(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6940862号
(P6940862)

(45)発行日　令和3年9月29日(2021.9.29)　(24)登録日　令和3年9月7日(2021.9.7)

(51)Int.Cl.		F I		
F04D 19/04	(2006.01)	F04D	19/04	Z
F04B 37/16	(2006.01)	F04D	19/04	G
B22F 3/105	(2006.01)	F04B	37/16	D
		F04D	19/04	D
		F04B	37/16	E

請求項の数 9　(全 31 頁)　最終頁に続く

(21)出願番号　特願2017-50326(P2017-50326)
(22)出願日　平成29年3月15日(2017.3.15)
(65)公開番号　特開2018-155110(P2018-155110A)
(43)公開日　平成30年10月4日(2018.10.4)
審査請求日　令和2年2月7日(2020.2.7)

(73)特許権者　000149170
株式会社大阪真空機器製作所
大阪府大阪市中央区今橋三丁目３番１３号
(74)代理人　110001195
特許業務法人深見特許事務所
(72)発明者　井口　昌司
大阪府大阪市中央区北浜３丁目５番２９号
株式会社大阪真空機器製作所内
(72)発明者　大林　哲郎
大阪府大阪市中央区北浜３丁目５番２９号
株式会社大阪真空機器製作所内

審査官　上野　力

最終頁に続く

(54)【発明の名称】排気システムおよびこれを備えた電子ビーム積層造形装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
第１吸気口および第１排気口を有するターボ分子ポンプと、
第２吸気口および第２排気口を有するねじ溝真空ポンプと、
第３吸気口および第３排気口を有する補助真空ポンプと、
第１ポート、第２ポートおよび第３ポートを有する三方弁とを備え、
前記第１排気口が、前記第２吸気口に接続され、
前記第１吸気口から前記第１排気口および前記第２吸気口を経由して前記第２排気口に至る部分の排気路のうちの途中位置に中間排気口が設けられ、
前記第１ポートが、前記第２排気口に接続され、
前記第２ポートが、前記中間排気口に接続され、
前記第３ポートが、前記第３吸気口に接続され、
前記三方弁が、前記第１ポートと前記第３ポートとを接続する第１排気状態と、前記第２ポートと前記第３ポートとを接続する第２排気状態とに選択的に切り替え可能であり、
前記第１排気状態において、前記第１吸気口から吸気されたガスが、前記第１排気口、前記第２吸気口、前記第２排気口および前記第３吸気口をこの順で経由して、前記第３排気口から排気され、
前記第２排気状態において、前記第１吸気口から吸気されたガスが、前記第２排気口を経ることなく、前記中間排気口および前記第３吸気口をこの順で経由して、前記第３排気口から排気され、

前記第２排気状態における前記第１排気口での分子量が４以下である軽ガスに対する補助排気速度が、前記第１排気状態における前記第１排気口での分子量が４以下である軽ガスに対する補助排気速度よりも小さい、排気システム。

【請求項２】

前記第１吸気口と前記中間排気口との間において交互に設置された前記ターボ分子ポンプの静翼段および動翼段の合計段数が、１０段以上１２段以下である、請求項１に記載の排気システム。

【請求項３】

前記第２吸気口と前記第２排気口との間における前記ねじ溝真空ポンプのねじ溝の深さの勾配が、０より大きく０．０４以下である、請求項１または２に記載の排気システム。

【請求項４】

前記中間排気口が、前記第１排気口と前記第２吸気口とを接続する部分の排気路に設けられている、請求項１から３のいずれかに記載の排気システム。

【請求項５】

前記第２排気状態における前記第３吸気口での前記補助真空ポンプの排気速度が、前記第１排気状態における前記第２吸気口での前記ねじ溝真空ポンプの排気速度よりも小さい、請求項４に記載の排気システム。

【請求項６】

前記中間排気口と前記第２ポートとを接続する部分の排気路にオリフィスが設けられている、請求項１から５のいずれかに記載の排気システム。

【請求項７】

前記第２排気口と前記第１ポートとを接続する部分の排気路にブースタ真空ポンプが設置されている、請求項１から５のいずれかに記載の排気システム。

【請求項８】

前記ターボ分子ポンプと前記ねじ溝真空ポンプとが、各々のロータが一体化された複合分子ポンプにて構成され、

前記第１排気口と前記第２吸気口とが、前記複合分子ポンプの内部において接続され、

前記複合分子ポンプが、前記第１吸気口としての吸気ポートと、前記第２排気口としての第１排気ポートと、前記中間排気口としての第２排気ポートとを有している、請求項１から７のいずれかに記載の排気システム。

【請求項９】

真空容器と、

前記真空容器の内部に設置された電子ビーム発生源と、

前記真空容器の内部に設けられ、前記電子ビーム発生源にて発生した電子ビームが金属粉末に照射されることで金属造形物を得る積層造形部と、

前記真空容器の内部に軽ガスを導入する軽ガス供給源と、

前記真空容器に接続された請求項１から８のいずれかに記載の排気システムとを備えた、電子ビーム積層造形装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、真空状態を作り出すための排気システムに関し、また、当該排気システムを備えてなる電子ビーム積層造形装置に関する。

【背景技術】

【０００２】

真空容器としてのチャンバを備えた装置においては、チャンバ内に真空状態を作り出すために、当該チャンバに各種の真空ポンプを具備した排気システムが接続されることが一般的である。このような排気システムを備えた装置としては、たとえば電子ビーム積層造形装置がある。

【０００３】

電子ビーム積層造形装置は、金属粉末床に高エネルギービームである電子ビームを照射することにより、所望の形状の金属造形物を積層造形するものであり、近年、特に注目を集めている。

【０００４】

電子ビーム積層造形装置においては、ステージ上において金属粉末が敷き詰められることで金属粉末床が形成され、電子ビームが走査されることで当該金属粉末床に電子ビームが部分的に照射され、照射された部分の金属粉末が溶融してその後凝固し、このようにして形成された層が繰り返し積み重ねられていくことにより、立体的な金属造形物が造形される。

【０００５】

ここで、電子ビーム積層造形装置においては、電子ビームの照射に伴って金属粉末床に含まれる金属粉末が帯電し、これがチャンバ内に飛散するいわゆるスモーク現象が発生することが知られている。当該スモーク現象が発生した場合には、飛散した金属粉末によって金属粉末床に対する電子ビームの照射が遮られてしまうことになり、造形速度の低下や造形精度の低下を招いてしまう。

【０００６】

このスモーク現象の発生を抑制する方法として、特表２０１０－５２６６９４号公報（特許文献１）には、チャンバ内の真空状態を維持しつつも補助ガスとしてのヘリウムガスをチャンバ内に導入する方法が提案されている。

【０００７】

より詳細には、上記特許文献１においては、チャンバ内を10^{-3}［Ｐａ］程度以下の高真空状態にまで排気した後に、金属粉末を予備加熱し、さらにその後、チャンバ内にヘリウムガスを導入してチャンバ内の圧力を10^{-1}［Ｐａ］程度に維持しつつ、電子ビームの照射による積層造形を行なうことにより、スモーク現象の発生が抑制できることが記載されている。

【０００８】

当該特許文献１に記載の方法は、ヘリウムガスの衝突断面積が小さいために電子ビームがヘリウムガスによって撹き乱され難いという利点を利用しつつ、ヘリウムガスが有する低電気抵抗あるいは負の電子親和力等の利用を図ったものである。

【０００９】

このように、ある種の装置においては、チャンバ内において、ヘリウムガス（Ｈｅ）等の軽ガス（分子量が４以下のガス）の分圧を相対的に高く保ちつつ、たとえば酸素ガス（O_2）、窒素ガス（N_2）、水蒸気（H_2O）、アルゴンガス（Ａｒ）等に代表される、軽ガスよりも重い非軽ガス（分子量が４より大きいガス）の分圧を相対的に低く保つことが要求される場合がある。

【００１０】

なお、チャンバ内において、軽ガスの分圧を相対的に高く保ちつつ非軽ガスの分圧を相対的に低く保つことが要求される装置としては、上述したような軽ガス（特にヘリウムガス）が有する低電気抵抗あるいは負の電子親和力、軽ガスの衝突断面積が小さいために粒子線が軽ガス分子によって撹き乱され難いといった個々の利点を利用した装置や、軽ガスが高い熱伝導率を有することを利用する装置等、各種の装置があり、上述した電子ビーム積層造形装置以外にも、たとえば分子直径が小さく微小な隙間にも侵入し易いというヘリウムガスの特性を利用したヘリウムリーク検査装置等がこれに該当する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【００１１】

【特許文献１】特表２０１０－５２６６９４号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１２】

通常、上述した電子ビーム積層造形装置のような粒子線を使用する装置に適用される排気システムは、大気圧環境下から中真空状態（10^{-1}［Ｐａ］～10^{2}［Ｐａ］程度）を作り出すための油回転真空ポンプ等の補助真空ポンプと、中真空状態から高真空状態（10^{-5}［Ｐａ］～10^{-1}［Ｐａ］程度）を作り出すための複合分子ポンプ（ターボ分子ポンプの下流側にねじ溝真空ポンプが設けられた複合ポンプ）とが組み合わされた運動量移送式機械的ポンプ系にて構成される。ここで、補助真空ポンプは、排気路上において複合分子ポンプの下流側に設置される。

【００１３】

この種の排気システムを用いて上記特許文献１に記載される方法を実現しようとした場合には、ヘリウムガスを大量に消費してしまうという新たな課題が発生してしまう。

【００１４】

具体的には、高真空状態においては、大気圧環境下あるいは低真空状態においてチャンバ内に存在していた気体分子が外部に排気されることにより、気体分子の数は当然に非常に少なくなっている反面、チャンバの内壁面やチャンバ内に設置された各種部材（金属粉末床に含まれる金属粉末を含む）の表面からのガスの放出（ガス分子の脱離）が無視できなくなり、この状態において排気を停止した場合には、チャンバ内の圧力が徐々に上昇してしまう。その際、放出されるガスは、主として水蒸気等の非軽ガスであるため、チャンバ内における非軽ガスの分圧もこれに伴って急激に上昇する。

【００１５】

そのため、仮に上記排気システムを用いて高真空状態を作り出し、その後、チャンバ内にヘリウムガスを導入した上で各種の開閉弁を閉じることでチャンバを密封する（すなわち、排気を停止する）こととした場合には、衝突断面積が大きい非軽ガスの分圧の上昇に伴って電子ビームが減衰および散乱し、造形速度の低下や造形精度の低下を招いてしまうおそれがある。

【００１６】

この非軽ガスの分圧の上昇を防止するためには、ヘリウムガスを常時あるいは断続的にチャンバ内に導入しつつ、上記排気システムを常時あるいは断続的に動作させることが必要になる。

【００１７】

しかしながら、電子ビーム積層造形装置において、所望の形状の金属造形物を積層造形する場合に必要となる時間は、比較的小さい金属造形物を造形する場合であっても１個当たり数時間から十数時間かかり、大きい金属造形物を造形する場合においては数十時間以上かかるため、この間にわたってヘリウムガスを常時あるいは断続的にチャンバ内に導入した場合には、上述したようにヘリウムガスを大量に消費する結果となってしまう。

【００１８】

なお、仮にヘリウムガスを常時あるいは断続的にチャンバ内に導入しつつも、その導入量を減少させた場合には、ヘリウムガスの消費をある程度抑制することはできるものの、チャンバ内のヘリウムガスの分圧が低下するため、スモーク現象を十分に抑制することはできない。また、ヘリウムガスの導入量を減らすとともに複合分子ポンプの排気速度を小さくすると、上述したように非軽ガスの放出を抑制することができないため、ヘリウムガスの分圧のみならず非軽ガスの分圧も上昇してしまい、結果として電子ビームが減衰および散乱することで造形速度の低下や造形精度の低下を招いてしまう。

【００１９】

一方で、真空状態を作り出す真空ポンプの一種として、極低温面を用いて当該極低温面に気体分子を凝縮させることで排気を行なうクライオポンプが知られている。液体水素温度（２０［Ｋ］）程度の極低温面を有し、かつ吸着剤を内蔵しないクライオポンプは、非軽ガスを排気することができる一方でヘリウムガス等の軽ガスを排気しない真空ポンプであり、これを適用することにより、軽ガスの分圧を下げずに非軽ガスの分圧の上昇を抑制することが可能になる。

【００２０】

しかしながら、クライオポンプは、いわゆる溜め込み式の真空ポンプであるため、一定量の気体分子を凝縮させて溜め込んだ後においては、それ以上の排気が行なえなくなってしまう。そのため、クライオポンプは、極低温面の温度を室温に戻して凝縮していた気体分子を再放出させ、放出されたガスを補助ポンプ（非溜め込み式ポンプ）も用いて排気させることでその再生を行なう再生処理が必要なものであり、継続的に使用できるものではない。

【００２１】

そのため、当該クライオポンプを電子ビーム積層造形装置に適用した場合には、上述した再生処理を行なうために積層造形プロセスを都度停止する必要が生じてしまい、結果として積層造形に必要な時間がさらに長時間化してしまう問題を招いてしまう。

【００２２】

このように、従来公知の排気システムや真空ポンプは、軽ガスの分圧を相対的に高く保ちつつも非軽ガスの分圧を相対的に低く保つような真空状態を長時間にわたって維持することには不向きである課題があった。

【００２３】

一方で、チャンバ内においてこのような真空状態を大気圧環境下から早期に作り出すためには、上述したようにチャンバ内から軽ガスおよび非軽ガスを同時に一旦排気し、その上で軽ガスをチャンバ内に導入することが必要になる。そのため、単に非軽ガスを選択的に主として排気できればよいというものでもない。

【００２４】

したがって、本発明は、上述した問題を解決すべくなされたものであり、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムを提供することを目的とし、また、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００２５】

本発明に基づく排気システムは、第１吸気口および第１排気口を有するターボ分子ポンプと、第２吸気口および第２排気口を有するねじ溝真空ポンプと、第３吸気口および第３排気口を有する補助真空ポンプと、第１ポート、第２ポートおよび第３ポートを有する三方弁とを備えている。上記第１排気口は、上記第２吸気口に接続されており、上記第１吸気口から上記第１排気口および上記第２吸気口を経由して上記第２排気口に至る部分の排気路のうちの途中位置には、中間排気口が設けられている。上記第１ポートは、上記第２排気口に接続されており、上記第２ポートは、上記中間排気口に接続されており、上記第３ポートは、上記第３吸気口に接続されている。上記三方弁は、上記第１ポートと上記第３ポートとを接続する第１排気状態と、上記第２ポートと上記第３ポートとを接続する第２排気状態とに選択的に切り替え可能である。上記本発明に基づく排気システムにおいては、上記第１排気状態において、上記第１吸気口から吸気されたガスが、上記第１排気口、上記第２吸気口、上記第２排気口および上記第３吸気口をこの順で経由して、上記第３排気口から排気されるとともに、上記第２排気状態において、上記第１吸気口から吸気されたガスが、上記第２排気口を経ることなく、上記中間排気口および上記第３吸気口をこの順で経由して、上記第３排気口から排気される。ここで、上記第２排気状態における上記第１排気口での分子量が４以下である軽ガスに対する補助排気速度は、上記第１排気状態における上記第１排気口での分子量が４以下である軽ガスに対する補助排気速度よりも小さい。

【００２６】

このような排気システムとすることにより、第１排気状態において、軽ガスおよび当該軽ガスよりも重い非軽ガスが同時に第１吸気口から吸気されて第２排気口を通じて第３排気口から排気されることになるとともに、第２排気状態において、主として非軽ガスが第１吸気口から吸気されて中間排気口を通じて第３排気口から排気されることになるため、

軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムとすることができる。

【００２７】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記第１吸気口と上記中間排気口との間において交互に設置された上記ターボ分子ポンプの静翼段および動翼段の合計段数が、１０段以上１２段以下であることが好ましい。

【００２８】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記第２吸気口と上記第２排気口との間における上記ねじ溝真空ポンプのねじ溝の深さの勾配が、０より大きく０．０４以下であることが好ましい。

【００２９】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記中間排気口が、上記第１排気口と上記第２吸気口とを接続する部分の排気路に設けられていてもよい。その場合には、上記第２排気状態における上記第３吸気口での上記補助真空ポンプの排気速度が、上記第１排気状態における上記第２吸気口での上記ねじ溝真空ポンプの排気速度よりも小さいことが好ましい。

【００３０】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記中間排気口と上記第２ポートとを接続する部分の排気路にオリフィスが設けられていてもよい。

【００３１】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記第２排気口と上記第１ポートとを接続する部分の排気路にブースタ真空ポンプが設置されていてもよい。

【００３２】

上記本発明に基づく排気システムにあっては、上記ターボ分子ポンプと上記ねじ溝真空ポンプとが、各々のロータが一体化された複合分子ポンプにて構成されていることが好ましく、その場合には、上記第１排気口と上記第２吸気口とが、上記複合分子ポンプの内部において接続されていることが好ましい。また、その場合には、上記複合分子ポンプが、上記第１吸気口としての吸気ポートと、上記第２排気口としての第１排気ポートと、上記中間排気口としての第２排気ポートとを有していることが好ましい。

【００３３】

本発明に基づく電子ビーム積層造形装置は、真空容器と、上記真空容器の内部に設置された電子ビーム発生源と、上記真空容器の内部に設けられ、上記電子ビーム発生源にて発生した電子ビームが金属粉末に照射されることで金属造形物を得る積層造形部と、上記真空容器の内部に軽ガスを導入する軽ガス供給源と、上記真空容器に接続された上記本発明に基づく排気システムとを備えている。

【００３４】

このような電子ビーム積層造形装置とすることにより、真空容器から軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することも可能になるため、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスとしての軽ガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置とすることができる。

【発明の効果】

【００３５】

本発明によれば、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムの実現が可能になり、また、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置の実現が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【００３６】

【図１】実施の形態１における電子ビーム積層造形装置の概略図である。

【図２】実施の形態１における排気システムの構成を概略的に示した図である。

【図３】図２に示す複合分子ポンプの模式断面図である。
【図４】図２に示す排気システムにおける第１排気状態を示した図である。
【図５】図２に示す排気システムにおける第２排気状態を示した図である。
【図６】実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプの排気特性を示したグラフである。
【図７】実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝の形状を示した模式断面図である。
【図８】実施例ａ，ｂ，ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝の深さの勾配を示した表である。
【図９】実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプの排気特性を示したグラフである。
【図１０】実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプと実施例Ｂに係るターボ分子ポンプとを組み合わせた場合の排気特性を纏めた表である。
【図１１】実施例ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプの排気特性を示したグラフである。
【図１２】実施例ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプと実施例Ｂに係るターボ分子ポンプとを組み合わせた場合の排気特性を纏めた表である。
【図１３】第１変形例に係る排気システムの構成を概略的に示した図である。
【図１４】第２変形例に係る排気システムの構成を概略的に示した図である。
【図１５】実施の形態２における排気システムの構成を概略的に示した図である。
【図１６】図１５に示す複合分子ポンプの模式断面図である。
【図１７】実施の形態３における排気システムの構成を概略的に示した図である。
【図１８】図１７に示す複合分子ポンプの模式断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００３７】
以下、本発明の実施の形態について、図を参照して詳細に説明する。以下に示す実施の形態は、電子ビーム積層造形装置およびこれに具備された排気システムに本発明を適用した場合を例示するものである。なお、以下に示す実施の形態においては、同一のまたは共通する部分について図中同一の符号を付し、その説明は繰り返さない。
【００３８】
（実施の形態１）
図１は、実施の形態１における電子ビーム積層造形装置の概略図である。まず、この図１を参照して、本実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００の構成について説明する。
【００３９】
図１に示すように、電子ビーム積層造形装置１００は、真空容器としてのチャンバ１１０と、電子ビーム発生源としての電子銃１２０と、金属造形物４００を積層造形する部位である積層造形部１３０と、軽ガス供給源としてのヘリウムガス供給源２００と、後述する本実施の形態における排気システム１Ａとを主として備えている。
【００４０】
チャンバ１１０は、電子銃１２０、ビームアライメント１２１、集束レンズ１２２、対物レンズ１２３および偏光器１２４が配置された空間を規定する第１チャンバ部１１１と、積層造形部１３０が設けられた空間を規定する第２チャンバ部１１２とを有している。第１チャンバ部１１１の内部の空間は、電子銃室排気システム（不図示）により、超高真空状態に維持されている。一方、第２チャンバ部１１２の内部の空間は、排気システム１Ａにより、積層造形時において、補助ガスである軽ガスとしてのヘリウムガスの分圧が相対的に高く保たれつつも、非軽ガスの分圧が相対的に低く保たれた真空状態に維持される。
【００４１】
電子銃１２０は、カソードおよびアノードを含んでおり、これらの間には所定の高電圧が印加できるように構成されている。カソードは、図示しない加熱機構によって高温の状態に加熱できるように構成されている。
【００４２】

電子ビームＥＢは、カソードが加熱機構によって加熱されることで熱電子が発生する環境下に置かれた状態において、さらにアノードとカソード間に高電圧が印加されることにより、カソードにおいて発生した熱電子がアノードによって引き出されることで発生する。

【００４３】

ビームアライメント１２１は、電子ビームＥＢに電磁的に作用することにより、電子銃１２０から出射された電子ビームＥＢの光軸を集束レンズ１２２の光軸と一致させるためのものである。

【００４４】

集束レンズ１２２および対物レンズ１２３は、電子ビームＥＢに電磁的に作用することにより、電子ビームＥＢを後述する金属粉末床の狭い範囲に集中して照射させるためのものである。

【００４５】

偏光器１２４は、電子ビームＥＢに電磁的に作用することにより、電子ビームＥＢを曲げることでこれを金属粉末床上において走査させるためのものである。なお、偏光器１２４は、電子銃１２０から出射された電子ビームＥＢをその進行方向と交差する方向に自由に曲げることができるものであるが、図中においてはその様子を模式的に矢印ＤＲ１にて示している。

【００４６】

積層造形部１３０は、ステージ１３１と、ホッパ１３２と、レーキ１３３と、ステージ１３１を昇降可能に駆動する図示しないステージ駆動機構とを主として有している。

【００４７】

ステージ１３１は、第２チャンバ部１１２の内部であって電子ビームＥＢが照射可能な位置に配置されている。ステージ１３１は、その主面上に金属粉末３００が敷き詰められることにより、これによって形成された該金属粉末床を支持する部材であり、上述したステージ駆動機構によって図中に示す矢印ＤＲ２方向に昇降可能に支持されている。

【００４８】

ホッパ１３２およびレーキ１３３は、第２チャンバ部１１２の内部に配置されており、金属粉末３００をハンドリングするためのものである。ホッパ１３２は、金属粉末３００を内部に貯留しており、必要なタイミングで必要な量だけ金属粉末３００をステージ１３１上に向けて供給する。レーキ１３３は、図中に示す矢印ＤＲ３方向に往復動することにより、ホッパ１３２からステージ１３１上に供給された金属粉末３００をステージ１３１上に厚みが均一になるように敷き詰める。

【００４９】

ヘリウムガス供給源２００は、第２チャンバ部１１２に開閉弁２０１を介して接続されている。ヘリウムガス供給源２００は、第２チャンバ部１１２内にヘリウムガスを導入するためのものであり、開閉弁２０１が開閉されることにより、ヘリウムガスが第２チャンバ部１１２内に必要なタイミングにおいて必要な量だけ供給される。

【００５０】

排気システム１Ａは、第２チャンバ部１１２に調整弁２０２を介して接続されている。排気システム１Ａは、第２チャンバ部１１２内に存在する気体分子を外部に排気することにより、第２チャンバ部１１２内に真空状態を作り出すためのものである。

【００５１】

本実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００においては、これらヘリウムガス供給源２００および排気システム１Ａが適切に稼働されることにより、積層造形の前段階において、軽ガスの分圧と非軽ガスの分圧とが共に低く保たれた真空状態が早期に作り出されるとともに、積層造形時において、ヘリウムガスの分圧が相対的に高く保たれつつも非軽ガスの分圧が相対的に低く保たれた真空状態が維持される。

【００５２】

なお、第２チャンバ部１１２には、真空計２１０が設置されており、第２チャンバ部１

１２内の真空度は、当該真空計２１０によって常時計測される。この真空計２１０によって計測された真空度に基づき、ヘリウムガス供給源２００および排気システム１Ａが適切に稼働されることにより、上述した真空状態が実現される。

【００５３】

積層造形時においては、まず、ホッパ１３２からステージ１３１上に供給された直径数［μｍ］～数十［μｍ］の金属粒子からなる金属粉末３００が、レーキ１３３によってステージ１３１上に薄く敷き詰められることで金属粉末床が形成される。金属粉末床の厚みは、たとえば１０［μｍ］～１００［μｍ］程度とされる。

【００５４】

次に、電子ビームＥＢが、ステージ１３１上に形成された金属粉末床に照射される。電子銃１２０から出射された電子ビームＥＢは、金属粉末床のうちの狭い範囲に部分的に照射され、このとき、偏光器１２４によって電子ビームＥＢが走査されることにより、金属粉末床のうち、積層造形すべき金属造形物４００の形状に対応した位置にのみ電子ビームＥＢが照射される。

【００５５】

これにより、電子ビームＥＢが照射された部分に位置する金属粉末が加熱されて溶融し、その後、加熱が解除されることでこれが凝固する。なお、金属粉末床のうち、電子ビームＥＢが照射されていない範囲に位置する金属粉末は、その粉末の状態が維持されることになる。

【００５６】

次に、図示しないステージ駆動機構により、ステージ１３１が下方に向けて移動される。その際の移動量は、上述した金属粉末床の厚みと同じとされる。

【００５７】

上述したステップが繰り返し実施されることにより、ステージ１３１上において金属造形物４００が徐々に積層造形されていくことになり、金属造形物４００の積層造形が完了した時点で、上述したステップの繰り返しの実施が停止される。

【００５８】

なお、上述した電子ビームＥＢの照射ステップにおいては、電子ビームＥＢが照射されることによって金属粒子が溶融して凝固する過程において、既にその下層において形成されている金属造形物４００の表面も共に溶融して凝固することになり、これによって各層において形成された金属凝固体が一体となって金属造形物が積層造形されることになる。

【００５９】

図２は、本実施の形態における排気システムの構成を概略的に示した図である。次に、この図２を参照して、本実施の形態における排気システム１Ａの構成について説明する。

【００６０】

図２に示すように、排気システム１Ａは、必要に応じて互いに排気管等にて接続された複合分子ポンプ１０Ａ、補助真空ポンプ２０、三方弁３０を主として備えている。このうち、複合分子ポンプ１０Ａは、ターボ分子ポンプ１０ａおよびねじ溝真空ポンプ１０ｂを含む複合ポンプとして構成されており、補助真空ポンプ２０は、たとえば油回転真空ポンプにて構成されている。

【００６１】

複合分子ポンプ１０Ａは、排気システム１Ａに設けられた排気路の上流側の位置に設置されており、補助真空ポンプ２０は、排気システム１Ａに設けられた排気路の下流側の位置に設置されている。三方弁３０は、複合分子ポンプ１０Ａと補助真空ポンプ２０とを接続する部分の排気路の所定位置に設置されている。

【００６２】

複合分子ポンプ１０Ａに含まれるターボ分子ポンプ１０ａは、複合分子ポンプ１０Ａ内に形成される排気路の上流側の部分を構成しており、複合分子ポンプ１０Ａに含まれるねじ溝真空ポンプ１０ｂは、複合分子ポンプ１０Ａ内に形成される排気路の下流側の部分を構成している。

【００６３】
ここで、図２に示すように、ターボ分子ポンプ１０ａは、第１吸気口ＩＬ１および第１排気口ＯＬ１を有しており、ねじ溝真空ポンプ１０ｂは、第２吸気口ＩＬ２および第２排気口ＯＬ２を有している。一方、補助真空ポンプ２０は、第３吸気口ＩＬ３および第３排気口ＯＬ３を有しており、三方弁３０は、第１ポートＰ１、第２ポートＰ２および第３ポートＰ３を有している。
【００６４】
ターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１は、複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰを構成しており、上述した調整弁２０２を介して第２チャンバ部１１２に接続されている。ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１は、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２に接続されている。
【００６５】
ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２は、上述したようにターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１に接続されている。ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２排気口ＯＬ２は、複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１を構成しており、三方弁３０の第１ポートＰ１に接続されている。
【００６６】
複合分子ポンプ１０Ａのうち、ターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１からターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１およびねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２を経由してねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２排気口ＯＬ２に至る部分の排気路の途中位置には、中間排気口ＯＬ５が設けられている。
【００６７】
中間排気口ＯＬ５は、複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２を構成しており、三方弁３０の第２ポートＰ２に接続されている。本実施の形態においては、中間排気口ＯＬ５は、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１とねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２とを接続する部分の排気路に設けられている。
【００６８】
補助真空ポンプ２０の第３吸気口ＩＬ３は、三方弁３０の第３ポートＰ３に接続されている。補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３は、大気開放されている。
【００６９】
ここで、本実施の形態における排気システム１Ａにおいては、三方弁３０が、第１ポートＰ１と第３ポートＰ３とを接続する第１排気状態と、第２ポートＰ２と第３ポートＰ３とを接続する第２排気状態とに選択的にその切り替えが可能に構成されている。
【００７０】
このように構成することにより、上記第１排気状態において、軽ガスおよび非軽ガスが同時に複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されるとともに、上記第２排気状態において、主として非軽ガスが複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになるが、その詳細については後述することとする。
【００７１】
図３は、図２に示す複合分子ポンプの模式断面図である。次に、この図３を参照して、本実施の形態における排気システム１Ａに具備された複合分子ポンプ１０Ａの構成について説明する。なお、上述したように、複合分子ポンプ１０Ａは、ターボ分子ポンプ１０ａおよびねじ溝真空ポンプ１０ｂを含む複合ポンプとして構成されたものであり、具体的には、ターボ分子ポンプ１０ａのロータとねじ溝真空ポンプ１０ｂのロータとが一体化されたものである。
【００７２】
図３に示すように、複合分子ポンプ１０Ａは、ベース１１と、ステータ１２と、ケーシング１３と、ロータ１４と、ロータ駆動機構１５とを主として有している。複合分子ポンプ１０Ａの外殻は、このうちのベース１１、ステータ１２およびケーシング１３によって

構成されており、これらベース１１、ステータ１２およびケーシングによって構成される外殻の内側には、残るロータ１４およびロータ駆動機構１５が収容されている。

【００７３】

ベース１１は、ステータ１２およびロータ駆動機構１５を支持するためのものであり、略円盤状の形状を有する金属製の部材にて構成されている。ベース１１の所定位置には、複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１を構成する第１排気管１８が取付けられている。

【００７４】

ロータ駆動機構１５は、ロータ１４を高速で回転させるためのものであり、ベース１１の略中央部上に設置されている。ロータ駆動機構１５は、モータと磁気軸受とを含んでおり、これらモータおよび磁気軸受が収容されたハウジング１５ａと、出力軸として回転シャフト１５ｂとをさらに含んでいる。

【００７５】

回転シャフト１５ｂは、その下端側の部分がハウジング１５ａの内部に位置しており、その上端側の部分は、当該ハウジング１５ａの外部に露出している。回転シャフト１５ｂの露出した部分には、ロータ１４が固定されている。

【００７６】

ハウジング１５ａの内部に収容されたモータは、ロータ１４が固定された回転シャフト１５ｂを回転駆動するものであり、ハウジング１５ａの内部に収容された磁気軸受は、回転シャフト１５ｂを回転可能に支承するものである。これらモータおよび磁気軸受が駆動することにより、回転シャフト１５ｂが高速で回転し、これによってロータ１４が複合分子ポンプ１０Ａの内部において高速で回転することになる。

【００７７】

ロータ１４は、金属製の部材にて構成されており、ロータ駆動機構１５の回転シャフト１５ｂに固定された略円柱状の上部側ロータ部１４ａと、略円筒状の下部側ロータ部１４ｂとを有している。上部側ロータ部１４ａの外周部には、軸方向に沿って間隔をあけて複数の動翼１６が設けられており、当該複数の動翼１６は、それぞれ径方向外側に向かって突出して位置している。一方、下部側ロータ部１４ｂは、上述したロータ駆動機構１５のハウジング１５ａを取り囲むように上部側ロータ部１４ａの下端から下方に向けて延設されている。

【００７８】

ステータ１２は、略円筒状の形状を有する金属製の部材にて構成されており、ベース１１の周縁部上に設置されている。ステータ１２は、ロータ１４の下部側ロータ部１４ｂを取り囲むように、下部側ロータ部１４ｂの外周面に対向して位置している。ステータ１２の所定位置には、複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２を構成する第２排気管１９が取付けられている。

【００７９】

ステータ１２の内周面には、雌ねじ形状のねじ溝１２ａが設けられている。当該ねじ溝１２ａは、下部側ロータ部１４ｂの外周面に所定の距離をもって位置している。

【００８０】

これにより、ステータ１２およびこれに対向する部分の下部側ロータ部１４ｂによってねじ溝真空ポンプ１０ｂが構成されることになる。このねじ溝真空ポンプ１０ｂは、複合分子ポンプ１０Ａの作動時においてロータ１４が高速で回転することにより、排気機能を発揮する。

【００８１】

ケーシング１３は、略円筒状の形状を有する金属製の部材にて構成されており、ステータ１２上に設置されている。ケーシング１３は、ロータ１４の上部側ロータ部１４ａを取り囲むように位置している。ケーシング１３の上部に設けられた開口部は、複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰを構成している。

【００８２】

ケーシング１３の内周面上には、複数のスペーサ兼支持部材１３ａが設けられており、当該複数のスペーサ兼支持部材１３ａによって複数の静翼１７が支持されている。複数の静翼１７は、軸方向に沿って間隔をあけて設けられており、それぞれ径方向内側に向かって突出して位置している。

【００８３】

上述した複数の動翼１６および複数の静翼１７は、それぞれが異なる方向に向けて傾斜するタービン翼を有している。また、上述した複数の動翼１６および複数の静翼１７は、これらが軸方向に沿って互い違いに位置することとなるように配設されている。

【００８４】

これにより、複数の動翼１６および複数の静翼１７によってターボ分子ポンプ１０ａが構成されることになる。このターボ分子ポンプ１０ａは、複合分子ポンプ１０Ａの作動時においてロータ１４が高速に回転することにより、排気機能を発揮する。

【００８５】

上述した構成の複合分子ポンプ１０Ａにおいては、複数の動翼１６および複数の静翼１７のうちの最上段に配置された翼の上面位置においてターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１が構成されることになり、複数の動翼１６および複数の静翼１７のうちの最下段に配置された翼の下面位置においてターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１が構成されることになる。

【００８６】

また、上述した構成の複合分子ポンプ１０Ａにおいては、ステータ１２とロータ１４の下部側ロータ部１４ｂとの間に設けられた隙間の上端位置においてねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２が構成されることになり、ステータ１２とロータ１４の下部側ロータ部１４ｂとの間に設けられた隙間の下端位置においてねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２排気口ＯＬ２が構成されることになる。

【００８７】

さらに、上述した構成の複合分子ポンプ１０Ａにおいては、ステータ１２に設けられた通気路の上端位置において中間排気口ＯＬ５が構成されることになる。

【００８８】

ここで、ターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１は、ケーシング１３の内部の空間を介して、ケーシング１３の上部に設けられた複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰに連通している。一方、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１は、ケーシング１３の内部の空間を介して、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２に連通しているとともに、ケーシング１３の内部の空間を介して、中間排気口ＯＬ５に連通し、さらにステータ１２に設けられた通気路を介して、ステータ１２に接続された第２排気管１９によって構成された複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２に連通している。

【００８９】

また、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２は、ケーシング１３の内部の空間を介して、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１に連通しているとともに、ケーシング１３の内部の空間を介して、中間排気口ＯＬ５に連通し、さらにステータ１２に設けられた通気路を介して、ステータ１２に接続された第２排気管１９によって構成された複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２に連通している。一方、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２排気口ＯＬ２は、ステータ１２の内部の空間およびベース１１に設けられた通気路を介して、ベース１１に接続された第１排気管１８によって構成された複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１に連通している。

【００９０】

これにより、上述したように、ターボ分子ポンプ１０ａが、複合分子ポンプ１０Ａ内に形成される排気路の上流側の部分を構成することになり、ねじ溝真空ポンプ１０ｂが、複合分子ポンプ１０Ａ内に形成される排気路の下流側の部分を構成することになる。

【００９１】

換言すれば、複合分子ポンプ１０Ａにおいては、吸気ポートＩＰが、ターボ分子ポンプ

１０ａおよびねじ溝真空ポンプ１０ｂを介して第１排気ポートＯＰ１に接続されている一方で、当該吸気ポートＩＰは、ターボ分子ポンプ１０ａのみを介して第２排気ポートＯＰ２にも接続されている。

【００９２】

なお、ベース１１とステータ１２との間、ステータ１２とケーシング１３との間、ベース１１と第１排気管１８との間、ステータ１２と第２排気管１９との間等には、それぞれＯリング等のシール部材が介在されている。これにより、吸気ポートＩＰと第１排気ポートＯＰ１および第２排気ポートＯＰ２との間に位置する部分の排気路の気密性が確保されることになり、当該排気路からの漏気の発生が防止できる。

【００９３】

図４および図５は、それぞれ本実施の形態における排気システムにおける上述した第１排気状態および第２排気状態を示した図である。次に、これら図４および図５を参照して、上述した第１排気状態および第２排気状態について詳説する。

【００９４】

図４に示すように、第１排気状態においては、三方弁３０が切り替えられることにより、当該三方弁３０の第１ポートＰ１および第３ポートＰ３が接続された状態となる。当該第１排気状態においては、複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１と補助真空ポンプ２０の第３吸気口ＩＬ３とが三方弁３０を介して接続された状態となる。

【００９５】

これにより、排気システム１Ａにおいては、ターボ分子ポンプ１０ａ、ねじ溝真空ポンプ１０ｂおよび補助真空ポンプ２０が上流側からこの順で接続された状態となり、これによって図中に示す第１排気経路ＥＰ１が形成されることになる。より詳細には、第１排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２吸気口ＩＬ２、第１排気ポートＯＰ１として構成された第２排気口ＯＬ２および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。

【００９６】

図５に示すように、第２排気状態においては、三方弁３０が切り替えられることにより、当該三方弁３０の第２ポートＰ２および第３ポートＰ３が接続された状態となる。当該第２排気状態においては、複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２と補助真空ポンプ２０の第３吸気口ＩＬ３とが三方弁３０を介して接続された状態となる。

【００９７】

これにより、排気システム１Ａにおいては、ターボ分子ポンプ１０ａおよび補助真空ポンプ２０が上流側からこの順で接続された状態となり、これによって図中に示す第２排気経路ＥＰ２が形成されることになる。より詳細には、第２排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２排気ポートＯＰ２として構成された中間排気口ＯＬ５および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。すなわち、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスは、上記第１排気状態とは異なり、第２吸気口ＩＬ２および第１排気ポートＯＰ１として構成された第２排気口ＯＬ２を経ることはない。

【００９８】

ここで、一般に、ターボ分子ポンプは、吸気口側での排気速度が排気口側での補助排気速度に相当程度に依存し、排気口側での補助排気速度が大きい場合に、吸気口側での排気速度も大きくなる傾向にあり、排気口側での補助排気速度が小さい場合に、吸気口側での排気速度も小さくなる傾向にある。また、その依存の程度は、排気するガスの種類によっても大きく異なり、軽ガスに対する依存の程度は、非軽ガスに対する依存の程度よりも大きい。なお、ここで言う補助排気速度は、ターボ分子ポンプの排気口とその下流側に配置された真空ポンプとの間の排気路のコンダクタンスが十分に大きい場合には、当該ターボ分子ポンプの下流側に配置された真空ポンプの吸気口側での排気速度と基本的に等価とな

る。すなわち、上記補助排気速度は、上述した第１排気状態においては、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２側での排気速度と等価であり、上述した第２排気状態においては、補助真空ポンプ２０の第３吸気口ＩＬ３側での排気速度と等価である。

【００９９】

また、通常、油回転真空ポンプからなる補助真空ポンプ２０の第３吸気口ＩＬ３側での排気速度は、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２側での排気速度に比べて、桁違いに小さい。

【０１００】

そのため、三方弁３０が切り替えられることにより、第２排気状態におけるターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１での補助排気速度は、第１排気状態におけるターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１での補助排気速度よりも桁違いに小さくなる。その結果、第２排気状態におけるターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１での排気速度は、非軽ガスに対しては第１排気状態における排気速度と遜色がないものとなるのに対し、軽ガスに対しては第１排気状態における排気速度と比較して著しく小さくなる。

【０１０１】

したがって、第１排気状態においては、軽ガスおよび非軽ガスが同時に複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰから吸気されて上記第１排気経路ＥＰ１を経由して補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになり、第２排気状態においては、主として非軽ガスが複合分子ポンプ１０Ａの吸気ポートＩＰから吸気されて上記第２排気経路ＥＰ２を経由して補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。すなわち、第２排気状態においては、軽ガスとしてのヘリウムガスの排気量が第１排気状態に比べて著しく小さくなる反面、非軽ガスの排気量は第１排気状態とほぼ同等に維持される。

【０１０２】

これにより、上述した図１に示す電子ビーム積層造形装置１００において、積層造形の前段階において、ヘリウムガス供給源２００による第２チャンバ部１１２内へのヘリウムガスの導入を停止しつつ、排気システム１Ａを用いて上記第１排気状態にて第２チャンバ部１１２内の排気を行なうことにより、短時間のうちに高真空状態を作り出すことができ、その後、積層造形時において、ヘリウムガス供給源２００による第２チャンバ部１１２内へのヘリウムガスの導入を行ないつつ、排気システム１Ａを用いて上記第２排気状態にて第２チャンバ部１１２内の排気を行なうことにより、ヘリウムガスの分圧が相対的に高く保たれつつも非軽ガスの分圧が相対的に低く保たれた真空状態が維持できることになる。

【０１０３】

ここで、第２排気状態においては、排気システム１Ａによって排気される軽ガスとしてのヘリウムガスの排気量が僅かであるため、ヘリウムガス供給源２００によって第２チャンバ部１１２内へ導入すべきヘリウムガスの量も大幅に少なくて済む。そのため、ヘリウムガスの消費量を大幅に抑制しつつも、第２チャンバ部１１２内のヘリウムガスの分圧を相対的に高く保つことができる。

【０１０４】

したがって、上述した本実施の形態における排気システム１Ａを適用することにより、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムの実現が可能になり、また、当該排気システム１Ａを備えた電子ビーム積層造形装置１００とすることにより、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスとしてのヘリウムガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置の実現が可能になる。

【０１０５】

ここで、上述したターボ分子ポンプ１０ａを構成する動翼１６および静翼１７の合計段数は、１０段以上１２段以下であることが好ましい。本実施の形態においては、これを６段の動翼１６と５段の静翼１７との合計１１段で構成している。このように構成すること

により、第１吸気口ＩＬ１側でのヘリウムガスに対する排気速度が、排気口側での補助排気速度に依存する程度を増大させることができ（すなわち、第２排気状態におけるヘリウムガスの排気量をさらに抑制することができ）、非軽ガスの選択排気を促進できることになる。

【０１０６】

なお、通常のターボ分子ポンプの動翼および静翼の合計段数は、１５段以上とされるため、上述のとおりこれらの合計段数を１０段以上１２段以下とした場合には、非軽ガスの選択排気が促進できるばかりでなく、ターボ分子ポンプ１０ａを大幅に小型化することもできる。

【０１０７】

また、上述したねじ溝真空ポンプ１０ｂを構成するステータ１２に設けられるねじ溝１２ａの深さの勾配は、０より大きく０．０４以下とされることが好ましい。このように構成することにより、上記第１排気状態における第１排気口ＯＬ１でのヘリウムガスに対する補助排気速度をより大きくすることができるため、第１排気状態におけるヘリウムガスの排気量を増大させることができる。

【０１０８】

以下においては、本実施の形態における排気システム１Ａを適用することにより、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することも可能になるメカニズムについて、より詳細に説明する。

【０１０９】

一般に、高真空状態において、チャンバの内壁面等から脱離するガス分子は、水蒸気（H_2O）が最も多い。そのため、ここでは、放出ガスが水蒸気のみであると仮定する。

【０１１０】

補助ガスをヘリウムガスとし、放出ガス（不純物）を水蒸気と仮定した場合には、チャンバ内の不純物比αは、チャンバ内のヘリウムガスの分圧をＰＨｅとし、チャンバ内の水蒸気の分圧をPH_2Oとすると、下記式（１）で定義される。

【０１１１】

【数１】

$$\alpha = \frac{PH_2O}{PHe} \quad \cdots(1)$$

【０１１２】

ここで、チャンバ内へのヘリウムガスの供給流量をＱＨｅとし、チャンバの内壁面等からの水蒸気の放出量をQH_2Oとし、ターボ分子ポンプの吸気口でのヘリウムガスの排気速度をＳＨｅとし、ターボ分子ポンプの吸気口での水蒸気の排気速度をSH_2Oとすると、上記式（１）は、下記式（２）のとおりに書き換えることができる。

【０１１３】

【数２】

$$\alpha = \frac{SHe}{SH_2O} \times \frac{QH_2O}{QHe} \quad \cdots(2)$$

【０１１４】

したがって、上記式（２）より、不純物比αを小さくするためには、ターボ分子ポンプの吸気口での水蒸気の排気速度SH_2Oに対して、ターボ分子ポンプの吸気口でのヘリウムガスの排気速度ＳＨｅを小さくすればよいことになる。

【０１１５】

一般に、自由分子領域においては、ターボ分子ポンプのある気体に対する吸気口での排気速度Ｓは、その気体に対する最大排気速度Ｓｍａｘと、その気体に対する最大圧縮比Ｋｍａｘと、ターボ分子ポンプの排気口でのその気体に対する排気速度（補助排気速度）Ｓｆｏｒｅとを用いて、下記式（３）で表わされる。

【０１１６】

【数３】

$$S = \frac{Smax \times Kmax}{Kmax - 1 + \frac{Smax}{Sfore}} \quad \cdots(3)$$

【０１１７】

ここで、上記気体が非軽ガスである場合には、Ｋｍａｘ＞＞１の条件が成立するため、上記式（３）は、下記式（４－１）に示すε１を用いて下記式（４－２）に書き換えることができる。

【０１１８】

【数４】

$$\varepsilon 1 = \frac{Smax}{Sfore \times Kmax} \quad \cdots(4-1)$$

$$S = \frac{Smax \times Kmax}{Kmax - 1 + \frac{Smax}{Sfore}} = \frac{Smax}{1 - \frac{1}{Kmax} + \frac{Smax}{Sfore \times Kmax}} = \frac{Smax}{1 - \frac{1}{Kmax} + \varepsilon 1} \rightarrow \frac{Smax}{1 + \varepsilon 1} \quad \cdots(4-2)$$

【０１１９】

一方、上記気体が軽ガスであり、かつ、Ｓｆｏｒｅが十分に大きな場合には、Ｋｍａｘ＞１かつＳｍａｘ＞Ｓｆｏｒｅの条件が成立するため、上記式（３）は、下記式（５－１）に示すε２を用いて下記式（５－２）に書き換えることができる。

【０１２０】

【数５】

$$\varepsilon 2 = \frac{1}{Kmax} \times \left(\frac{Smax}{Sfore} - 1 \right) \quad \cdots(5-1)$$

$$S = \frac{Smax \times Kmax}{Kmax - 1 + \frac{Smax}{Sfore}} = \frac{Smax}{1 + \frac{1}{Kmax} \times \left(\frac{Smax}{Sfore} - 1 \right)} \rightarrow \frac{Smax}{1 + \varepsilon 2} \quad \cdots(5-2)$$

【０１２１】

他方、上記気体が軽ガスであり、かつ、Ｓｆｏｒｅが十分に小さい場合には、Ｋｍａｘ＞１かつＳｍａｘ＞＞Ｓｆｏｒｅの条件が成立するため、上記式（３）は、下記式（６－１）に示すε３を用いて下記式（６－２）に書き換えることができる。

【０１２２】

【数６】

$$\varepsilon 3 = \frac{Sfore}{Smax} \times (Kmax - 1) \quad \cdots(6-1)$$

$$S = \frac{Smax \times Kmax}{Kmax - 1 + \frac{Smax}{Sfore}} = \frac{Sfore \times Kmax}{\frac{Sfore}{Smax} \times (Kmax - 1) + 1} \rightarrow \frac{Sfore \times Kmax}{1 + \varepsilon 3} \quad \cdots(6-2)$$

【０１２３】

なお、ＳｍａｘおよびＫｍａｘは、ガス種ごとにターボ分子ポンプの設計で決まる値であり、Ｓｆｏｒｅは、上述したとおりターボ分子ポンプの下流側に配置される真空ポンプの能力およびターボ分子ポンプと当該真空ポンプとを接続する排気路のコンダクタンスによって決まる。また、原理的に、軽ガス（ここではヘリウムガス）のＫｍａｘは、非軽ガス（ここでは水蒸気）のＫｍａｘよりも桁違いに小さい。

【０１２４】

以上を勘案すれば、以下の条件を満たすように排気システムを構築することにより、ヘリウムガスおよび水蒸気を同時に排気することができる一方で、水蒸気のみを選択的に主として排気することもできる排気システムが実現できることになる。

【０１２５】

第１の条件は、ヘリウムガスおよび水蒸気を同時により多く排気するために、上述したＳＨｅ，$S{H_2}O$をいずれも大きくすることである。$S{H_2}O$を大きくするためには、上記

式（４－２）に従ってＳをＳｍａｘに近づければよく、結果としてε１を十分に小さくすればよい。ＳＨｅを大きくするためには、上記式（５－２）に従ってＳをＳｍａｘに近づければよく、結果としてε２を十分に小さくすればよい。

【０１２６】

第２の条件は、水蒸気のみを選択的に主として排気するために、上述したＳＨｅを小さくしつつSH_2Oを大きくすることである。SH_2Oを大きくするためには、上述したように上記式（４－２）に従ってＳをＳｍａｘに近づければよく、結果としてε１を十分に小さくすればよい。ＳＨｅを小さくするためには、上記式（６－２）に従ってＳをＳｆｏｒｅ×Ｋｍａｘに近づければよく、結果としてε３を十分に小さくすればよい。

【０１２７】

このうち、ε１を小さくすることは、ターボ分子ポンプの設計如何によって実現できるものであり、比較的容易にその設計が可能である。一方、ε２およびε３は、ターボ分子ポンプの下流側に設置される真空ポンプの能力およびターボ分子ポンプと当該真空ポンプとを接続する排気路のコンダクタンスに依存し、また単一の真空ポンプにてこれらε２およびε３をいずれも小さくすることはできないため、ターボ分子ポンプの下流側に分岐路を形成し、そのそれぞれに異なる能力の真空ポンプを配置することで実現できる。なお、ε２を小さくするためには、ヘリウムガスに対する排気速度が大きい真空ポンプを用いればよく、ε３を小さくするためには、ヘリウムガスに対する排気速度が小さい真空ポンプを用いればよい。

【０１２８】

以上により、上述した本実施の形態における排気システム１Ａのように、第１排気状態として、ターボ分子ポンプ１０ａの下流側にヘリウムガスに対する排気速度が大きいねじ溝真空ポンプ１０ｂが接続され、第２排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの下流側にヘリウムガスに対する排気速度が小さい油回転真空ポンプからなる補助真空ポンプ２０が接続されるように構成するとともに、これら第１排気状態および第２排気状態を三方弁３０によって選択的に切り替え可能に構成することにより、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムの実現が可能になる。

【０１２９】

図６は、実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプの排気特性を示したグラフである。以下、この図６を参照して、本実施の形態における排気システム１Ａに具備されるべきターボ分子ポンプ１０ａの排気特性について説明する。

【０１３０】

上述したように、ターボ分子ポンプにおいては、吸気口側での排気速度が排気口側での補助排気速度に相当程度に依存する。図６に示すグラフは、この依存の程度を示したグラフであり、実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプの各々について、ヘリウムガスおよび窒素ガスに対する吸気口側での排気速度と、排気口側での補助排気速度との関係を示したものである。なお、当該グラフでは、縦軸をヘリウムガスおよび窒素ガスに対する吸気口側での排気速度Ｓ［Ｌ／ｓ］とし、横軸を排気口側での補助排気速度Ｓｆｏｒｅ［Ｌ／ｓ］としている。

【０１３１】

実施例Ａは、吸気口での排気速度が３０００［Ｌ／ｓ］程度の標準的なターボ分子ポンプであり、静翼段および動翼段の合計段数が１７段のものである。一方、実施例Ｂは、当該標準的なターボ分子ポンプにおいて、静翼段および動翼段の合計段数を１１段に減らしたものである。

【０１３２】

図６を参照して、実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプのいずれにおいても、非軽ガスである窒素ガスに対しては、排気口側での補助排気速度の変化に対する吸気口側での補助排気速度に大きな変化はなく、おおよそその吸気口側での排気速度が３１００［Ｌ／ｓ］に保たれていることが理解できる。

【０１３３】
一方で、実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプのいずれにおいても、軽ガスであるヘリウムガスに対しては、排気口側での補助排気速度の変化に対する吸気口側での補助排気速度に大きな変化があり、排気口側での補助排気速度が減少するにつれて吸気口側での排気速度も減少する傾向があることが理解できる。
【０１３４】
このように、実施例Ａ，Ｂに係るターボ分子ポンプのいずれを用いた場合にも、排気口側での補助排気速度を変化させることにより、非軽ガスである窒素ガスに対する吸気口側での排気速度を同等程度に維持しつつ、軽ガスであるヘリウムガスに対する吸気口側での排気速度を大きくしたり小さくしたりすることができる。したがって、このような排気特性を有する限りにおいては、どのようなターボ分子ポンプであっても、本実施の形態における排気システム１Ａに具備させることができる。
【０１３５】
ここで、実施例Ａに係るターボ分子ポンプにおいては、排気口側での補助排気速度が約６０～４００［Ｌ／ｓ］の場合に、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が約２８０００～３０００程度に維持されているのに対し、排気口側での補助排気速度が約６０［Ｌ／ｓ］を下回った場合に、急激に吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が減少し、排気口側での補助排気速度が約１０［Ｌ／ｓ］の場合に、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が約１８００［Ｌ／ｓ］程度にまで減少している。
【０１３６】
一方、実施例Ｂに係るターボ分子ポンプにおいては、排気口側での補助排気速度が４００［Ｌ／ｓ］よりも小さい範囲において、排気口側での補助排気速度が減少するにつれてより滑らかに吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が減少し、排気口側での補助排気速度が約１０［Ｌ／ｓ］の場合に、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が約３００［Ｌ／ｓ］程度にまで減少している。
【０１３７】
そのため、実施例Ａに係るターボ分子ポンプにおいては、排気口側での補助排気速度の変化に応じて、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が敏感に変化してしまうことになり、安定的な制御が難しくなるおそれがあり、また、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度自体も、極端には小さくできないおそれがある。
【０１３８】
これに対し、実施例Ｂに係るターボ分子ポンプにおいては、排気口側での補助排気速度の変化に応じて、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度が徐々に変化することになり、より安定的な制御が行なえるばかりでなく、吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度自体も、これを十分に小さくできる。
【０１３９】
したがって、上述したように、本実施の形態における排気システム１Ａに具備させるターボ分子ポンプ１０ａとしては、動翼１６および静翼１７の合計段数が１０段以上１２段以下であるものがより好適であると言える。
【０１４０】
図７は、実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝の形状を示した模式断面図であり、図８は、実施例ａ，ｂ，ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝の深さの勾配を示した表である。図９は、実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプの排気特性を示したグラフであり、図１０は、実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプと実施例Ｂに係るターボ分子ポンプとを組み合わせた場合の排気特性を纏めた表である。また、図１１は、実施例ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプの排気特性を示したグラフであり、図１２は、実施例ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプと実施例Ｂに係るターボ分子ポンプとを組み合わせた場合の排気特性を纏めた表である。以下、これら図７ないし図１２を参照して、本実施の形態における排気システム１Ａに具備されるべきねじ溝真空ポンプ１０ｂの排気特性について説明する。

【０１４１】
上述したように、本実施の形態における排気システム１Ａにおいては、第１排気状態において、非軽ガスのみならず軽ガスであるヘリウムガスについてもその排気量を大きく確保することが求められる。そのため、ねじ溝真空ポンプ１０ｂにおいては、ヘリウムガスに対する排気速度を可能な限り大きくすることが必要になる。
【０１４２】
ねじ溝真空ポンプの排気特性は、ねじ溝の深さの勾配によって大きくその影響を受ける。ここでは、ねじ溝の深さの勾配や軸長が異なる実施例ａ，ｂ，ｃ，ｄの合計で４種類のモデルを想定して、それぞれにおけるヘリウムガスに対する排気速度を検討する。
【０１４３】
図７および図８に示すように、実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプにおいては、ねじ溝１２ａが形成される部分のステータ１２の軸長をいずれも１２８．０［ｍｍ］とし、ねじ溝１２ａの上流側端部における深さをいずれも１１．０［ｍｍ］とし、ねじ溝１２ａの下流側端部における深さをそれぞれ１．５［ｍｍ］、３．０［ｍｍ］、６．０［ｍｍ］とした。実施例ａ，ｂ，ｃに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝１２ａの深さの勾配は、それぞれ０．０７４［－］、０．０６３［－］、０．０３９［－］である。
【０１４４】
一方、図８に示すように、実施例ｄに係るねじ溝真空ポンプにおいては、ねじ溝１２ａが形成される部分のステータ１２の軸長を１６８．０［ｍｍ］とし、ねじ溝１２ａの上流側端部における深さを１２．５６［ｍｍ］とし、ねじ溝１２ａの下流側端部における深さをそれぞれ６．０［ｍｍ］とした。実施例ｄに係るねじ溝真空ポンプのねじ溝１２ａの深さの勾配は、０．０３９［－］である。
【０１４５】
なお、実施例ｄに係るねじ溝真空ポンプは、実施例ｃに係るねじ溝真空ポンプにおいて、ねじ溝１２ａの深さの勾配を維持しつつ、ねじ溝１２ａの上流側端部を４０．０［ｍｍ］だけ上流側に延長したものである。当該構成は、標準的な複合分子ポンプにおいて、ターボ分子ポンプの動翼および静翼の合計段数を減少させた場合に得られるスペースに、ねじ溝真空ポンプを延設させることを想定したものである。
【０１４６】
図９に示すグラフは、ねじ溝の深さの勾配を変化させた場合に、軽ガスとしてのヘリウムガスおよび非軽ガスとしての窒素ガスに対するねじ溝真空ポンプの排気特性がどのように変化するかを示したものである。なお、当該グラフは、ヘリウムガスまたは窒素ガスがねじ溝内を一定量（１０［ｓｃｃｍ］（２０［℃］換算で１８．１［Ｐａ・Ｌ／ｓ］）流れている場合（第２チャンバ部１１２において分圧が６．０×10^{-3}［Ｐａ］程度の場合）の、ねじ溝の上流側端部における圧力と、ねじ溝の下流側端部における圧力（いわゆる背圧）との関係を示したものである。当該グラフでは、縦軸をねじ溝の上流側端部における圧力Ｐｓ［Ｐａ］とし、横軸をねじ溝の下流側端部における圧力Ｐｂ［Ｐａ］としている。
【０１４７】
実施例ａに係るねじ溝真空ポンプにおいては、他のねじ溝真空ポンプに比べてねじ溝の深さの勾配が大きく、耐背圧性能が向上する反面、Ｐｂが低い場合のヘリウムガスに対する排気速度が小さい（すなわちＰｓが高い）ことが分かる。
【０１４８】
一方、実施例ｂに係るねじ溝真空ポンプにおいては、実施例ａに係るねじ溝真空ポンプに比べてねじ溝の深さの勾配が小さく、耐背圧性能が多少劣るものの、Ｐｂが低い場合のヘリウムガスに対する排気速度が大きい（すなわちＰｓが低い）ことが分かる。
【０１４９】
また、実施例ｃに係るねじ溝真空ポンプにおいては、実施例ｂに係るねじ溝真空ポンプに比べてねじ溝の深さの勾配がさらに小さく、耐背圧性能がより劣ったものとなるものの、Ｐｂが低い場合のヘリウムガスに対する排気速度が非常に大きい（すなわちＰｓが非常

に低い）ことが分かる。

【０１５０】

ここで、図１０は、ねじ溝真空ポンプの上流側に設置されるターボ分子ポンプを上述した実施例Ｂのものとし、ねじ溝真空ポンプの下流側に設置される補助真空ポンプの排気速度を１００［Ｌ／ｓ］とし、ヘリウムガスがねじ溝内を１０［ｓｃｃｍ］流れている場合における実施例ａ，ｂ，ｃの排気特性を示したものである。ここで、図９に示すグラフからねじ溝の上流側端部におけるヘリウムガスの圧力Ｐｓ［Ｐａ］が読み取れ、これに基づいてターボ分子ポンプの第１排気口での補助排気速度Ｓｆｏｒｅ［Ｌ／Ｓ］が算出され、さらにこれに基づいて、図６に示すグラフからターボ分子ポンプの第１吸気口でのヘリウムガスに対する排気速度ＳＨｅ［Ｌ／ｓ］が読み取れる。

【０１５１】

図１０に示すように、実施例ａ，ｂ，ｃでは、それぞれターボ分子ポンプの第１吸気口でのヘリウムガスに対する排気速度ＳＨｅが、２０６０［Ｌ／ｓ］、２１５０［Ｌ／ｓ］、２２３０［Ｌ／ｓ］となることが分かる。このようにねじ溝真空ポンプのねじ溝の深さの勾配をより小さくすることにより、第１排気状態において、軽ガスであるヘリウムガスの排気量をより大きく確保することが可能になる。

【０１５２】

図１１に示すグラフは、ねじ溝の軸長を変化させた場合に、軽ガスとしてのヘリウムガスおよび非軽ガスとしての窒素ガスに対するねじ溝真空ポンプの排気特性がどのように変化するかを示したものである。なお、当該グラフは、ヘリウムガスまたは窒素ガスがねじ溝内を一定量（１０［ｓｃｃｍ］）流れている場合（排気過程において分圧が６．０×10^{-3}［Ｐａ］程度の場合）の、ねじ溝の上流側端部における圧力と、ねじ溝の下流側端部における圧力（いわゆる背圧）との関係を示したものである。当該グラフでは、縦軸をねじ溝の上流側端部における圧力Ｐｓ［Ｐａ］とし、横軸をねじ溝の下流側端部における圧力Ｐｂ［Ｐａ］としている。

【０１５３】

実施例ｄに係るねじ溝真空ポンプにおいては、実施例ｃに係るねじ溝真空ポンプに比べてねじ溝の軸長が長く、Ｐｂが低い場合のヘリウムガスに対する排気速度がより大きい（すなわちＰｓが低い）ことが分かる。

【０１５４】

ここで、図１２は、ねじ溝真空ポンプの上流側に設置されるターボ分子ポンプを上述した実施例Ｂのものとし、ねじ溝真空ポンプの下流側に設置される補助真空ポンプの排気速度を１００［Ｌ／ｓ］とし、ヘリウムガスがねじ溝内を１０［ｓｃｃｍ］流れている場合における実施例ｃ，ｄの排気特性を示したものである。ここで、図１１に示すグラフからねじ溝の上流側端部におけるヘリウムガスの圧力Ｐｓ［Ｐａ］が読み取れ、これに基づいてターボ分子ポンプの第１排気口での補助排気速度Ｓｆｏｒｅ［Ｌ／Ｓ］が算出され、さらにこれに基づいて、図６に示すグラフからターボ分子ポンプの第１吸気口でのヘリウムガスに対する排気速度ＳＨｅ［Ｌ／ｓ］が読み取れる。

【０１５５】

図１２に示すように、実施例ｃ，ｄでは、それぞれターボ分子ポンプの第１吸気口でのヘリウムガスに対する排気速度ＳＨｅが、２２３０［Ｌ／ｓ］、２３００［Ｌ／ｓ］となることが分かる。このようにねじ溝真空ポンプのねじ溝の軸長をより長くすることにより、第１排気状態において、軽ガスであるヘリウムガスの排気量をより大きく確保することができることになる。

【０１５６】

したがって、上述したように、本実施の形態における排気システム１Ａに具備させるねじ溝真空ポンプ１０ｂとしては、ねじ溝の深さの勾配が０より大きく０．０４以下とされたものがより好適であると言え、また、ねじ溝の軸長がより長いものがより好適であると言える。

【０１５７】

一方で、実施例ａ，ｂ，ｃ，ｄに係るねじ溝真空ポンプのいずれを用いた場合にも、相当程度にヘリウムガスに対する排気速度を大きくすることはできるため、これをターボ分子ポンプの下流側に接続することにより、低真空状態を作り出す補助真空ポンプをターボ分子ポンプの下流側に接続する場合よりも、ターボ分子ポンプの排気口側での補助排気速度を高くすることができる。そのため、このような排気特性を有する限りにおいては、どのようなねじ溝真空ポンプであっても、本実施の形態における排気システム１Ａに具備させることができる。

【０１５８】

（第１変形例）

図１３は、第１変形例に係る排気システムの構成を概略的に示した図である。以下、この図１３を参照して、本実施の形態に基づいた第１変形例に係る排気システム１Ｂについて説明する。

【０１５９】

図１３に示す排気システム１Ｂは、上述した排気システム１Ａに代えて、本実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００に具備されるものである。排気システム１Ｂは、上述した排気システム１Ａと比較した場合に、オリフィス４０をさらに有している点においてのみ、その構成が相違している。

【０１６０】

図１３に示すように、オリフィス４０は、複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２と、三方弁３０の第２ポートＰ２とを接続する部分の排気路に設けられている。当該オリフィス４０は、第２排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１でのヘリウムガスに対する補助排気速度を適正化するためのものである。

【０１６１】

当該オリフィス４０が設けられることにより、第２排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２排気ポートＯＰ２として構成された中間排気口ＯＬ５、オリフィス４０および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。

【０１６２】

以下、オリフィス４０を設けることにより、第２排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１でのヘリウムガスに対する補助排気速度が適正化する理由について説明する。

【０１６３】

たとえば、ターボ分子ポンプ１０ａとして上述した実施例Ｂの如くのターボ分子ポンプを用い、補助真空ポンプ２０としてその排気速度が１００［Ｌ／ｓ］のものを用いた場合を想定する。その場合、仮にオリフィス４０を設けなければ、図６を参照して、ターボ分子ポンプの吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度は、約１７５０［Ｌ／ｓ］となり、第２排気状態におけるヘリウムガスの排気量が比較的大きくなってしまう。

【０１６４】

この場合において、たとえばターボ分子ポンプの吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度を６８７［Ｌ／ｓ］に設定するためには、オリフィス４０として、ヘリウムガスに対するコンダクタンスＣＨｅが２９．４［Ｌ／ｓ］のものを用いればよい。これにより、ターボ分子ポンプの排気口側でのヘリウムガスに対する補助排気速度が２２．７［Ｌ／ｓ］にまで下がるため、ターボ分子ポンプの吸気口側でのヘリウムガスに対する排気速度を６８７［Ｌ／ｓ］に設定することが可能になる。

【０１６５】

したがって、上述のとおりオリフィス４０を設けることにより、第２排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１でのヘリウムガスに対する補助排気速度を適正化することができる。

【０１６６】

なお、この場合、このオリフィス４０の窒素ガスに対するコンダクタンスC_{N_2}は、１

１．１［Ｌ／ｓ］であるため、ターボ分子ポンプの排気口側での窒素ガスに対する補助排気速度が１０．０［Ｌ／ｓ］となり、ターボ分子ポンプの吸気口側での窒素ガスに対する排気速度は、３０５８［Ｌ／ｓ］となる。したがって、第２排気状態において、ヘリウムガスの排気を抑えて窒素ガスを選択的に主として排気することが可能になる。

【０１６７】

なお、オリフィス４０を設けることに代えて、複合分子ポンプ１０Ａの第２排気ポートＯＰ２と三方弁３０の第２ポートＰ２とを接続する部分の排気路を、当該オリフィス４０と同等のコンダクタンスを有する細い配管にて構成することとしてもよい。

【０１６８】

（第２変形例）

図１４は、第２変形例に係る排気システムの構成を概略的に示した図である。以下、この図１４を参照して、本実施の形態に基づいた第２変形例に係る排気システム１Ｃについて説明する。

【０１６９】

図１４に示す排気システム１Ｃは、上述した排気システム１Ａに代えて、本実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００に具備されるものである。排気システム１Ｃは、上述した排気システム１Ａと比較した場合に、ブースタ真空ポンプ５０をさらに有している点においてのみ、その構成が相違している。

【０１７０】

図１４に示すように、ブースタ真空ポンプ５０は、複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１と、三方弁３０の第１ポートＰ１とを接続する部分の排気路に設けられている。より詳細には、ブースタ真空ポンプ５０は、第４吸気口ＩＬ４および第４排気口ＯＬ４を有しており、第４吸気口ＩＬ４が、複合分子ポンプ１０Ａの第１排気ポートＯＰ１として構成されたねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２排気口ＯＬ２に接続されており、第４排気口ＯＬ４が、三方弁の第１ポートＰ１に接続されている。

【０１７１】

当該ブースタ真空ポンプ５０は、第１排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１での補助排気速度を適正化するためのものである。なお、ブースタ真空ポンプとしては、ルーツ型真空ポンプ等が適切である。

【０１７２】

当該ブースタ真空ポンプ５０が設けられることにより、第１排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２吸気口ＩＬ２、第１排気ポートＯＰ１として構成された第２排気口ＯＬ２、第４吸気口ＩＬ４、第４排気口ＯＬ４および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。

【０１７３】

以下、ブースタ真空ポンプ５０を設けることにより、第１排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１での補助排気速度が適正化する理由について説明する。

【０１７４】

たとえば、ターボ分子ポンプ１０ａとして上述した実施例Ｂの如くのターボ分子ポンプを用い、ねじ溝真空ポンプ１０ｂとして上述した実施例ｃの如くのねじ溝真空ポンプを用い、補助真空ポンプとしてその排気速度が２２．７［Ｌ／ｓ］のものを用いた場合を想定する。その場合、仮にブースタ真空ポンプ５０を設けなければ、第１排気状態におけるねじ溝真空ポンプの排気口側でのヘリウムガスに対する補助排気速度は、２２．７［Ｌ／ｓ］となり、ヘリウムガスの流量がたとえば１０［ｓｃｃｍ］（２０［℃］換算で１８．１［Ｐａ・Ｌ／ｓ］）のときのねじ溝真空ポンプの排気口側の圧力は、０．８０［Ｐａ］となるため、ねじ溝真空ポンプの吸気口側での圧力は、図１１から０．１２［Ｐａ］となることが分かり、ターボ分子ポンプの排気口でのヘリウムに対する補助排気速度は、１５１［Ｌ／ｓ］となる。したがって、図６に基づけば、この時のターボ分子ポンプの吸気口で

の排気速度は、２０００［Ｌ／ｓ］となり、第１排気状態における排気量が図１２の場合に比べて小さくなってしまう。

【０１７５】

そのため、この場合において、たとえばねじ溝真空ポンプの排気口側での補助排気速度を１００［Ｌ／ｓ］に設定するためには、排気速度が１００［Ｌ／ｓ］のブースタ真空ポンプ５０を設置すればよいことになる。

【０１７６】

したがって、上述のとおりブースタ真空ポンプ５０を設けることにより、第１排気状態において、ターボ分子ポンプ１０ａの第１排気口ＯＬ１での補助排気速度を適正化することができる。

【０１７７】

なお、第２排気状態においては、ブースタ真空ポンプ５０を停止させてもよいし、そのまま稼働させてもよい。

【０１７８】

（実施の形態２）

図１５は、実施の形態２における排気システムの構成を概略的に示した図であり、図１６は、図１５に示す複合分子ポンプの模式断面図である。以下、これら図１５および図１６を参照して、本実施の形態における排気システム１Ｄおよびこれに具備された複合分子ポンプ１０Ｂの構成について説明する。

【０１７９】

図１５に示す排気システム１Ｄは、上述した実施の形態１における排気システム１Ａに代えて、上述した実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００に具備されるものである。排気システム１Ｄは、上述した排気システム１Ａと比較した場合に、中間排気口ＯＬ５が形成された位置が異なる点において、主としてその構成が相違している。

【０１８０】

図１５に示すように、排気システム１Ｄにおいては、複合分子ポンプ１０Ｂの第２排気ポートＯＰ２を構成する中間排気口ＯＬ５が、ターボ分子ポンプ１０ａの途中位置に設けられている。より詳細には、ターボ分子ポンプ１０ａの第１吸気口ＩＬ１と第１排気口ＯＬ１とを接続する部分の排気路に、中間排気口ＯＬ５が設けられている。

【０１８１】

具体的には、図１６に示すように、複合分子ポンプ１０Ｂは、上述した実施の形態における複合分子ポンプ１０Ａと同様に、ベース１１、ステータ１２、ケーシング１３、ロータ１４およびロータ駆動機構１５を主として有しているが、当該複合分子ポンプ１０Ａとは異なり、ステータ１２に第２排気管１９が取付けられておらず、代わりにケーシング１３に第２排気管１９が取付けられている。

【０１８２】

これに伴い、ケーシング１３の第２排気管１９が取付けられた部分には、ケーシング１３の内部の空間と第２排気管１９とを連通する開口部が設けられている。これにより、ケーシング１３に設けられた当該開口部において中間排気口ＯＬ５が構成されることになる。なお、この場合、第１吸気口ＩＬ１と中間排気口ＯＬ５との間に含まれる動翼段および静翼段の合計段数は、１０段以上１２段以下であることが好ましい。

【０１８３】

このように構成された排気システム１Ｄにおいては、第１排気状態において、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２吸気口ＩＬ２、第１排気ポートＯＰ１として構成された第２排気口ＯＬ２および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになり、第２排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第２排気ポートＯＰ２として構成された中間排気口ＯＬ５および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。

【０１８４】

したがって、第１排気状態においては、軽ガスとしてのヘリウムガスおよび当該ヘリウムガスよりも重い非軽ガスが同時に複合分子ポンプ１０Ｂの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになり、第２排気状態においては、主として非軽ガスが複合分子ポンプ１０Ｂの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。すなわち、第２排気状態においては、軽ガスとしてのヘリウムガスの排気量が第１排気状態に比べて著しく小さくなる反面、非軽ガスの排気量は第１排気状態とほぼ同等に維持される。

【０１８５】

そのため、本実施の形態における排気システム１Ｄとした場合にも、上述した実施の形態１において説明した効果に準じた効果が得られることになり、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムとすることができ、また、当該排気システム１Ｄを備えた電子ビーム積層造形装置とすることにより、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスとしてのヘリウムガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置とすることができる。

【０１８６】

（実施の形態３）

図１７は、実施の形態３における排気システムの構成を概略的に示した図であり、図１８は、図１７に示す複合分子ポンプの模式断面図である。以下、これら図１７および図１８を参照して、本実施の形態における排気システム１Ｅおよびこれに具備された複合分子ポンプ１０Ｃの構成について説明する。

【０１８７】

図１７に示す排気システム１Ｅは、上述した実施の形態１における排気システム１Ａに代えて、上述した実施の形態における電子ビーム積層造形装置１００に具備されるものである。排気システム１Ｅは、上述した排気システム１Ａと比較した場合に、中間排気口ＯＬ５が形成された位置が異なる点において、主としてその構成が相違している。

【０１８８】

図１７に示すように、排気システム１Ｅにおいては、複合分子ポンプ１０Ｃの第２排気ポートＯＰ２を構成する中間排気口ＯＬ５が、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの途中位置に設けられている。より詳細には、ねじ溝真空ポンプ１０ｂの第２吸気口ＩＬ２と第２排気口ＯＬ２とを接続する部分の排気路に、中間排気口ＯＬ５が設けられている。

【０１８９】

具体的には、図１８に示すように、複合分子ポンプ１０Ｃは、上述した実施の形態における複合分子ポンプ１０Ａと同様に、ベース１１、ステータ１２、ケーシング１３、ロータ１４およびロータ駆動機構１５を主として有しているが、当該複合分子ポンプ１０Ａとは異なり、ステータ１２が、外側ステータ部１２Ａと内側ステータ部１２Ｂとに分割されており、このうちの外側ステータ部１２Ａに第２排気管１９が取付けられている。

【０１９０】

外側ステータ部１２Ａは、略円筒状の形状を有する金属製の部材にて構成されており、ベース１１の周縁部上に設置されている。内側ステータ部１２Ｂは、略円筒状の形状を有する金属製部材にて構成されており、外側ステータ部１２Ａの内側に設置されている。内側ステータ部１２Ｂは、外側ステータ部１２Ａに固定されている。

【０１９１】

外側ステータ部１２Ａは、ロータ１４の下部側ロータ部１４ｂを取り囲むように、下部側ロータ部１４ｂの外周面に対向して位置している。ロータ１４の下部側ロータ部１４ｂは、内側ステータ部１２Ｂを取り囲むように位置しており、これにより内側ステータ部１２Ｂは、ロータ１４の下部側ロータ部１４ｂの内周面に対向している。

【０１９２】

外側ステータ部１２Ａの内周面には、ねじ溝１２ａの上流側部分を構成する雌ねじ形状の一次側ねじ溝部１２ａ１が設けられており、内側ステータ部１２Ｂの外周面には、ねじ溝１２ａの下流側部分を構成する雄ねじ形状の二次側ねじ溝部１２ａ２が設けられている

。一次側ねじ溝部１２ａ１は、下部側ロータ部１４ｂの外周面に所定の距離をもって位置しており、二次側ねじ溝部１２ａ２は、下部側ロータ部１４ｂの内周面に所定の距離をもって位置している。

【０１９３】

内側ステータ部１２Ｂは、下部側ロータ部１４ｂの下端を覆うように位置しており、これにより一次側ねじ溝部１２ａ１と下部側ロータ部１４ｂとの間に形成される排気路と、二次側ねじ溝部１２ａ２と下部側ロータ部１４ｂとの間に形成される排気路とが連通可能に接続されている。

【０１９４】

以上により、外側ステータ部１２Ａおよび内側ステータ部１２Ｂとこれに対向する部分のロータ１４とによってねじ溝真空ポンプ１０ｂが構成されることになる。

【０１９５】

上述したように、第２排気管１９は、外側ステータ部１２Ａに取付けられており、外側ステータ部１２Ａの第２排気管１９が取付けられた部分には、ねじ溝真空ポンプ１０ｂによって構成される排気路の途中位置と連通するように通気路が設けられている。これにより、外側ステータ部１２Ａに設けられた当該通気路の内側端部において中間排気口ＯＬ５が構成されることになる。

【０１９６】

このように構成された排気システム１Ｅにおいては、第１排気状態において、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２吸気口ＩＬ２、第１排気ポートＯＰ１として構成された第２排気口ＯＬ２および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになり、第２排気状態においては、吸気ポートＩＰとして構成された第１吸気口ＩＬ１から吸気されたガスが、第１排気口ＯＬ１、第２吸気口ＩＬ２、第２排気ポートＯＰ２として構成された中間排気口ＯＬ５および第３吸気口ＩＬ３をこの順で経由して、第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。

【０１９７】

したがって、第１排気状態においては、軽ガスとしてのヘリウムガスおよび当該ヘリウムガスよりも重い非軽ガスが同時に複合分子ポンプ１０Ｃの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになり、第２排気状態においては、主として非軽ガスが複合分子ポンプ１０Ｃの吸気ポートＩＰから吸気されて補助真空ポンプ２０の第３排気口ＯＬ３から排気されることになる。すなわち、第２排気状態においては、軽ガスとしてのヘリウムガスの排気量が第１排気状態に比べて著しく小さくなる反面、非軽ガスの排気量は第１排気状態とほぼ同等に維持される。

【０１９８】

そのため、本実施の形態における排気システム１Ｅとした場合にも、上述した実施の形態１において説明した効果に準じた効果が得られることになり、軽ガスおよび非軽ガスを同時に排気することができる一方で、非軽ガスを選択的に主として排気することもできる排気システムとすることができ、また、当該排気システム１Ｅを備えた電子ビーム積層造形装置とすることにより、造形速度や造形精度に優れつつも補助ガスとしてのヘリウムガスの消費量を抑制することができる電子ビーム積層造形装置とすることができる。

【０１９９】

上述した実施の形態１ないし３およびその変形例においては、ターボ分子ポンプとネジ溝真空ポンプとが一体化されたいわゆる複合分子ポンプを用いて排気システムを構成した場合を例示して説明を行なったが、必ずしもこれらが一体化されている必要はなく、これらが別個の真空ポンプとして構成されて接続される構成としてもよい。

【０２００】

また、上述した実施の形態１ないし３およびその変形例において示した特徴的な構成は、本発明の趣旨に照らして許容される範囲で当然にその組み合わせが可能である。

【０２０１】

また、上述した実施の形態１ないし３およびその変形例においては、本発明に係る排気システムを電子ビーム積層造形装置に適用した場合を例示して説明を行なったが、電子ビーム積層造形装置以外の装置（たとえばヘリウムリーク検査装置等）に適用することも当然に可能である。

【０２０２】

このように、今回開示した上記実施の形態はすべての点で例示であって、制限的なものではない。本発明の技術的範囲は特許請求の範囲によって画定され、また特許請求の範囲の記載と均等の意味および範囲内でのすべての変更を含むものである。

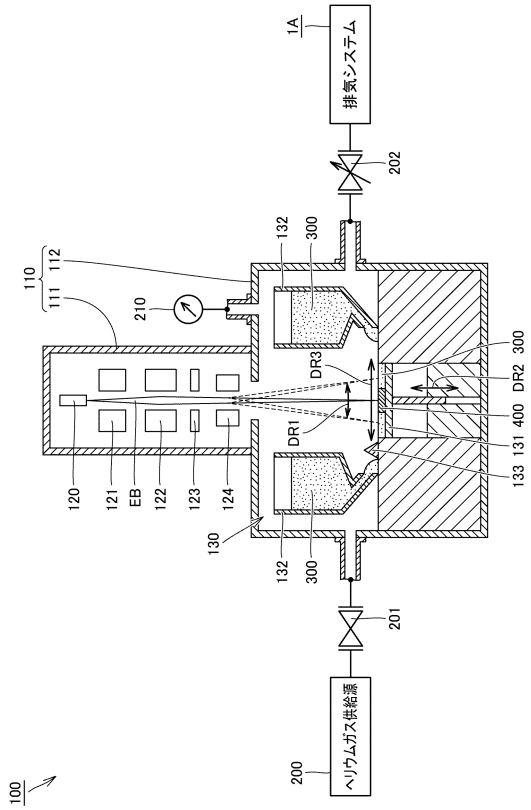
【符号の説明】

【０２０３】

１Ａ～１Ｅ　排気システム、１０Ａ～１０Ｃ　複合分子ポンプ、１０ａ　ターボ分子ポンプ、１０ｂ　ねじ溝真空ポンプ、１１　ベース、１２　ステータ、１２Ａ　外側ステータ部、１２Ｂ　内側ステータ部、１２ａ　ねじ溝、１２ａ１　一次側ねじ溝部、１２ａ２　二次側ねじ溝部、１３　ケーシング、１３ａ　スペーサ兼支持部材、１４　ロータ、１４ａ　上部側ロータ部、１４ｂ　下部側ロータ部、１５　ロータ駆動機構、１５ａ　ハウジング、１５ｂ　回転シャフト、１６　動翼、１７　静翼、１８　第１排気管、１９　第２排気管、２０　補助真空ポンプ、３０　三方弁、４０　オリフィス、５０　ブースタ真空ポンプ、１００　電子ビーム積層造形装置、１１０　チャンバ、１１１　第１チャンバ部、１１２　第２チャンバ部、１２０　電子銃、１２１　ビームアライメント、１２２　集束レンズ、１２３　対物レンズ、１２４　偏光器、１３０　積層造形部、１３１　ステージ、１３２　ホッパ、１３３　レーキ、２００　ヘリウムガス供給源、２０１　開閉弁、２０２　調整弁、２１０　真空計、３００　金属粉末、４００　金属造形物、ＩＰ　吸気ポート、ＯＰ１　第１排気ポート、ＯＰ２　第２排気ポート、ＩＬ１　第１吸気口、ＯＬ１　第１排気口、ＩＬ２　第２吸気口、ＯＬ２　第２排気口、ＩＬ３　第３吸気口、ＯＬ３　第３排気口、ＩＬ４　第４吸気口、ＯＬ４　第４排気口、ＯＬ５　中間排気口、Ｐ１　第１ポート、Ｐ２　第２ポート、Ｐ３　第３ポート、ＥＰ１　第１排気経路、ＥＰ２　第２排気経路、ＥＢ　電子ビーム。

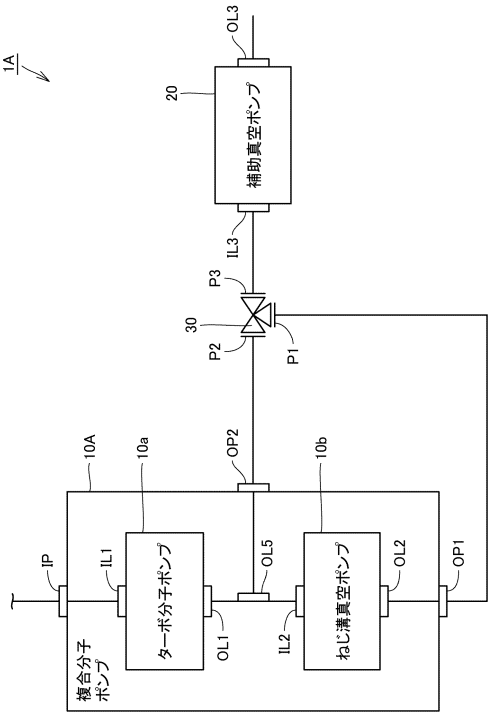
【図１】

図1



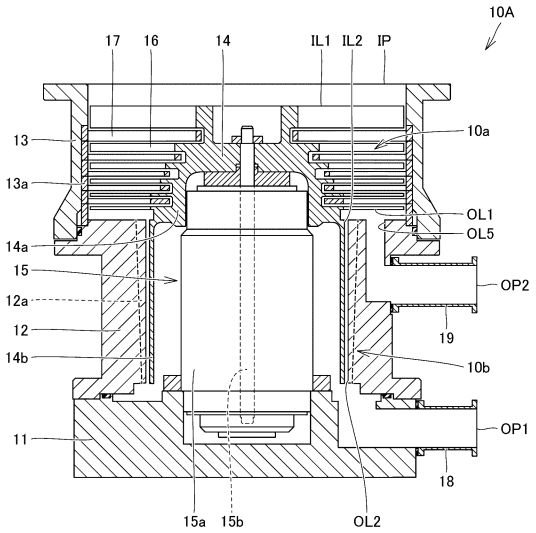
【図２】

図2



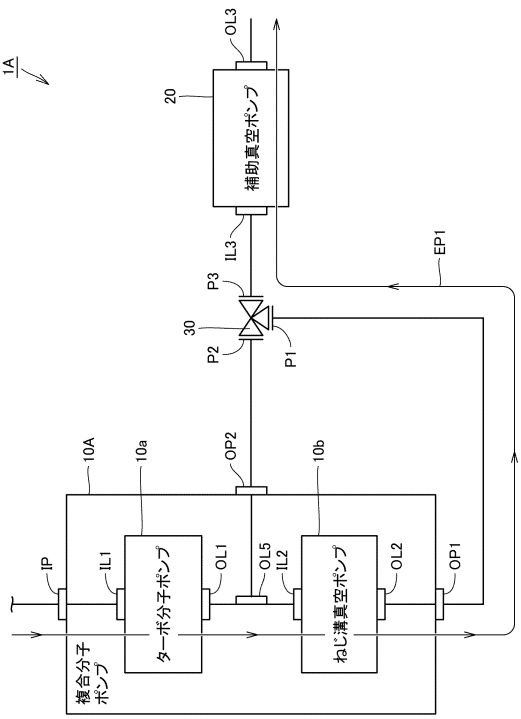
【図３】

図3



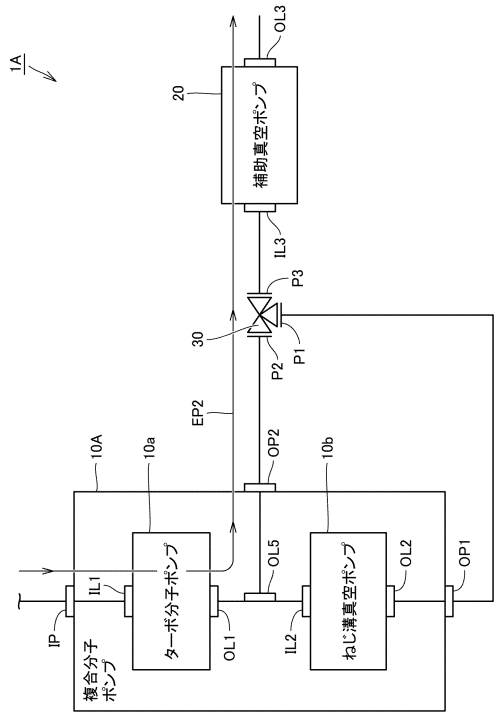
【図４】

図4



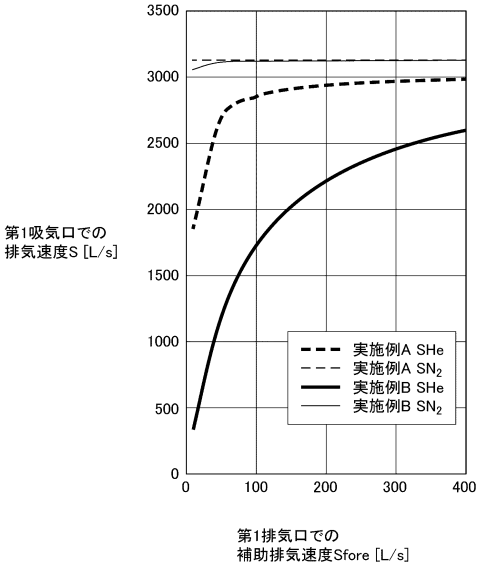
【図５】

図5



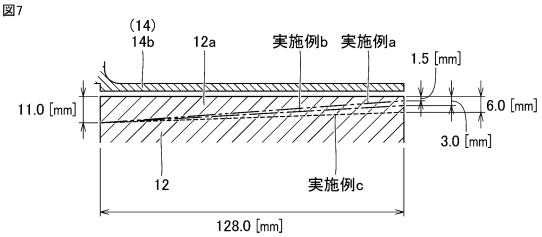
【図６】

図6



【図７】

図7



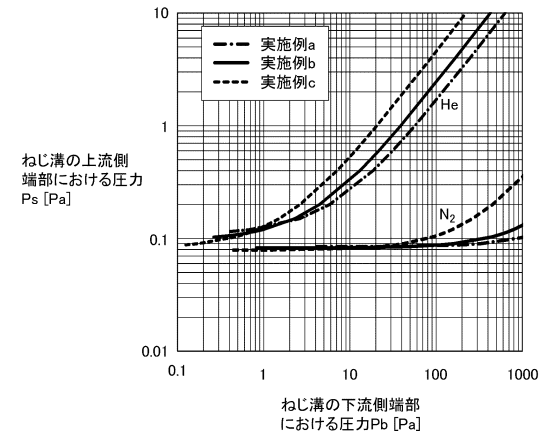
【図８】

図8

	ねじ溝の深さ [mm]		ねじ溝の軸長 [mm]	ねじ溝の深さの勾配 [−]
	上流側端部	下流側端部		
実施例a	11.0	1.5	128.0	0.074
実施例b	11.0	3.0	128.0	0.063
実施例c	11.0	6.0	128.0	0.039
実施例d	12.56	6.0	168.0	0.039

【図９】

図9



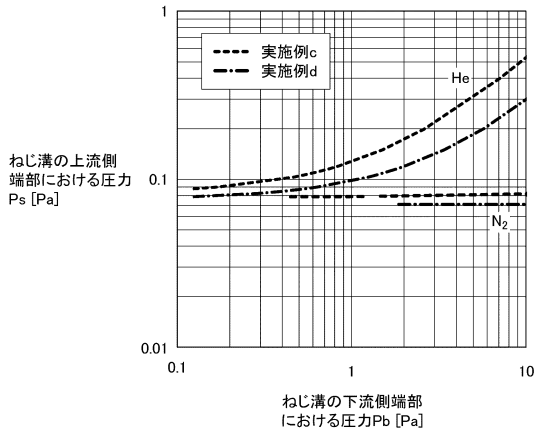
【図１０】

図10

	ねじ溝の下流側端部における圧力 Pb [Pa]	ねじ溝の上流側端部における圧力 Ps [Pa]	第1排気口での補助排気速度 Sfore [L/s]	第1吸気口での Heに対する排気速度 SHe [L/s]
実施例a	0.2	0.116	156	2060
実施例b	0.2	0.103	176	2150
実施例c	0.2	0.091	199	2230

【図１１】

図11



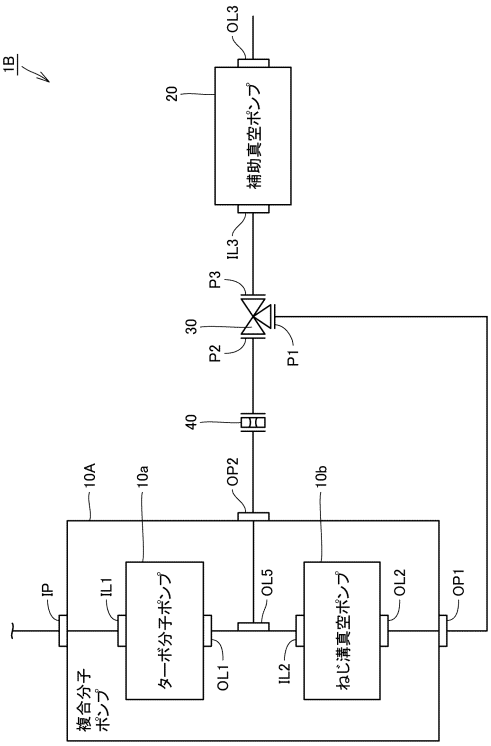
【図１２】

図12

	ねじ溝の下流側端部における圧力 Pb [Pa]	ねじ溝の上流側端部における圧力 Ps [Pa]	第1排気口での補助排気速度 Sfore [L/s]	第1吸気口でのHeに対する排気速度 SHe [L/s]
実施例c	0.2	0.091	199	2230
実施例d	0.2	0.081	225	2300

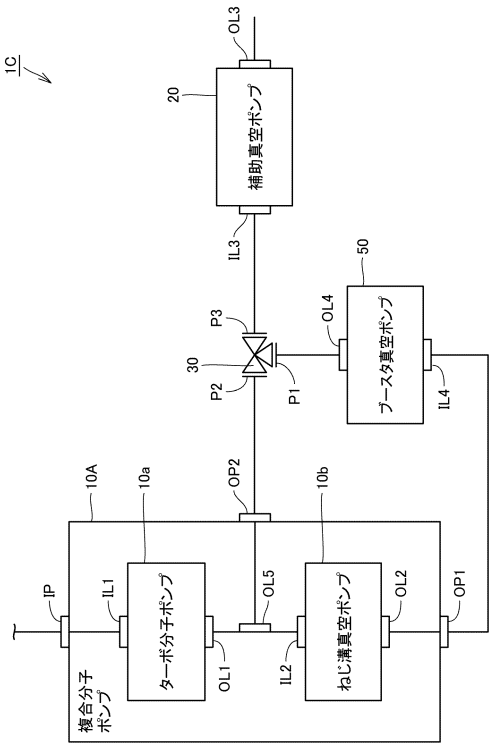
【図１３】

図13



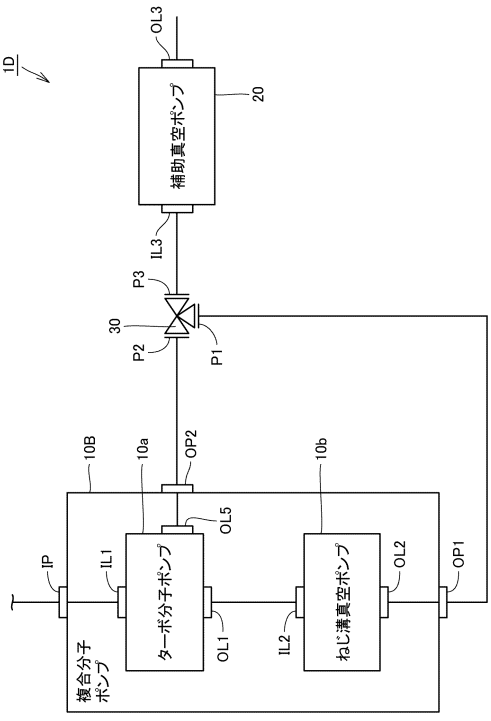
【図１４】

図14



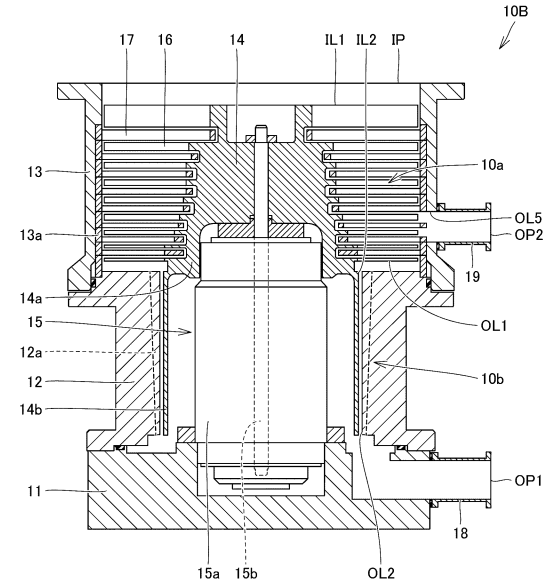
【図１５】

図15



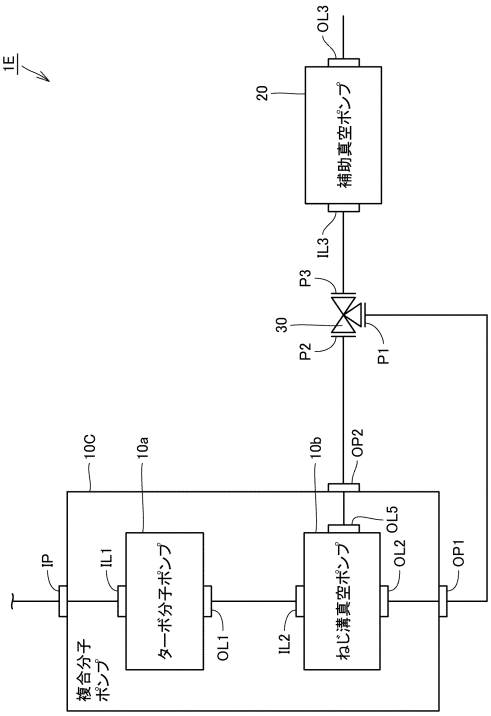
【図１６】

図16



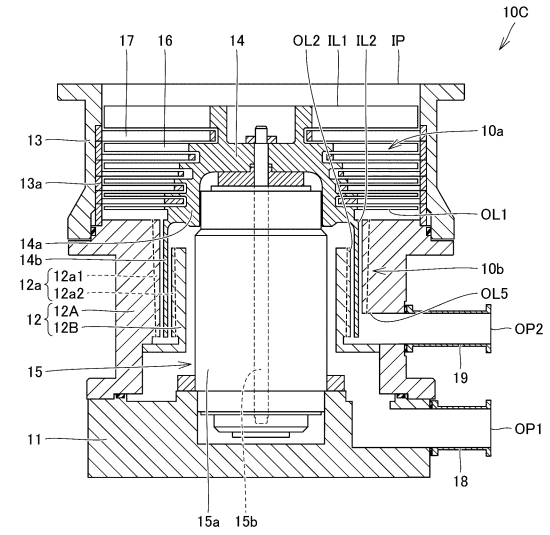
【図１７】

図17



【図１８】

図18



フロントページの続き

(51)Int.Cl. FI
B22F 3/105

(56)参考文献 特開２００５－１９４９２１（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－３４９４６４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－０２０５２０（ＪＰ，Ａ）
特開２００６－２９１７９４（ＪＰ，Ａ）
特開平１０－０１８９９１（ＪＰ，Ａ）
特表２０１３－５０１８８６（ＪＰ，Ａ）
特表２０１５－５０７０９２（ＪＰ，Ａ）
特表２０１０－５２６６９４（ＪＰ，Ａ）
特開２０１０－２６５５２１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｆ０４Ｄ １９／０４
Ｆ０４Ｂ ３７／１６
Ｂ２２Ｆ ３／１０５