する。本実施形態による第 1 ステップ S301 は、第 1 実施形態による第 1 ステップ S101 と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。第 1 ステップ S301 の次には、第

50

2ステップS302が実行される。

【0089】

第2ステップS302において、水中物体破壊システム1は、目標物体40の至近に集光するようにパルスレーザー光51または連続波レーザー光52を照射する。この動作は、第3実施形態の第3構成例の場合と同様であるので、さらなる詳細な説明を省略する。図15Aは、第4実施形態による水中物体破壊システム1がレーザー光を照射する状態の一例を示す図である。第2ステップS302の次には、第3ステップS303が実行される。

【0090】

第3ステップS303において、水中物体破壊システム1は、結果を観測する。すなわち、レーザー光の照射によって気泡70やプラズマ60が発生したかどうか、発生したなら目標物体40を破壊したかどうかについて、周囲の音をソナー11で観測して判定する。ここで、ソナー11は、観測した音111を電気的に変換して観測信号112を生成し、生成した観測信号112を制御装置13に向けて送信する。制御装置13は、送信された観測信号112を受信し、上記の判定を行う。第3ステップS303の次には、第4ステップS304が実行される。

【0091】

第4ステップS304において、水中物体破壊システム1は、気泡70またはプラズマ60が発生したかどうかを判定する。図15Bは、第4実施形態による水中物体破壊システム1が照射したレーザー光が想定より近距離に集光されたことを検知した状態の一例を示す図である。例えば、照射光学系18Cから100メートル先で集光するように照射条件および集光条件を調整した上でパルスレーザー光51を照射したのに、その結果として発生した衝撃波をソナー11で観測したところ、実際には照射光学系18Cから90メートル先で集光されたと推定される場合などが考えられる。このように、気泡70やプラズマ60が発生した場合（YES）は、第4ステップS304の次に第5ステップS305が実行される。反対に、レーザー光が集光する前に減衰して不発に終わった場合には、すなわち気泡70やプラズマ60が発生しなかった場合には、ソナー11に到達するべき音も発生しない。図15Cは、第4実施形態による水中物体破壊システム1が照射したレーザー光が集光されずに衝撃波が発生しなかったことを検知した状態の一例を示す図である。例えば、照射光学系18Cから100メートル先で集光するように照射条件を調整した上でパルスレーザー光51を照射したのに、その結果として発生すべき衝撃波が一定時間以内にソナー11で観測出来なかった場合などが考えられる。このような不発の原因としては、レーザー光の伝搬中の減衰が想定よりも大きく集光点まで十分なエネルギーが到達しなかった可能性や、潮流の影響によってレーザー光が十分に集光しなかった可能性などが考えられる。気泡70やプラズマ60が発生しなかった場合（NO）には、第4ステップS304の次に第6ステップS306が実行される。

【0092】

第5ステップS305において、水中物体破壊システム1は、目標物体40を破壊したかどうかを判定する。目標物体40が破壊された場合は、そのことを示す音が発生するので、ソナー11はこの音を検知することが出来る。この場合（YES）は、第5ステップS305の次に第7ステップS307が実行されて、図14のフローチャートは終了する。反対に、気泡70またはプラズマ60が発生していながら、目標物体40が破壊された音を検知できなかった場合は、図15Bに示したように、レーザー光が想定とは異なる位置に集光してしまったなどの原因が考えられる。この場合（NO）は、第5ステップS305の次に第6ステップS306が実行される。

【0093】

第6ステップS306において、水中物体破壊システム1は、観測結果をフィードバックしてレーザー光の照射条件を調整する。ここで、調整される照射条件は、例えば、パルスレーザー光51または連続波レーザー光52の選択、レーザー光の出力強度、レーザー光の照射方向、レーザー光の集光位置などが含まれていても良い。第6ステップS306の次には、第1ステップS301が実行される。図15Dは、第4実施形態による水中物体破壊システ

ム 1 がフィードバック制御によって再度レーザ光を照射する状態の一例を示す図である。

【 0 0 9 4 】

以上に説明したように、本実施形態によれば、水中物体破壊システム 1 を搭載する船舶 2 0 の動きや、船舶 2 0 または目標物体 4 0 の周辺の潮流などの影響を補正して、レーザ光の集光をより精度よく行うことが可能となる。

【 0 0 9 5 】

(第 5 実施形態)

魚雷などの水中物体である目標物体 4 0 を破壊する目的が、船舶 2 0 をこの目標物体 4 0 の脅威から防御することである場合に、船舶 2 0 から出射したレーザ光からバブルジェット 7 1 や衝撃波 6 1 が発生すると、これらは別の目標物体 4 0 が誘導目標に設定する音源になる可能性がある。そこで、第 5 実施形態では、外部システム 1 2 および制御装置 1 3 を搭載する船舶 2 0 からは分離されているデコイなどからレーザ光を照射する。図 1 6 は、第 5 実施形態による水中物体破壊システム 1 の一構成例を示す図である。図 1 6 に示した構成例では、船舶 2 0 から曳航式デコイ 2 1 および自走式デコイ 2 2 が分離されている。

10

【 0 0 9 6 】

図 1 6 に例示したように、曳航式デコイ 2 1 は、照射光学系を搭載し、パルスレーザ光 5 1 を照射し、その結果として発生する衝撃波 6 1 によって目標物体 4 0 を破壊することが出来る。こうすることで、曳航式デコイ 2 1 から発生する衝撃波 6 1 を検知した別の目標物体 4 0 が曳航式デコイ 2 1 に向かって移動したとしても、曳航式デコイ 2 1 から分離している船舶 2 0 は、この別の目標物体 4 0 の脅威を回避することが出来る。なお、曳航式デコイ 2 1 は、パルスレーザ光によって目標物体 4 0 を破壊しても良いし、連続波レーザ光 5 2 を照射しても良い。

20

【 0 0 9 7 】

なお、レーザ発振器は、曳航式デコイ 2 1 に搭載しても良いが、曳航式デコイ 2 1 と、船舶 2 0 とは、曳航用のケーブルなどによって物理的に接続されているので、レーザ発振器を船舶 2 0 に搭載することも可能である。すなわち、後者の場合、レーザ発振器と、照射光学系との間を、光ファイバなどの光学系を用いて光学的に接続し、船舶 2 0 のレーザ発振器から出射したレーザ光を、曳航式デコイ 2 1 の照射光学系まで導光して出射することが可能である。

30

【 0 0 9 8 】

図 1 6 に例示したように、自走式デコイ 2 2 も、曳航式デコイ 2 1 と同様に、パルスレーザ光 5 1 を照射し、その結果として発生する衝撃波 6 1 によって目標物体 4 0 を破壊することが出来る。ただし、自走式デコイ 2 2 は、船舶 2 0 との間に物理的な接続が無いので、自走式デコイ 2 2 はレーザ発振器を搭載していることが望ましい。なお、自走式デコイ 2 2 も、パルスレーザ光によって目標物体 4 0 を破壊しても良いし、連続波レーザ光 5 2 を照射しても良い。

【 0 0 9 9 】

本実施形態によれば、船舶 2 0 から分離された曳航式デコイ 2 1 や自走式デコイ 2 2 からレーザ光の照射を行うことによって、船舶 2 0 の遠方でバブルジェット 7 1 や衝撃波 6 1 を発生させることが可能となる。したがって、魚雷などの目標物体 4 0 の破壊による、防御対象である船舶 2 0 への影響を、軽減することが出来る。

40

【 0 1 0 0 】

以上、発明者によってなされた発明を実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることはいうまでもない。また、前記実施の形態に説明したそれぞれの特徴は、技術的に矛盾しない範囲で自由に組み合わせることが可能である。

【 符号の説明 】

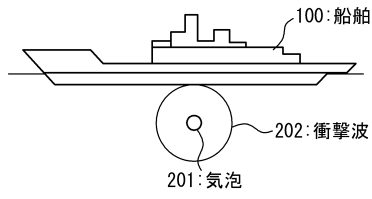
【 0 1 0 1 】

1 水中物体破壊システム

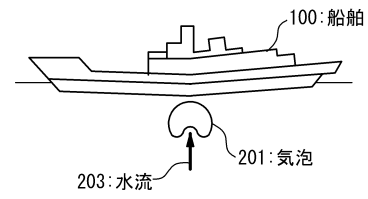
50

1 1	ソナー	
1 1 1	音	
1 1 2	観測信号	
1 2	外部システム	
1 3	制御装置	
1 3 1 A	発振制御信号	
1 3 1 B	発振制御信号	
1 3 1 C	発振制御信号	
1 3 2	切替制御信号	
1 3 3	同軸化制御信号	10
1 3 4 A	照射方向制御信号	
1 3 4 B	照射方向制御信号	
1 3 4 C	照射方向制御信号	
1 4 A	パルスレーザ発振器	
1 4 B	連続波レーザ発振器	
1 4 C	パルス／連続波切替可能レーザ発振器	
1 5	反射鏡	
1 6	切替装置	
1 7	同軸化装置	
1 8 A	照射光学系	20
1 8 B	照射光学系	
1 8 C	照射光学系	
2 0	船舶	
2 1	曳航式デコイ	
2 2	自走式デコイ	
2 3	潜水艦	
2 4	航空機	
3 0	潜水艦	
3 1	発射音	
4 0	魚雷	30
4 1	予想針路	
5 1	パルスレーザ光	
5 2	連続波レーザ光	
6 0	プラズマ	
6 1	衝撃波	
7 0	気泡	
7 1	バブルジェット	
8 0	航空機	
1 0 0	船舶	
2 0 1	気泡	40
2 0 2	衝撃波	
2 0 3	水流	
2 0 4	バブルジェット	
3 0 0	高出力レーザ照射装置	
3 0 1	高出力レーザ発振器	
3 0 2	照射光学系	
3 0 3	高出力レーザ光	
4 0 0	目標	
4 0 1	被照射部分	50

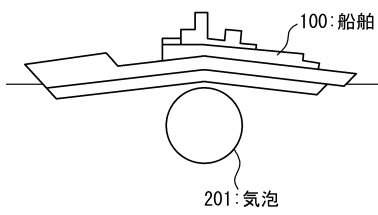
【図 1 A】



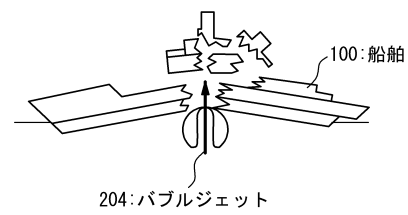
【図 1 C】



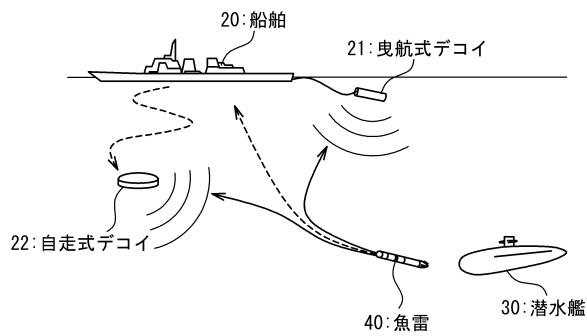
【図 1 B】



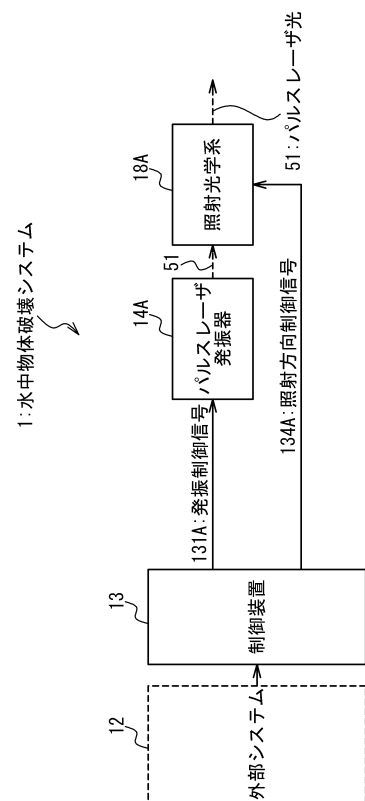
【図 1 D】



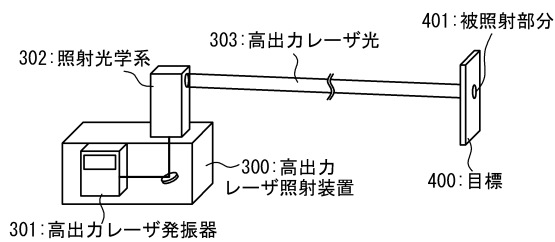
【図 2】



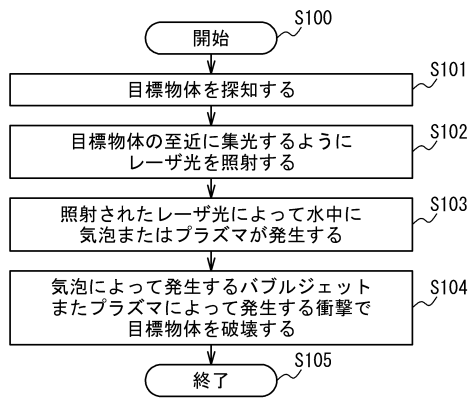
【図 4】



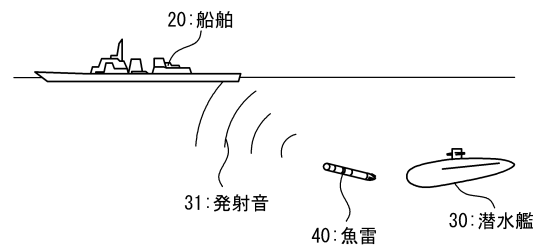
【図 3】



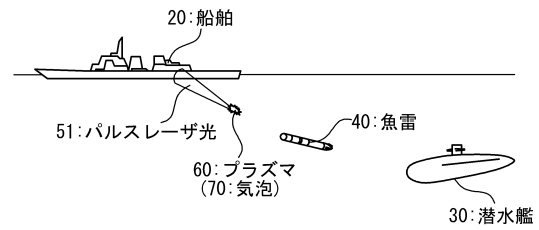
【図 5】



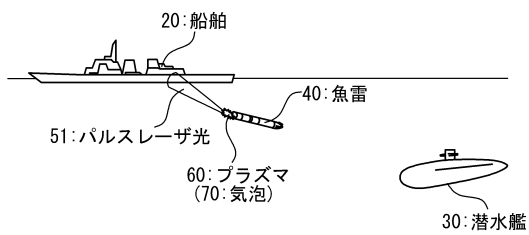
【図 6 A】



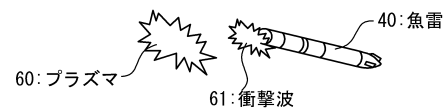
【図 6 B】



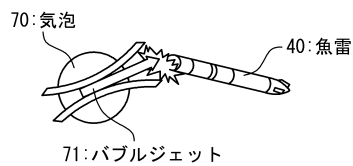
【図 6 C】



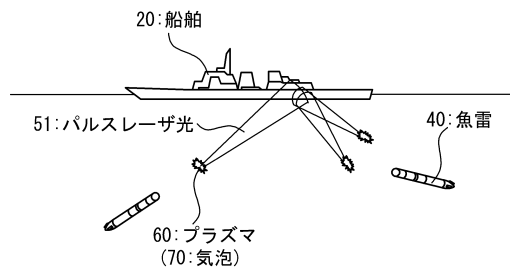
【図 6 E】



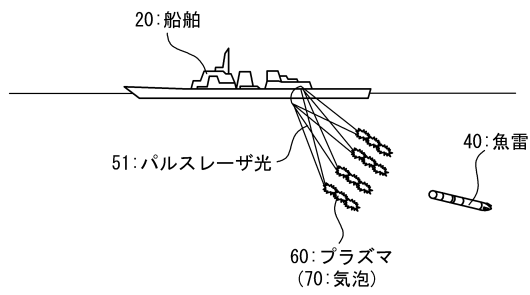
【図 6 D】



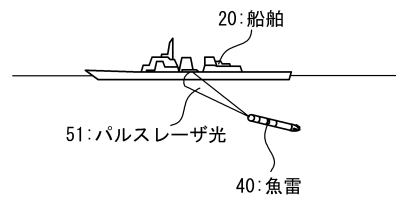
【図 7 A】



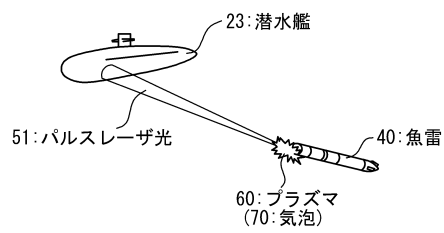
【図 7 B】



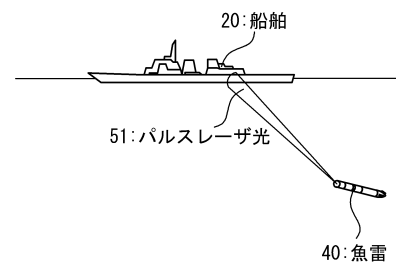
【図 8 B】



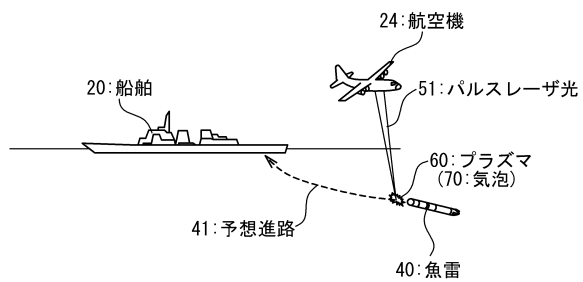
【図 8 A】



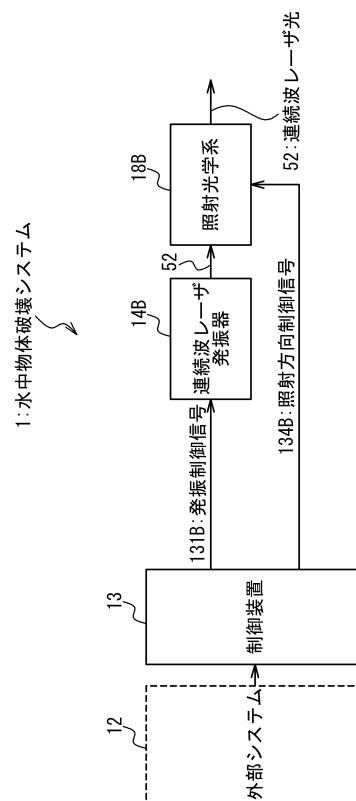
【図 8 C】



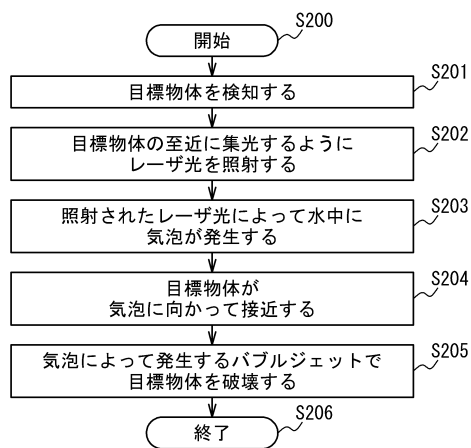
【図 8 D】



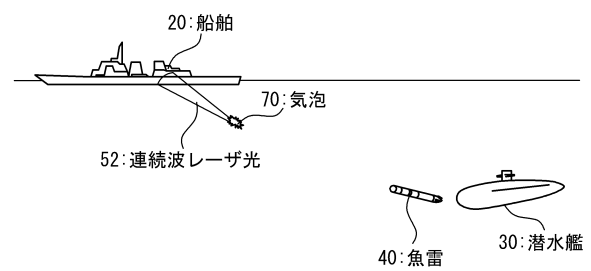
【図 9】



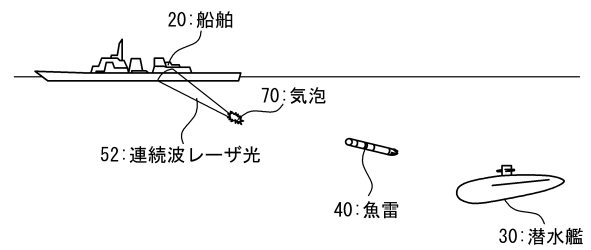
【図 10】



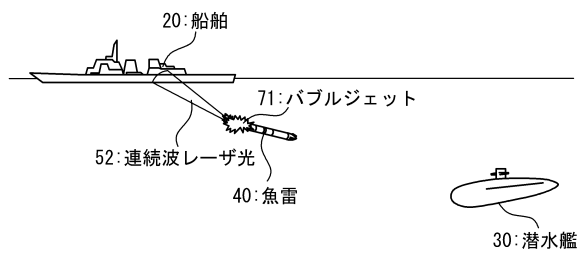
【図 11 A】



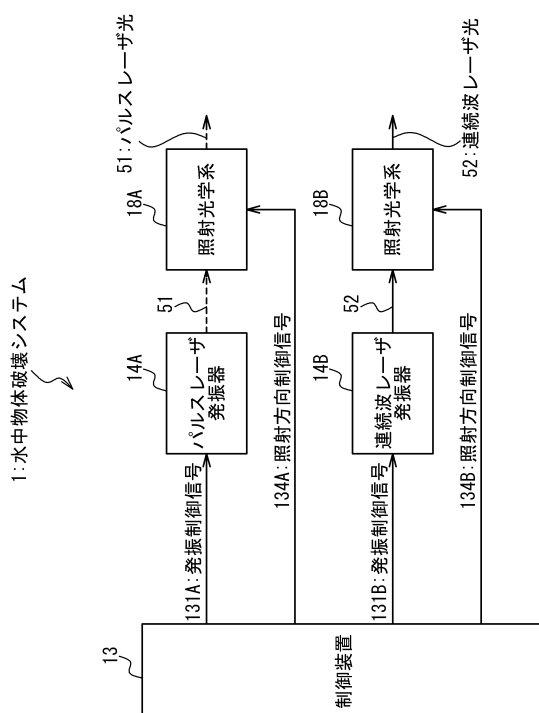
【図 11 B】



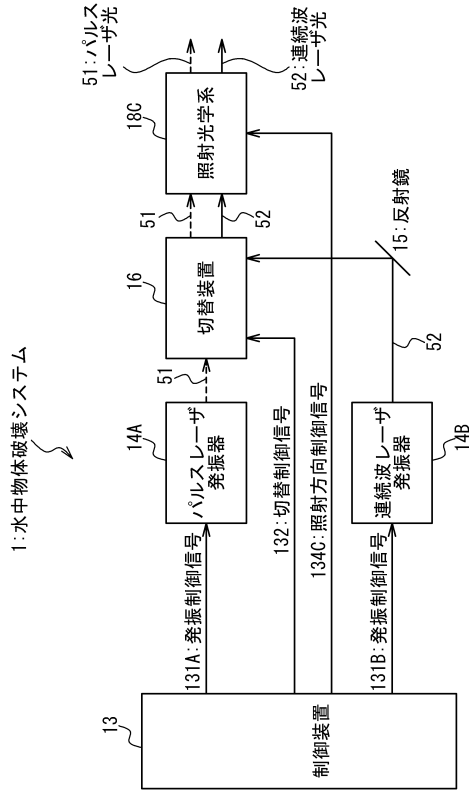
【図 11 C】



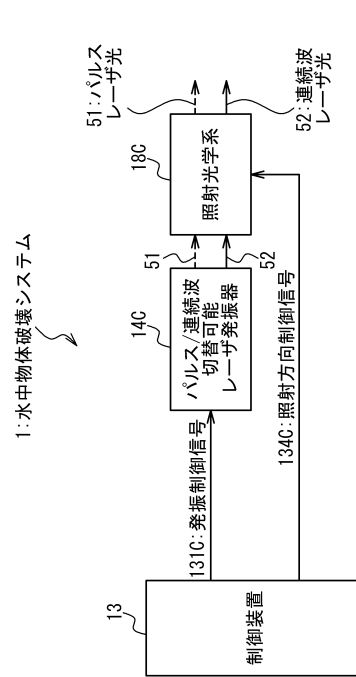
【図 12 A】



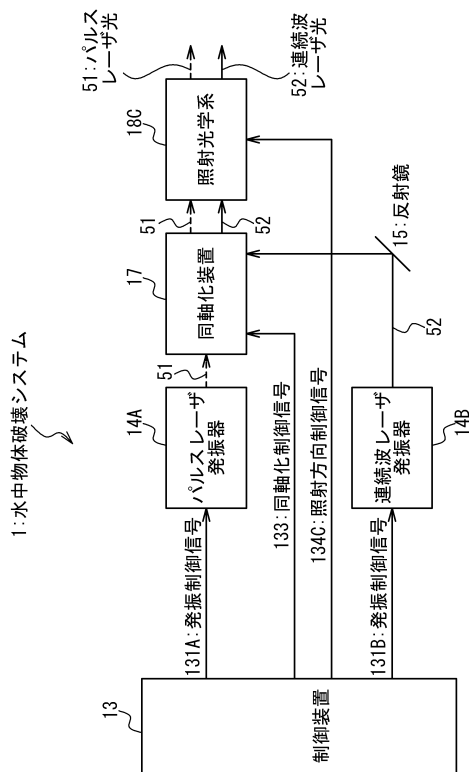
【図 1 2 B】



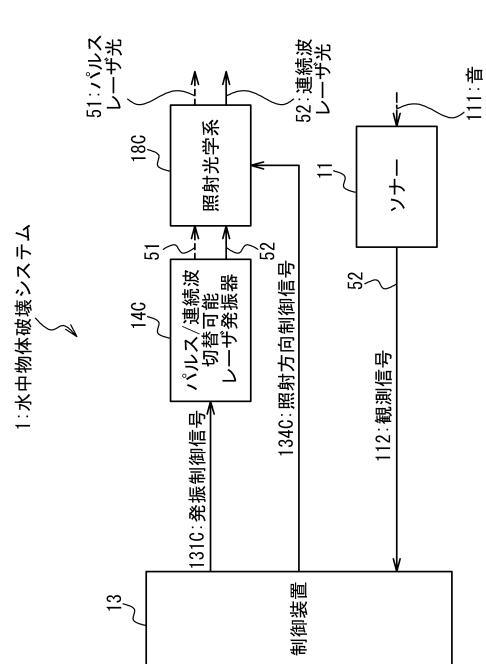
【図 1 2 C】



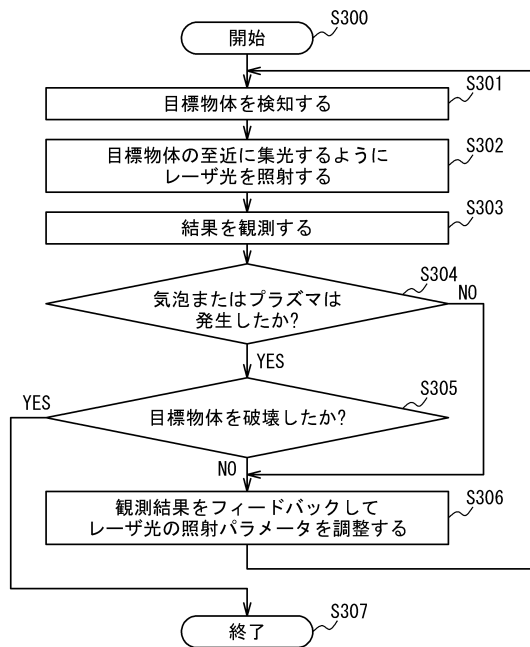
【図 1 2 D】



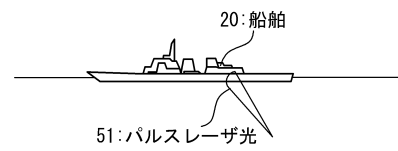
【図 1 3】



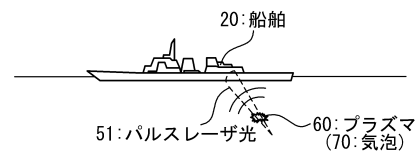
【図 1 4】



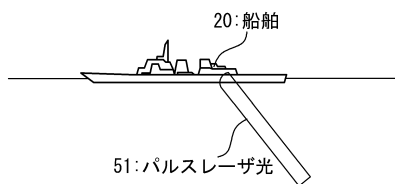
【図 1 5 A】



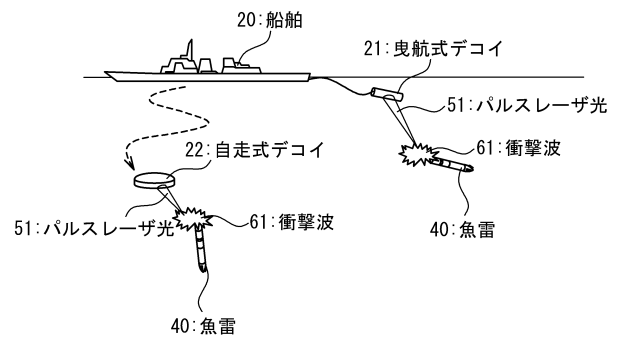
【図 1 5 B】



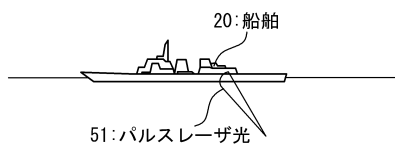
【図 1 5 C】



【図 1 6】



【図 1 5 D】



フロントページの続き

- (72)発明者 秦 幸人
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 荒木 祐一
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 濱本 浩一
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 森岡 朋也
東京都港区港南二丁目１６番５号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 落合 敦司
東京都港区赤坂八丁目５番２６号 赤坂ＤＳビル 株式会社メイテック内

審査官 畔津 圭介

- (56)参考文献 米国特許出願公開第２００３／０２３３９３１（ＵＳ，Ａ１）
米国特許第０６９１０６５８（ＵＳ，Ｂ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)

F 4 1 H	1 3 / 0 0
F 4 1 H	3 / 0 0
H 0 1 S	3 / 0 0
H 0 1 S	3 / 1 0