(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2016 220 772 A1** 2017.05.11

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 220 772.5**
(22) Anmeldetag: **21.10.2016**
(43) Offenlegungstag: **11.05.2017**

(51) Int Cl.: ***F01N 3/10*** (2006.01)
F01N 5/02 (2006.01)
F02M 26/06 (2016.01)
F03G 7/08 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2015-219962 09.11.2015 JP

(71) Anmelder:
NGK Insulators, Ltd., Nagoya-shi, Aichi-pref., JP

(74) Vertreter:
MERH-IP Matias Erny Reichl Hoffmann Patentanwälte PartG mbB, 80336 München, DE

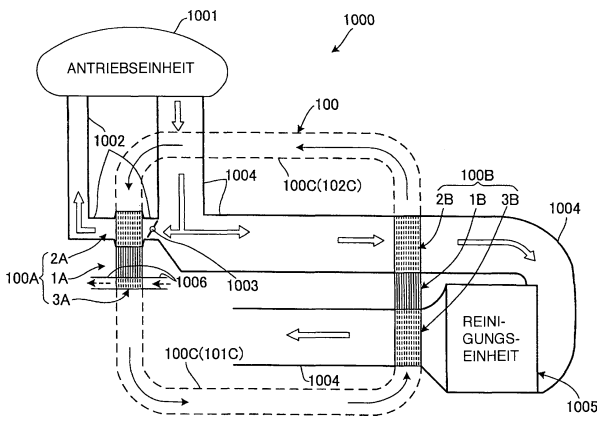
(72) Erfinder:
Kasai, Yoshiyuki, Nagoya-shi, Aichi-pref., JP; Miyairi, Yukio, Nagoya-shi, Aichi-pref., JP; Miwa, Shinichi, Nagoya-shi, Aichi-pref., JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Abgassystem**

(57) Zusammenfassung: Bereitgestellt wird ein Abgassystem, welches in der Lage ist, sowohl den aktiven Zustand des Katalysators aufrechtzuerhalten als auch Energie zu sparen. Ein Abgassystem enthält: eine Abgasleitung 1004, welche einen Abgasweg des Abgases zur Atmosphäre definiert; eine Rückführungsleitung 1002, welche einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung 1004 strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, zu einer Antriebseinheit 1001 zurückzuströmen; eine Reinigungseinheit 1005, welche das Abgas mittels eines Katalysators reinigt; und eine Heizvorrichtung 100, welche das Abgas vor der Reinigung erwärmt, um die Reinigungsfähigkeit des Katalysators zu aktivieren. Die Heizvorrichtung 100 enthält: einen Schallwellengenerator 100A, welcher durch Aufnehmen von Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung 1002 strömenden Abgas und durch Abgeben der Wärme an ein Arbeitsfluid, um das Arbeitsfluid zum Schwingen zu bringen, Schallwellen erzeugt, eine Übertragungsleitung 100C, welche Schallwellen überträgt, und einen Wärmeübertragungsteil, welcher im Abgasweg in der Ausströmrichtung sowohl an einer Position vor als auch an einer Position nach der Reinigungseinheit 1005 mit der Abgasleitung 1004 gekoppelt ist, wobei der Wärmeübertragungsteil mittels Schallwellen Wärme aus dem Abgas in der durch die stromabwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung 1004 in das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung 1004 überträgt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Anmeldung fußt auf der JP 2015-219962, eingereicht am 9. November 2015 beim japanischen Patentamt, deren gesamter Inhalt durch Verweis hierin einbezogen wird.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft ein mit einer Antriebseinheit, welche Kraftstoff verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während sie gleichzeitig Abgas erzeugt, verbundenes Abgassystem.

Beschreibung des Stands der Technik

[0003] Einhergehend mit einem in letzter Zeit gestiegenen Umweltbewusstsein in der gesamten Gesellschaft wurden auf dem technischen Gebiet der Erzeugung von Leistung durch Verbrennen von Kraftstoff (z. B. Kraftfahrzeugmotoren) verschiedene Verfahren entwickelt, um schädliche Bestandteile wie Stickstoffoxide aus Abgas, welches beim Verbrennen des Kraftstoffs erzeugt wird, zu entfernen. Eine solche Entfernung schädlicher Bestandteile aus Abgas erfolgt typischerweise mittels einer durch einen Katalysator bewirkten chemischen Reaktion (z. B. Reduktion oder Oxidation) der schädlichen Bestandteile, um die schädlichen Bestandteile in andere, relativ unschädliche Bestandteile umzuwandeln. Viele solcher Katalysatoren haben eine Eigenschaft, ihre Entfernungsfunktion bezüglich der schädlichen Bestandteile zu aktivieren, indem sie erwärmt werden. Der einfachste Weg ist, als Wärmequelle zum Erwärmen des Katalysators das zur Entfernungsbehandlung zum Katalysator strömende Abgas zu nutzen.

[0004] Infolge zunehmender Nachfrage nach Energieeinsparung (z. B. Ressourcenschonung) verbesserte sich unterdessen bei den neuesten Antriebseinheiten der Leistungserzeugungs-Wirkungsgrad (die aus einer Kraftstoffeinheit erzeugte Antriebsenergie), und daher geht die Wärmemenge des in solchen Antriebseinheiten aus einer Kraftstoffeinheit erzeugten Abgases immer mehr zurück. Dies erfordert irgendein Verfahren zum Erwärmen des zum Katalysator strömenden Abgases, um das Abgas auf hohen Temperaturen zu halten und entsprechend den aktiven Zustand des Katalysators aufrechtzuerhalten.

[0005] Eines der Verfahren zum Erhöhen der Abgastemperatur kann daraus bestehen, einfach die zum Erzeugen einer vordefinierten Menge Antriebsenergie durch Verbrennen des Kraftstoffs verwendete Kraftstoffmenge pro Takt zu erhöhen, um die neben der Antriebsenergie erzeugte Wärmemenge zu erhöhen. Dieses Verfahren erfordert jedoch grundsätzlich, den erhöhten Kraftstoffzustand pro Takt fortzusetzen, um den aktiven Zustand des Katalysators aufrechtzuerhalten. Da sich dies sehr nachteilig auf den Leistungserzeugungs-Wirkungsgrad auswirkt, ist dieses Verfahren nicht praktisch. Als ein weiteres Verfahren, um Abgas auf hohen Temperaturen zu halten, wird vorgeschlagen, für eine Entfernungsbehandlung zum Katalysator strömendes Abgas durch eine eine Wabenstruktur mit Elektrode enthaltende Heizung zu erwärmen (siehe zum Beispiel Patentdokument 1).

[Patentdokument 1] JP-B-2931362

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0006] Im Allgemeinen nutzt das Verfahren von Patentdokument 1 einen Teil der Verbrennungsenergie von Kraftstoff (z. B. einen Teil der aus einer Batterie unter Verwendung der erzeugten Leistung erzeugten Elektrizität) als der Heizung zugeführte Elektrizität, und deshalb verschlechtert sich unvermeidlich der Leistungserzeugungs-Wirkungsgrad. Wenn eine Leistungsquelle separat bereitgestellt wird, ist zusätzliche Elektrizität erforderlich. So kann das Verfahren von Patentdokument 1 nicht in jedem Fall die Nachfrage nach Energieeinsparung befriedigen. Somit sind weitere Verbesserungen erwünscht, um die sowohl für das Aufrechterhalten des aktiven Zustands des Katalysators als auch für das Energiesparen geeigneten Verfahren zustandezubringen.

[0007] In Anbetracht eines solchen Sachverhalts strebt die vorliegende Erfindung an, ein Abgassystem bereitzustellen, welches in der Lage ist, den aktiven Zustand des Katalysators aufrechtzuerhalten und Energie zu sparen.

[0008] Um die obigen Probleme zu lösen, stellt die vorliegende Erfindung das folgende Abgassystem bereit.

[1] Abgassystem, verbunden mit einer Antriebseinheit, welche Kraftstoff verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während sie gleichzeitig Abgas erzeugt, wobei das Abgassystem enthält: eine Abgasleitung, welche mit der Antriebseinheit verbunden ist und einen Abgasweg des durch die Antriebseinheit erzeugten Abgases zur Atmosphäre definiert; eine Rückführungsleitung, welche im Abgasweg mit der Abgasleitung verbunden ist und einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, als ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen zur Antriebseinheit zurückzuströmen; eine Reinigungseinheit, welche im Abgasweg angeordnet ist und das Abgas, welches durch die Abgasleitung in die Reinigungseinheit strömt, ohne in die Rückführungsleitung zu strömen, mittels eines Katalysators, dessen Abgasreinigungsfähigkeit aktiviert wird, indem dieser erwärmt wird, reinigt; und eine Heizvorrichtung, welche das Abgas erwärmt,

bevor es in die Reinigungseinheit strömt, um den Katalysator in der Reinigungseinheit zu erwärmen und die Abgasreinigungsfähigkeit des Katalysators zu aktivieren, wobei die Heizvorrichtung enthält: einen Schallwellengenerator, welcher mit der Rückführungsleitung gekoppelt ist und durch Aufnehmen von Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung zurückströmenden Abgas und durch Abgeben der Wärme an ein Arbeitsfluid, welches schwingt, um Schallwellen zu übertragen, um das Arbeitsfluid zum Schwingen zu bringen, Schallwellen erzeugt, eine Übertragungsleitung, welche mit dem Schallwellengenerator verbunden ist und durch eine Schwingung des Arbeitsfluids Schallwellen, welche durch den Schallwellengenerator erzeugt werden, überträgt, und einen Wärmeübertragungsteil, welcher mit der Übertragungsleitung verbunden und sowohl an einer stromaufwärts liegenden Position im Abgasweg in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit als auch an einer stromabwärts liegenden Position in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit mit der Abgasleitung gekoppelt ist, wobei der Wärmeübertragungsteil mittels durch die Übertragungsleitung übertragener Schallwellen Wärme aus dem Abgas in der durch die stromabwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung in das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung überträgt.

[2] Abgassystem nach [1], wobei der Schallwellengenerator enthält: ein erstes Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement, welches eine eine Vielzahl von Zellen, welche sich zwischen zwei Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements erstrecken und welche im Innern mit zum Übertragen von Schallwellen schwingendem Arbeitsfluid gefüllt sind, definierende Trennwand aufweist, wobei das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement zwischen der Trennwand und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Schwingungen des Arbeitsfluids resultierende Schallwellenenergie ineinander umwandelt; und einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher, welcher mit der Rückführungsleitung gekoppelt und nahe einer Stirnseite der beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet ist, wobei der hochtemperaturseitige Wärmetauscher Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung strömenden Abgas aufnimmt und die Wärme an die eine Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements abgibt, und einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher, welcher nahe der anderen Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet ist, wobei der niedertemperaturseitige Wärmetauscher Wärme aus der anderen Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements aufnimmt und die Wärme an ein vordefiniertes Kühlmittel abgibt, wobei ein Ende der Übertragungsleitung mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher verbunden ist und die Übertragungsleitung Schallwellen, welche infolge eines Temperaturunterschieds zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements durch das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement erzeugt werden, vom einen Ende der Übertragungsleitung zum anderen Ende der Übertragungsleitung überträgt, und wobei der Wärmeübertragungsteil enthält: ein zweites Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement, welches eine eine Vielzahl von Zellen, welche sich zwischen zwei Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements erstrecken und welche im Innern mit zum Übertragen von Schallwellen schwingendem Arbeitsfluid gefüllt sind, definierende Trennwand aufweist, wobei das zweite Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement zwischen der Trennwand und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Schwingungen des Arbeitsfluids resultierende Schallwellenenergie ineinander umwandelt; einen stromabwärts liegenden Wärmetauscher, welcher mit dem anderen Ende der Übertragungsleitung verbunden ist, welcher nahe einer Stirnseite der beiden Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement angeordnet ist und welcher an der nach der Reinigungseinheit liegenden Position mit der Abgasleitung gekoppelt ist, wobei der stromabwärts liegende Wärmetauscher Wärme aus dem Abgas in der durch die stromabwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung aufnimmt und die Wärme an die eine Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements abgibt; und einen stromaufwärts liegenden Wärmetauscher, welcher nahe der anderen Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet und an der vor der Reinigungseinheit liegenden Position mit der Abgasleitung gekoppelt ist, wobei der stromaufwärts liegende Wärmetauscher Wärme aus der anderen Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements aufnimmt und die Wärme an das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung abgibt.

[3] Abgassystem nach [2], wobei mindestens eines des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements und des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements eine aus Cordierit bestehende Wabenstruktur enthält.

[4] Abgassystem nach [2] oder [3], wobei die Antriebseinheit ein Dieselmotor ist, welcher Leichtöl verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während er gleichzeitig Stickstoffoxide enthaltendes Abgas erzeugt, das Abgassystem außerdem eine Harnstoffeinspritzvorrichtung enthält, welche Harnstoff in das Abgas einspritzt, bevor es in die Reinigungseinheit strömt,

die Reinigungseinheit eine SCR-Katalysatoreinheit enthält, welche unter Verwendung von durch Hydrolyse des durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung eingespritzten Harnstoffs erzeugtem Ammoniak und des Katalysators zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Katalysators) Stickstoffoxide zu Wasser und Stickstoff reduziert, und der stromaufwärts liegende Wärmetauscher an einer Position wie der stromaufwärts liegenden Position in der Ausströmrichtung vor einer Position, an welcher die Harnstoffeinspritzvorrichtung Harnstoff einspritzt, Wärme an das Abgas abgibt.

[5] Abgassystem nach [2] oder [3], wobei die Antriebseinheit ein Ottomotor ist, welcher Benzin verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während er gleichzeitig Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid enthaltendes Abgas erzeugt, und die Reinigungseinheit eine Drei-Wege-Katalysatoreinheit enthält, welche mittels eines Drei-Wege-Katalysators Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid entfernt.

[6] Abgassystem nach einem von [1] bis [5], wobei die Übertragungsleitung eine erste Leitung, welche im Schallwellengenerator erzeugte Schallwellen zum Wärmeübertragungsteil überträgt, sowie einen zweiten Teil enthält, welcher Schallwellen, welche den Wärmeübertragungsteil durchlaufen haben, zum Schallwellengenerator überträgt.

[0009] In dem Abgassystem der vorliegenden Erfindung werden auf der Grundlage von Wärme der Rückführungsleitung Schallwellen erzeugt, und mittels der Schallwellen wird Wärme des Abgases in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit in das Abgas in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit übertragen. Eine solche Wärmeübertragung erwärmt das Abgas in der Ausströmrichtung stromaufwärts. Auf diese Weise nutzt das Abgassystem der vorliegenden Erfindung die Warme des Abgases in der Rückführungsleitung als Energiequelle und erwärmt es den Katalysator, indem es mittels eines sogenannten thermoakustischen Effekts Wärme des Abgases von der stromabwärts liegenden Seite der Reinigungseinheit zu deren stromaufwärts liegender Seite pumpt, wodurch der Aktivierungszustand des Katalysators aufrechterhalten und gleichzeitig Energie gespart werden kann.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0010] **Fig.** 1 zeigt schematisch die Konfiguration einer grundlegenden Ausführungsform eines Abgassystems der vorliegenden Erfindung;

[0011] **Fig.** 2 zeigt schematisch ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators in **Fig.** 1;

[0012] **Fig.** 3 ist eine Schnittansicht des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers entlang der Linie A-A in **Fig.** 2;

[0013] **Fig.** 4 ist eine Schnittansicht des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements in einer Ebene senkrecht zur Ausdehnungsrichtung der Zellen des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements in **Fig.** 2;

[0014] **Fig.** 5 zeigt schematisch eine Konfiguration eines speziellen Beispiels des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1, enthaltend einen Dieselmotor als die Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1;

[0015] **Fig.** 6 zeigt schematisch eine Konfiguration eines speziellen Beispiels des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1, enthaltend einen Ottomotor als die Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0016] Im Folgenden werden nun anhand der Zeichnungen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die folgenden Ausführungsformen beschränkt. Die vorliegende Erfindung ist so zu verstehen, dass sie die folgenden Ausführungsformen enthält, an welchen auf der Grundlage der üblichen Kenntnisse eines Fachmanns Konstruktionsänderungen und -verbesserungen nach Bedarf vorgenommen werden, ohne vom Schutzumfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0017] **Fig.** 1 zeigt schematisch die Konfiguration einer grundlegenden Ausführungsform eines Abgassystems der vorliegenden Erfindung.

[0018] Ein in **Fig.** 1 gezeigtes Abgassystem **1000** ist mit einer Antriebseinheit **1001** verbunden, welche Kraftstoff verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während sie gleichzeitig Abgas erzeugt. Zu Beispielen einer solchen Antriebseinheit **1001** zählen ein mit Leichtöl betriebener Dieselmotor und ein mit Benzin betriebener Ottomotor. Von diesen Motoren abgesehen, zählen zu Beispielen der Antriebseinheit mit LPG (Flüssiggas), Erdgas und Ethanol sowie mit gereinigten Stoffen und verarbeiteten Stoffen dieser Kraftstoffe betriebene Antriebseinheiten.

[0019] Durch die Antriebseinheit **1001** beim Verbrennen von Kraftstoff erzeugtes Abgas enthält umweltschädliche Bestandteile. Zu Beispielen solcher schädlichen Bestandteile zählen Stickstoffoxide, welche umweltschädlich sind. Von Stickstoffoxiden abgesehen, zählen zu diesen Beispielen Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe, welche ebenfalls umweltschädliche chemische Stoffe sind.

[0020] Das Abgassystem **1000** hat eine Funktion zum Entfernen dieser schädlichen Bestandteile aus dem Abgas und anschließenden Ausstoßen des Gases in die Atmosphäre. Das Abgassystem **1000** enthält eine Abgasleitung **1004**, eine Rückführungsleitung **1002**, eine Reinigungseinheit **1005** und eine Heizvorrichtung **100**.

[0021] Die Abgasleitung **1004** ist mit der Antriebseinheit **1001** verbunden und ist eine Leitung, welche einen Abgasweg in der Antriebseinheit **1001** erzeugten Abgases in die Atmosphäre definiert.

[0022] Die Rückführungsleitung **1002** ist mit der Abgasleitung **1004** in diesem Abgasweg verbunden und ist eine Leitung, welche einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung **1004** strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, als ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen zur Antriebseinheit **1001** zurückzuströmen. Hierin wird die Menge des zur Antriebseinheit **1001** zurückströmenden Abgases aus dem gesamten aus der Antriebseinheit **1001** ausgestoßenen Abgas durch eine Klappe **1003** geregelt. **Fig.** 1 zeigt mit breiten Pfeilen sowohl den Strom des in der Antriebseinheit **1001** erzeugten und durch die Abgasleitung **1004** strömenden Abgases, welches dann in die Atmosphäre ausgestoßen wird, als auch den Strom des von dem durch die Abgasleitung **1004** strömenden Abgas abgezweigten und durch die Rückführungsleitung **1002** zur Antriebseinheit **1001** zurückströmenden Abgases, welches dann ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen wird. Das Ansauggas zum Verbrennen ist ein sauerstoffhaltiges Gas, und es kann typischerweise die Luft in der Atmosphäre als seinen Hauptbestandteil enthalten. Das Ansauggas, in welchem der Teil des Abgases mit der Luft in der Atmosphäre oder dergleichen vermischt ist, hat, verglichen mit überhaupt kein Abgas enthaltendem Ansauggas, eine relativ niedrige Sauerstoffdichte im Ansauggas, und deshalb verbrennt der Kraftstoff sanft, so dass der Temperaturanstieg infolge des Verbrennens relativ gering ist. Ferner macht ein solches Vermischen des Teils des Abgases die Dichte von Kohlendioxid, dessen Temperatur schwerer zu erhöhen ist als diejenige von Sauerstoff, relativ höher als diejenige von überhaupt kein Abgas enthaltendem Ansauggas. Dies ist ein weiterer Grund, warum der Anstieg der Temperatur infolge des Verbrennens relativ gering ist. Im Allgemeinen erzeugt eine höhere Temperatur während des Verbrennens mehr Stickstoffoxide und kann das Abgassystem **1000** die Erzeugung von Stickstoffoxiden unterbinden, indem es den Teil des Abgases als einen Teil des Ansauggases zurück zur Antriebseinheit **1001** leitet. Ein solches Schema des Zurückleitens des Teils des Abgases als eines Teils des Ansauggases zur Antriebseinheit **1001**, um die Erzeugung von Stickstoffoxiden zu unterbinden, wird als Abgasrückführung (AGR) bezeichnet.

[0023] Die Reinigungseinheit **1005** reinigt das Abgas, welches durch die Abgasleitung **1004** in die Reinigungseinheit **1005** strömt, ohne in die Rückführungsleitung **1002** zu strömen, und die Reinigungseinheit **1005** ist im Abgasweg des Abgases vorgesehen. Die Reinigungseinheit **1005** enthält einen Katalysator, welcher seine Abgasreinigungsfähigkeit aktiviert, indem er erwärmt wird, und die Reinigung des Abgases erfolgt mit diesem Katalysator. Hier bedeutet Abgasreinigung eine Entfernung schädlicher Bestandteile wie Stickstoffoxide im Abgas, und die Entfernung schädlicher Bestandteile erfolgt durch eine chemische Reaktion (z. B. Reduktion oder Oxidation) der schädlichen Bestandteile mit dem Katalysator, um die schädlichen Bestandteile in relativ unschädliche andere Bestandteile umzuwandeln. Zu Beispielen eines solchen Katalysators zählt zum Beispiel ein Katalysator zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Katalysator) zum Begünstigen einer Reduktionsreaktion von Stickstoffoxiden unter Verwendung von Ammoniak als Reduktionsmittel für einen Abgasreinigungskatalysator in einem Dieselmotor. Speziell ist ein Oxide von Vanadium, Molybdän, Wolfram oder dergleichen und Zeolith enthaltender SCR-Katalysator als Beispiel zu nennen. Als Abgasreinigungskatalysator in einem Ottomotor ist ein Elemente der Platingruppe wie Platin, Palladium und Rhodium enthaltender Drei-Wege-Katalysator als Beispiel zu nennen. Die Reinigungseinheit **1005** kann eine herkömmlicherweise bekannte Konfiguration haben (siehe z. B. Patentdokument 1). Zum Beispiel kann sie so konfiguriert sein, dass der oben erwähnte Katalysator auf den Innenwandflächen einer Vielzahl von Zellen einer metallenen oder keramischen Wabenstruktur angeordnet ist.

[0024] Obwohl in **Fig.** 1 nicht gezeigt, kann eine Filtervorrichtung im Abgasweg in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit **1005** angeordnet sein, wobei die Filtervorrichtung im Abgas enthaltene Partikel entfernt (siehe z. B. die später beschriebene **Fig.** 5). Die Filtervorrichtung fängt Partikel physisch durch Adsorption oder dergleichen ein. Obwohl das Reinigungsschema der Filtervorrichtung sich von demjenigen der Reinigungseinheit **1005** unterscheidet, sind Partikel im Abgas ebenfalls umweltschädliche Stoffe und kann die Entfernung solcher Partikel die Abgasreinigung weiter begünstigen. Wenn die Menge von Partikeln im Abgas nicht sehr groß ist, ist eine solche Filtervorrichtung möglicherweise nicht erforderlich. Überdies können, obwohl in **Fig.** 1 nicht gezeigt, irgendwelche Reinigungseinheiten, welche jeweils eine derjenigen der Reinigungseinheit **1005** ähnliche Reinigungsfähigkeit aufweisen, separat im Abgasweg in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit **1005** angeordnet sein (siehe z. B. die später beschriebene **Fig.** 6). In der folgenden Beschreibung, wenn solche Reinigungseinheiten separat angeordnet sind, ist die Temperatur des in solche Reinigungseinheiten strömenden Abgases ausreichend hoch, so

dass die Reinigungsfähigkeit solcher separat angeordneten Reinigungseinheiten ausreichend realisiert werden kann.

[0025] Die Heizvorrichtung **100** erwärmt Abgas, bevor es in die Reinigungseinheit **1005** strömt, um den in der Reinigungseinheit **1005** enthaltenen Katalysator zu erwärmen und die Abgasreinigungsfähigkeit des Katalysators zu aktivieren. Die Heizvorrichtung enthält einen Schallwellengenerator **100A**, eine Übertragungsleitung **100C** und einen Wärmeübertragungsteil **100B**.

[0026] Der Schallwellengenerator **100A** erzeugt Schallwellen durch Aufnehmen von Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung **1002** zurückströmenden Abgas und durch Abgeben der Wärme an das Arbeitsfluid, welches eine Eigenschaft hat, zu schwingen, um Schallwellen zu übertragen, um das Arbeitsfluid zum Schwingen zu bringen. Der Schallwellengenerator **100A** ist mit der Rückführungsleitung **1002** gekoppelt.

[0027] Als das Arbeitsfluid kann eines in der Form eines Gases mindestens in dem Temperaturbereich um die Antriebseinheit **1001** verwendet werden. Dies liegt daran, dass Gas im Allgemeinen eine niedrige Viskosität und eine hohe Fluidität hat und daher eine ausreichende Schallwellenübertragungsfunktion realisieren kann. Die Gasarten, welche zum Beispiel Luft in der Atmosphäre sein können, sind nicht besonders beschränkt. Hier ist zu beachten, dass reaktionsfreudiges Gas häufig chemische Veränderungen bewirkt und seine Funktion als das Schallwellenübertragungsmedium sich leicht verschlechtert und deshalb ein Gas mit geringer Reaktionsfähigkeit bevorzugt wird. Das Gas hat vorzugsweise eine niedrigere Viskosität, weil ein solches Gas die viskositätsbedingte Dämpfung von Schallwellenenergie vermeiden kann. Zum Beispiel ist ein Edelgas besonders zu bevorzugen, weil es insbesondere eine geringe Reaktionsfähigkeit hat und eine niedrige Viskosität hat.

[0028] Die Übertragungsleitung **100C** ist mit dem Schallwellengenerator **100A** verbunden und ist eine Leitung zur Übertragung im Schallwellengenerator **100A** durch die Schwingung des Arbeitsfluids erzeugter Schallwellen. Die Übertragungsleitung **100C** ist ebenso mit dem später beschriebenen Wärmeübertragungsteil **100B** verbunden, und deshalb werden Schallwellen vom Schallwellengenerator **100A** über die Übertragungsleitung **100C** zum Wärmeübertragungsteil **100B** übertragen.

[0029] **Fig.** 1 zeigt die zwei Teile, nämlich einen ersten Teil **101C** unten in der Zeichnung und einen zweiten Teil **102C** oben in der Zeichnung, welche als Ganzes eine schleifenartige Leitung bilden, enthaltende Übertragungsleitung **100C**. Der erste Teil **101C** im unteren Teil der Zeichnung hat die oben erwähnte Funktion der Übertragungsleitung **100C**, Schallwellen vom Schallwellengenerator **100A** zum Wärmeübertragungsteil **100B** zu übertragen, und der zweite Teil **102C** hat eine Funktion, Schallwellen, welche den Wärmeübertragungsteil **100B** durchlaufen haben, zum Schallwellengenerator **100A** zu übertragen. Die Übertragungsleitung **100C** in einer solchen Form kann immer wieder dasselbe Arbeitsfluid (z. B. eine spezielle Art von Arbeitsfluid) als das Schallwellenübertragungsmedium verwenden. Die Zeichnung zeigt den Strom des so zirkulierenden Arbeitsfluids mit durchgezogenen Pfeilen. Hierin kann bei Verwendung der Umgebungsluft als Arbeitsfluid die Übertragungsleitung **100C** mit nur dem ersten Teil **101C** unten in der Zeichnung konfiguriert sein und ist der zweite Teil **102C** oben in der Zeichnung nicht unbedingt erforderlich, da die in den ersten Teil **101C** angesaugte Umgebungsluft unverändert als das Arbeitsfluid verwendet werden kann.

[0030] Der Wärmeübertragungsteil **100B** ist mit der Übertragungsleitung **100C** verbunden wie oben erwähnt und ist außerdem sowohl an einer Position im Abgasweg in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit **1005** als auch an einer Position in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit **1005** mit der Abgasleitung **1004** gekoppelt. Dieser Wärmeübertragungsteil **100B** hat eine Funktion, Wärme des Abgases in der durch die stromabwärts liegende Position wie oben erwähnt verlaufenden Abgasleitung **1004** mittels durch die Übertragungsleitung **100C** übertragener Schallwellen in das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position wie oben erwähnt verlaufenden Abgasleitung **1004** zu übertragen.

[0031] Wie oben beschrieben, werden Schallwellen im Schallwellengenerator **100A** des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1 auf der Grundlage der Wärme der Rückführungsleitung **1002** erzeugt. Dann überträgt der Wärmeübertragungsteil **100B** die Wärme des Abgases auf der in der Ausströmrichtung stromabwärts liegenden Seite der Reinigungseinheit **1005** mittels der Schallwellen in das Abgas auf der in der Ausströmrichtung stromaufwärts liegenden Seite der Reinigungseinheit, um das Abgas auf der in der Ausströmrichtung stromaufwärts liegenden Seite zu erwärmen. Der Schallwellengenerator **100A** erzeugt Schallwellen durch Umwandeln von Wärme in Schallwellenenergie infolge eines sogenannten thermoakustischen Effekts. Der Wärmeübertragungsteil **100B** überträgt Wärme durch umgekehrte Umwandlung derselben (Umwandlung von Schallwellenenergie in Warme). Auf diese Weise verwendet das Abgassystem **1000** die Wärme des Abgases in der Rückführungsleitung **1002** als Energiequelle und erwärmt es den Katalysator, indem es die Wärme des Abgases in der Abgasleitung **1004** mittels eines thermoakustischen Effekts von der stromabwärts liegenden Seite der Reinigungseinheit **1005** zur stromaufwärts lie-

genden Seite derselben pumpt. Anders als das Abgas in der Abgasleitung **1004**, welches den Katalysator der Reinigungseinheit **1005** erwärmen muss, braucht das Abgas in der Rückführungsleitung **1002** keine hohen Temperaturen zu haben, und im Hinblick auf eine Senkung der Verbrennungstemperatur der Antriebseinheit **1001** ist es eher vorzuziehen, dass das Abgas dort niedrige Temperaturen hat. Das Abgassystem **1000** erwärmt den Katalysator, indem es die Wärme des Abgases in der Rückführungsleitung **1002**, welche weniger nützlich ist, nutzt, um den aktiven Zustand des Katalysators aufrechtzuerhalten und gleichzeitig Energie zu sparen.

[0032] Im Folgenden werden der Schallwellengenerator **100A** und der Wärmeübertragungsteil **100B** in **Fig.** 1 detailliert beschrieben, wobei auf die Einzelheiten des thermoakustischen Effekts Bezug genommen wird.

[0033] Der Schallwellengenerator **100A** enthält ein erstes Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A**. Das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** enthält eine Vielzahl von (später beschriebenen) Zellen, welche sich zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** erstrecken, und die Vielzahl von Zellen ist mit dem oben erwähnten Arbeitsfluid gefüllt und steht mit der Übertragungsleitung **100C** in Verbindung. Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** und der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** sind nahe den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** angeordnet, wobei das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** dazwischen angeordnet ist. Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** ist mit der Rückführungsleitung **1002** gekoppelt und ist ein Wärmetauscher, welcher Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung **1002** strömenden Abgas aufnimmt und welcher die Wärme an die Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** abgibt. Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** ist ein Wärmetauscher, welcher Wärme aus der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** aufnimmt und die Wärme an ein vordefiniertes Kühlmittel abgibt. Als das vordefinierte Kühlmittel kann eine Flüssigkeit oder ein Gas, welche bzw. welches durch eine mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** gekoppelte Kühlleitung **1006** (deren Strom durch die gestrichelten Pfeile in der Zeichnung veranschaulicht wird) wie in **Fig.** 1 strömt, verwendet werden, wobei die Flüssigkeit oder das Gas eine relativ niedrigere Temperatur als das Abgas in der Rückführungsleitung **1002** hat. Ein spezielles Beispiel des vordefinierten Kühlmittels ist Kühlwasser mit Umgebungstemperaturen. Luft in der Atmosphäre kann als das vordefinierte Kühlmittel verwendet werden, und in diesem Fall wird Wärme aus der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** durch den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** an die Atmosphäre abgegeben. Wenn Luft in der Atmosphäre verwendet wird, ist die Fähigkeit, Wärme aus der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** aufzunehmen, (die Fähigkeit, diese Stirnseite zu kühlen,) geringer als im Fall der Verwendung von Kühlwasser mit Umgebungstemperaturen. Im Gegensatz dazu hat der Fall der Verwendung von Luft in der Atmosphäre einen Vorteil des Wegfalls der Kühlleitung **1006** und der Vorrichtung zum Einspeisen von Kühlwasser in die Kühlleitung **1006**.

[0034] Infolge der Vorgänge des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** und des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3A** wie oben erwähnt kommt es zu einem Temperaturunterschied zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A**, so dass die Stirnseite nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** eine relativ höhere Temperatur als die Stirnseite nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** hat. Ein solcher Temperaturunterschied bringt das Arbeitsfluid in der Vielzahl von Zellen im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** dazu, in der Ausdehnungsrichtung der Zellen zu schwingen zu beginnen, und die Schwingungen werden als Schallwellen nach außerhalb des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** übertragen. Ein solches Phänomen des in Reaktion auf einen gegebenen Temperaturunterschied schwingenden Arbeitsfluids wird als selbsterregte Schwingungen bezeichnet und ist ein herkömmlicherweise wohlbekanntes Phänomen, das auftritt, wenn ein dünnes Rohr mit einem Temperaturgefälle beaufschlagt wird. Ein thermoakustischer Effekt bezieht sich auf die Erzeugung von Schallwellen infolge der aus Wärme resultierenden selbsterregten Schwingungen eines Arbeitsfluids. Im Folgenden wird diese selbsterregte Schwingung kurz beschrieben (zahlreiche Dokumente beschreiben die Einzelheiten, und auch JP-A-2012-237295 zum Beispiel liefert die ausführlichen Beschreibungen derselben).

[0035] Wird ein dünnes Rohr mit einem Temperaturgefälle beaufschlagt, nimmt im Allgemeinen das Arbeitsfluid innerhalb des dünnen Rohrs auf der Hochtemperaturseite Wärme aus der Wandoberfläche des Rohrs auf und dehnt es sich von der Hochtemperaturseite zur Niedertemperaturseite aus. Dann gibt das Arbeitsfluid Wärme an die Wandoberfläche auf der Niedertemperaturseite ab und wird es komprimiert und strömt es dann zurück zur Hochtemperaturseite. Ein solcher Austausch von Wärme mit der Wand-

oberfläche und eine solche Ausdehnung/Komprimierung wiederholen sich, was in einer Schwingung des Arbeitsfluids in der Ausdehnungsrichtung des Rohrs (der Richtung, in welcher sich das Rohr erstreckt) resultiert. Einfach ausgedrückt, eine solche Bewegung des Arbeitsfluids kann als die Bewegung des Arbeitsfluids zum Befördern von Wärme, um das Temperaturgefälle an der Wandoberfläche zu verringern (abzuschwächen), bezeichnet werden. Wie aus dieser Beschreibung ebenfalls hervorgeht, tritt ein solches Phänomen nur auf, wenn das Rohr so dünn ist, dass die thermischen Wirkungen von der Wandoberfläche auf das Arbeitsfluid darin stark sind. Das heißt, wenn das Rohr dicker gemacht wird, nimmt die thermische Wirkung von der Wandoberfläche ab (d. h., kommt sie einem adiabatischen Zustand näher) und tritt daher eine solche selbsterregte Schwingung kaum auf. Dann ist die Dicke des Rohrs ein wichtiger Faktor zum Erzeugen von Schallwellen durch die selbsterregte Schwingung und kann die Dicke des Rohrs auf der Grundlage eines hydraulischen Durchmessers HD, welcher als HD = 4 × S/C definiert ist, wobei S die Querschnittsfläche des Rohrs bezeichnet und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet, quantitativer bewertet werden.

[0036] Da die Vielzahl von Zellen im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** wie oben erwähnt einen ausreichend kleinen hydraulischen Durchmesser HD hat, um eine selbsterregte Schwingung zu erzeugen, tritt infolge des Temperaturunterschieds wie oben erwähnt an den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** eine selbsterregte Schwingung auf. Infolge dieser selbsterregten Schwingung werden Schallwellen erzeugt, welche von der Stirnseite nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** auf der Hochtemperaturseite zu der Stirnseite nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** auf der Niedertemperaturseite laufen. Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** ist mit einem Ende des ersten Teils **101C** der Übertragungsleitung **100C** verbunden, und daher laufen die erzeugten Schallwellen durch den ersten Teil **101C** der Übertragungsleitung **100C** zum Wärmeübertragungsteil **100B**.

[0037] Der Wärmeübertragungsteil **100B** enthält ein zweites Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1B**, einen stromaufwärts liegenden Wärmetauscher **2B** und einen stromabwärts liegenden Wärmetauscher **3B**. Das zweite Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1B** hat eine Konfiguration ähnlich derjenigen des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** wie oben erwähnt (die Konfiguration dergestalt, dass eine Vielzahl von Zellen sich zwischen den beiden Stirnseiten erstrecken). Der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** und der stromabwärts liegende Wärmetauscher **3B** sind nahe den beiden Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** angeordnet, wobei das zweite Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1B** dazwischen angeordnet ist. Der stromabwärts liegende Wärmetauscher **3B** ist mit einem Ende des ersten Teils **101C** der Übertragungsleitung **100C**, welches auf der entgegengesetzten Seite des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3A** wie oben erwähnt liegt, verbunden und ist außerdem mit der Abgasleitung **1004** in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit **1005** gekoppelt. Der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** ist mit der Abgasleitung **1004** in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit **1005** gekoppelt. Abgesehen von den Kopplungszielen können der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** und der stromabwärts liegende Wärmetauscher **3B** die gleichen Konfigurationen wie diejenigen des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** beziehungsweise des niedertemperaturseitigen Wärmetauschers **3A** haben.

[0038] Wenn der Wärmeübertragungsteil **100B** durch den ersten Teil **101C** gelaufene Schallwellen empfängt, tritt aufgrund des Mechanismus (ein Temperaturgefälle wird aus Schallwellen erzeugt), welcher die Umkehrung des Mechanismus des thermoakustischen Effekts wie oben erwähnt (Schallwellen werden aus einem Temperaturgefälle erzeugt) ist, ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** auf. Speziell ist die Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** nahe dem stromaufwärts liegenden Wärmetauscher **2B** auf einer relativ höheren Temperatur als die Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** nahe dem stromabwärts liegenden Wärmetauscher **3B**. Dieser Temperaturunterschied resultiert aus Schallwellen, welche Wärme von der Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** nahe dem stromabwärts liegenden Wärmetauscher **3B** zur Stirnseite nahe dem stromaufwärts liegenden Wärmetauscher **2B** befördern, während sie die Vielzahl von Zellen im zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1B** durchlaufen. Dabei nimmt der stromabwärts liegende Wärmetauscher **3B** Wärme aus dem Abgas in der durch eine Position, an welcher der stromabwärts liegende Wärmetauscher **3B** mit der Abgasleitung **1004** gekoppelt ist (in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit **1005**) verlaufenden Abgasleitung **1004**, auf und gibt er die Wärme an die Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** nahe dem stromabwärts liegenden Wärmetauscher **3B** ab. Unterdessen nimmt der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** Wärme aus der Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1B** nahe dem stromaufwärts liegenden Wärmetauscher **2B** auf und gibt er die Wärme an das Abgas in der durch die Position, an welcher der stromabwärts liegende Wärmetauscher **2B** mit der Abgasleitung **1004** gekoppelt ist (in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit **1005**) ver-

laufenden Abgasleitung **1004** ab. Infolgedessen wird das Abgas, bevor es in die Reinigungseinheit **1005** strömt, erwärmt.

[0039] Im Folgenden wird die Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** und des Wärmeübertragungsteils **100B** mittels eines speziellen Beispiels detaillierter beschrieben. Wie oben beschrieben, können der Schallwellengenerator **100A** und der Wärmeübertragungsteil **100B** abgesehen davon, dass ihre Kopplungsziele (die Rückführungsleitung **1002**, die Abgasleitung **1004** und die Kühlleitung **1006**) für den Wärmeaustausch verschieden sind, die gleiche Konfiguration haben. Somit wird im Folgenden ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** als ein Beispiel beschrieben.

[0040] **Fig.** 2 zeigt schematisch ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** in **Fig.** 1.

[0041] Im Folgenden wird ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** in **Fig.** 1 beschrieben, und gleiche Bezugszeichen bezeichnen zur Erläuterung gleiche Teile in **Fig.** 1. Da der Wärmeübertragungsteil **100B** in **Fig.** 1 die gleiche Konfiguration wie der Schallwellengenerator **100A** wie oben erwähnt haben kann, kann das folgende spezielle Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** ebenso ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Wärmeübertragungsteils **100B** sein.

[0042] Wie oben anhand von **Fig.** 1 beschrieben, enthält der Schallwellengenerator **100A** in **Fig.** 2 das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und enthält er außerdem ein Metallelement **31** und ein Zwischenelement **12**.

[0043] Das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** in **Fig.** 2 ist eine Wabenstruktur, in welcher eine Vielzahl von Zellen **14** durch eine Trennwand **11** definiert ist und jede aus der Vielzahl von Zellen ein Durchgangsloch wie ein dünnes Rohr ist. Hierin bezieht sich das Wort ”Zelle” in der vorliegenden Beschreibung nur auf ein Durchgangsloch, welches die Trennwand nicht einschließt. Jede Zelle **14** erstreckt sich in der senkrechten Richtung (aufwärts und abwärts) in **Fig.** 2, und das folgende bezieht sich auf eine Richtung, in welcher die Zellen **14** sich erstrecken, als die Ausdehnungsrichtung der Zellen **14**. Jede Zelle **14** ist an beiden Stirnseiten, welche die Stirnseite nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und die Stirnseite nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** sind, offen. Die Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** steht in Kontakt mit dem Metallelement **31** und liegt dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** gegenüber, wobei das Metallelement **31** dazwischen angeordnet ist. Hier ist zu beachten, dass, da das Metallelement **31** für die Wärmeleitung eine Rolle spielt wie später beschrieben, das Metallelement **31** vorzugsweise aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, welches z. B. Kupfer sein kann, besteht. Die vorliegende Erfindung kann eine Form haben, bei der auf das Metallelement **31** verzichtet wird, und in diesem Fall ist ein Spalt zwischen dem ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** und dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** vorzugsweise so klein wie möglich.

[0044] Das Metallelement **31** ist ein plattenförmiges Element aus Metall, in dessen mittigem Teil eine Vielzahl von parallelen Schlitzen (nicht gezeigt) gebildet ist, und **Fig.** 2 veranschaulicht nur einen Seitenflächenteil (Dickenteil) der Plattenform.

[0045] Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** in **Fig.** 2 enthält einen Maschenschichtkörper **30**, welcher die Schichtung einer Vielzahl von (z. B. aus Kupfer bestehenden) Metall-Maschenplatten enthält. Kühlmittel strömt aus der mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** gekoppelten Kühlleitung **1006** in den niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und strömt um den Maschenschichtkörper **30** herum (siehe gestrichelte Pfeile in **Fig.** 2). Von der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** über das Metallelement **31** zum Maschenschichtkörper **30** übertragene Wärme wird in dieses Kühlmittel übertragen, und dann wird die Wärme durch dieses Kühlmittel weiterbefördert. Infolgedessen wird die Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** auf einer niedrigen Temperatur gehalten. Der Mechanismus eines solchen Austauschens von Wärme zwischen dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** und dem Kühlmittel in der Kühlleitung **1006** ist abgesehen davon, dass ihre Wärmeaustauschrichtungen entgegengesetzt sind, der gleiche wie der später beschriebene Mechanismus des Austauschens von Wärme zwischen dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und dem Abgas in der Rückführungsleitung **1002** (siehe die später beschriebene **Fig.** 3).

[0046] Die Seitenfläche des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** in **Fig.** 2 ist von dem Zwischenelement **12** umgeben, und **Fig.** 2 zeigt schematisch den Querschnitt des umgebenden Zwischenelements **12** als zwei Teile des Zwischenelements **12**, welche das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** von der linken und von der rechten Seite in der Zeichnung umgeben. Dieses Zwischenelement **12** hat als Wärmeisolator eine

Funktion, zu verhindern, dass Wärme zwischen der Seitenfläche des sich zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** erstreckenden ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** und der umgebenden Außenumgebung des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** ausgetauscht wird.

[0047] Der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** in **Fig.** 2 enthält eine wärmetauschende Wabenstruktur **20**. Die wärmetauschende Wabenstruktur **20** ist eine säulenförmige Wabenstruktur, und die wärmetauschende Wabenstruktur **20** enthält zwei oder mehr durch eine Trennwand **21** definierte Zellen **24**, wobei jede Zelle sich in der senkrechten Richtung (vertikalen Richtung) von **Fig.** 2 erstreckt. Diese zwei oder mehr Zellen **24** stehen mit der Übertragungsleitung **100C** und der Vielzahl von Zellen **14** des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** in Verbindung und sind mit Arbeitsfluid gefüllt. Hierin hat, anders als im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, jede dieser zwei oder mehr Zellen **24** einen genügend großen hydraulischen Durchmesser, so dass selbsterregte Schwingungen in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** im Wesentlichen ignoriert werden können. Wie in **Fig.** 2 gezeigt, befindet sich die wärmetauschende Wabenstruktur **20** nahe der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** (Stirnseite nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A**) und nimmt sie Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung **1002** strömenden Abgas auf und überträgt sie die Wärme in diese Stirnseite (Stirnseite nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A**). Eine solche Wärmeübertragung kann die Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** auf einer hohen Temperatur halten (einem eine höhere Temperatur als die Temperatur an der Stirnseite nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** aufweisenden Zustand).

[0048] Im Hinblick auf eine solche Wärmeübertragungsfunktion besteht die wärmetauschende Wabenstruktur **20** vorzugsweise aus einem Material mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, welches ein Metallwerkstoff, z. B. Kupfer, sein kann. Alternativ kann anstelle eines solchen Elements mit einer Wabenstruktur ein Element mit der Konfiguration eines die Schichtung einer Vielzahl von Metall-(z. B. Kupfer-)Maschenplatten enthaltenden Maschenschichtkörpers verwendet werden. Im Hinblick auf das Verhindern einer Qualitätsveränderung einer solchen metallenen wärmetauschenden Wabenstruktur **20** (oder eines solchen Maschenschichtkörpers) infolge einer Reaktion mit Arbeitsfluid bei hoher Temperatur ist hierin das in diesem Fall verwendete Arbeitsfluid vorzugsweise weniger reaktionsfreudig mit Metallen, wie ein Edelgas. Überdies kann ein SiC (Siliciumcarbid), welches auch in einem Hochtemperatur-Zustand wie in der Betriebsumgebung eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit aufweist, als einen Hauptbestandteil enthaltendes keramisches Material für die wärmetauschende Wabenstruktur **20** (oder den Maschenschichtkörper) verwendet werden. "Hauptbestandteil" bedeutet hier, dass der Bestandteil 50 Massen-% oder mehr aller die wärmetauschende Wabenstruktur **20** bildenden Materialien ausmacht. Obwohl SiC (Siliciumcarbid) kein Metall ist, hat es doch unter hochtemperaturbeständigen keramischen Werkstoffen eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit und ist verglichen mit typischen Metallwerkstoffen (Eisen, Kupfer und dergleichen), relativ weniger reaktionsfreudig. Zu speziellen Beispielen des SiC als einen Hauptbestandteil enthaltenden keramischen Materials zählen einfaches SiC sowie Si-getränktes SiC, (Si + Al) -getränktes SiC, Metallverbund-SiC, rekristallisiertes SiC, Si_3N_4 und SiC. Davon sind Si-getränktes SiC und (Si + Al)-getränktes SiC zu bevorzugen. Dies liegt daran, dass Si-getränktes SiC eine gute Wärmeleitfähigkeit und Wärmebeständigkeit aufweist und, obwohl es ein poröser Körper ist, eine niedrige Porosität aufweist und daher dicht gebildet ist und es dann, verglichen mit nicht Si-getränktem SiC, eine relativ hohe Festigkeit realisieren kann.

[0049] Da die wärmetauschende Wabenstruktur **20** mit der Übertragungsleitung **100C** verbunden ist, hat die wärmetauschende Wabenstruktur **20** zusätzlich zur Wärmeübertragung wie oben erwähnt eine Funktion als ein Laufweg von Schallwellen. Das heißt, nach Durchlaufen des Wärmeübertragungsteils **100B** in **Fig.** 1 und Laufen entlang des zweiten Teils **102C** (siehe **Fig.** 1) der Übertragungsleitung **100C** erreichen die Schallwellen den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** und laufen sie durch zwei oder mehr Zellen **24** in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20**.

[0050] **Fig.** 3 ist eine Schnittansicht des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** entlang der Linie A-A in **Fig.** 2.

[0051] Wie in **Fig.** 3 gezeigt, hat der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** eine Konfiguration, bei welcher die wärmetauschende Wabenstruktur **20** in einer Mitte angebracht ist, welche von einem Wärmetauschergehäuse **22** umgeben ist. In diesem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** strömt Abgas aus der Rückführungsleitung **1002** auf der rechten Seite von **Fig.** 3 ein und strömt es in die Rückführungsleitung **1002** auf der linken Seite von **Fig.** 3 aus. Dabei prallt das einströmende Abgas direkt auf eine den kreisrunden Umfang der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** definierenden Umfangswand **23** und verzweigt es sich in zwei Richtungen die Umfangswand **23** hinauf und hinab, wie durch dicke Pfeile um die wärmetauschende Wabenstruktur **20** angezeigt, um entlang der Umfangswand **23** weiterzuströ-

men. Diese beiden Ströme des Abgases vereinigen sich an der Stelle, an welcher sie entlang der oberen Hälfte und der unteren Hälfte entlang des Umfangs der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** entlang der Umfangswand **23** im Wesentlichen zur Hälfte um die wärmetauschende Wabenstruktur **20** gelaufen sind. Dann strömt es in die Rückführungsleitung **1002** auf der linken Seite von **Fig.** 3 aus. Auf diese Weise strömt das Heizfluid bei hoher Temperatur, während es gleichzeitig direkt mit der Umfangswand **23** der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** in Kontakt kommt, wodurch eine große Menge Wärme aus dem Abgas in die Umfangswand **23** übertragen wird und die Wärme auch in das Arbeitsfluid innerhalb der Trennwand **21** und der Zellen **24** in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** übertragen wird. Solche übertragene Wärme wird an die Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem hochtemperaturseitigen Wärmetauscher **2A** in **Fig.** 2 abgegeben.

[0052] Das obige beschreibt die Form, in welcher die wärmetauschende Wabenstruktur **20** (oder die Umfangswand **23** der wärmetauschenden Wabenstruktur **20**) direkt mit dem Abgas in Kontakt steht, und die vorliegende Erfindung kann in der Form vorliegen, in welcher die Umfangswand **23** von Metall umgeben ist. Ein solches zur Ummantelung der Umfangswand **23** hinzugefügtes Metall verringert die von der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** aus dem Abgas aufgenommene Wärmemenge geringfügig, aber die wärmetauschende Wabenstruktur **20** kann sicher geschützt werden. Infolgedessen kann dies einen Bruch der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** oder ein Entweichen von Arbeitsfluid in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** nach außen und eine Vermischung eines solchen Arbeitsfluids mit dem Abgas wirkungsvoll verhindern.

[0053] Das in **Fig.** 3 gezeigte spezielle Beispiel beschreibt einen sogenannten Kreuzstrom-Wärmetauscher, in welchem Wärme ausgetauscht wird, während der Kanal des Abgases in der Rückführungsleitung **1002** und der Kanal des Arbeitsfluids in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** sich kreuzen. In der vorliegenden Erfindung kann Wärme auch mittels eines sogenannten Gegenstrom-Wärmetauschers anstelle eines solchen Kreuzstrom-Wärmetauschers ausgetauscht werden, wobei der Gegenstrom-Wärmetauscher so konfiguriert ist, dass der Kanal des Abgases und der Kanal des Arbeitsfluids in der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** im Wärmetauscher parallel zueinander liegen. Im Allgemeinen lässt sich ein Kreuzstrom-Wärmetauscher, verglichen mit einem Gegenstrom-Wärmetauscher, leicht in ein Abgassystem einbauen und ist daher der erstere hinsichtlich seiner Konstruktion vorteilhaft. Jedoch hat der Gegenstrom-Wärmetauscher im Allgemeinen einen höheren Wärmeumwandlungs-Wirkungsgrad als der Kreuzstrom-Wärmetauscher und ist daher ein Gegenstrom-Wärmetauscher hinsichtlich seines Wärmeumwandlungs-Wirkungsgrads vorteilhaft.

[0054] Nun wird im Folgenden das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** in **Fig.** 2 im Einzelnen beschrieben.

[0055] **Fig.** 4 ist eine Schnittansicht des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** in einer Ebene senkrecht zur Ausdehnungsrichtung der Zellen **14** des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** in **Fig.** 2.

[0056] Wie in **Fig.** 4 gezeigt, enthält das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** eine Vielzahl von Zellen **14**, welche jeweils ein einem dünnen Rohr ähnliches Durchgangsloch darstellen und welche durch eine Trennwand **11** definiert sind, und ist die Trennwand **11** als Ganzes dann von einer Umfangswand **13** umgeben (in **Fig.** 2 nicht gezeigt). Die Umfangswand **13** kann aus dem gleichen Material bestehen wie die Trennwand **11**.

[0057] Wie oben beschrieben, ist der hydraulische Durchmesser HD der Zellen **14** einer der wichtigen Faktoren zum Erzeugen von Schallwellen durch selbsterregte Schwingungen und hat der hydraulische Durchmesser HD der Zellen **14** im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** einen sehr kleinen Wert von 0,4 mm oder weniger. Solche Zellen mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser HD können einen ausreichenden thermoakustischen Effekt aus dem ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** realisieren. Hingegen kann, wenn der hydraulische Durchmesser HD größer als 0,4 mm ist, nur ein schwacher thermoakustischer Effekt erzielt werden.

[0058] Hier ist zu beachten, dass es für einen stärkeren thermoakustischen Effekt vorteilhaft ist, soviele Zellen wie möglich mit einem kleinen hydraulischen Durchmesser HD wie oben erwähnt zu bilden. Anders ausgedrückt, eine größere offene Stirnfläche an den Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** ist vorteilhafter. Die offene Stirnfläche des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** ist an jeder Stirnseite hoch mit 60% oder mehr, woraus ein starker thermoakustischer Effekt erzielt werden kann. Hingegen ist die Anzahl zum thermoakustischen Effekt beitragender Zellen, wenn die offene Stirnfläche weniger als 60% beträgt, zu klein, und kann daher ein sehr starker thermoakustischer Effekt nicht daraus erzielt werden.

[0059] In dieser Hinsicht ist jedoch, wenn die offene Stirnfläche zu hoch ist, ein hohler Teil des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** zu viel und können daher die Beständigkeit und die Festigkeit des ersten Wärme/Schallwellen-Um-

wandlungselements **1A** als Ganzes sich verschlechtern. Dann ist die offene Stirnfläche des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** auf 93% oder vorzugsweise weniger begrenzt. Tatsächlich können, wenn die offene Stirnfläche 93% übersteigt, Schäden am ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** infolge von Einwirkungen erzeugter Schallwellen oder eines/einer aus einem Temperaturunterschied zwischen den beiden Enden des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** resultierenden Wärmeverzugs oder Verwölbung (Wärmebelastung) nicht ignoriert werden.

[0060] Auf diese Weise ist das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, im Hinblick auf das Erreichen eines angemessenen Gleichgewichts zwischen einem ausreichenden thermoakustischen Effekt und ausreichender Beständigkeit und Festigkeit, vorzugsweise so konfiguriert, dass die offene Stirnfläche an den Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** 60% oder mehr und 93% oder weniger beträgt. Die offene Stirnfläche von 80% oder mehr und 93% oder weniger ist innerhalb der offenen Stirnfläche von 60% oder mehr und 93% oder weniger zu bevorzugen.

[0061] Die offene Stirnfläche kann man erhalten, indem man mit einem Mikroskop ein Bild eines Querschnitts senkrecht zur Ausdehnungsrichtung aufnimmt und die Material-Teilfläche S1 und die Lücken-Teilfläche S2 aus dem aufgenommenen Bild des Querschnitts ermittelt. Dann kann man die offene Stirnfläche, auf der Grundlage von S1 und S2, als S2/(S1 + S2) erhalten.

[0062] Im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** haben die Zellen **14** vorzugsweise eine senkrecht zur Ausdehnungsrichtung der Zellen liegende Querschnittsform, welche eine vieleckige Form mit abgerundeten Ecken ist, und haben die Ecken der Form vorzugsweise einen Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger. **Fig.** 4 zeigt eine beispielhafte Form der Zellen **14** in der vergrößerten Ansicht oben rechts, bei welcher das Dreieck abgerundete Ecken mit dem Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr und 0,1 mm oder weniger hat. Ein solcher Krümmungsradius von 0,02 mm oder mehr bedeutet eine sanft abgerundete Form, und daher können die Zellen **14** einer Einwirkung, durch welche die Zellen zerdrückt werden könnten, genügend widerstehen. Dies beruht auf der gleichen Ursache für die Form eines Lochs wie eines Tunnels, d. h., eine abgerundete Form ist widerstandsfähiger gegen eine äußere Kraft aus der Umgebung als eine eckige Form. Wenn der abgerundete Teil zu groß ist, ist andererseits die Trennwand **11** nahe den Ecken der Zellen dick und nimmt die offene Stirnfläche ab, und demgemäß geht der erzielte thermoakustische Effekt zurück. Dann ist der Krümmungsradius auf 0,1 mm oder weniger eingestellt, wodurch auch gleichzeitig ein starker thermoakustischer Effekt aufrechterhalten werden kann.

[0063] Das Krümmungsradius an den Ecken der Zellen **14** kann durch Aufnehmen eines vergrößerten Fotos der Zellen **14** in einem Querschnitt senkrecht zur Ausdehnungsrichtung und auf der Grundlage der Querschnittsformen der Zellen **14** gemessen werden.

[0064] Die Zellen **14** können eine Form in einer Ebene senkrecht zur Ausdehnungsrichtung der Zellen **14** haben, welche verschiedenen Vielecken wie Dreiecken, Vierecken, Fünfecken und Sechsecken sowie Ellipsen (einschließlich einer perfekten Kreisform) entsprechen kann, wobei Dreiecke, Vierecke und Sechsecke sowie deren Kombinationen zu bevorzugen sind. Wie in der vergrößerten Ansicht der Zellen **14** oben rechts neben dem ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** in **Fig.** 4 gezeigt, sind dreieckige Zellen **14** besonders vorzuziehen. Solche dreieckigen Zellen **14** sind besonders vorzuziehen, weil unter verschiedenen vieleckigen Formen und elliptischen Zellenformen dreieckige Zellenformen die für die Anordnung einer großen Menge Zellen bei gleichzeitiger Minimierung der Trennwanddicke geeignetsten sind. Hier ist zu beachten, dass im Fall einer Wabenstruktur für einen Filter zum Entfernen von Partikeln aus dem Abgas von Kraftfahrzeugen, wenn deren Zellen spitzwinklige Ecken haben, Partikel sich leider leicht in den Ecken ansammeln. Deshalb hat eine solche Wabenstruktur in vielen Fällen tatsächlich keine dreieckigen Zellenformen, obwohl sie im Prinzip eine solche Form haben kann. Andererseits kommt es im Fall einer Wabenstruktur zur Realisierung eines thermoakustischen Effekts nicht zu einem solchen Problem bei dem selbsterregte Schwingungen bewirkenden Arbeitsfluid (Gas wie Edelgas) und können daher dreieckige Zellenformen (Dreiecke mit abgerundeten Ecken), welche zum Anordnen einer großen Menge Zellen am geeignetsten sind, definitiv verwendet werden.

[0065] Bezeichnet L die Länge zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A**, hat das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement ein Verhältnis HD/L des hydraulischen Durchmesser HD wie oben erwähnt zur Länge L, welches 0,005 oder größer und kleiner als 0,02 ist. Wenn HD/L kleiner als 0,005 ist, ist das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, verglichen mit dem hydraulischen Durchmesser HD, zu lang. Dann wirkt sich ein Temperaturunterschied zwischen den beiden Enden des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements weniger auf das Arbeitsfluid in jeder Zelle des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** aus. In diesem Fall reicht der Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** nicht aus und kann daher ein ausreichender thermoakustischer Effekt nicht erzielt wer-

den. Andererseits ist, wenn HD/L 0,02 oder größer ist, das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, verglichen mit dem hydraulischen Durchmesser HD, zu kurz. In diesem Fall wird Wärme durch die Trennwand **11** von der Seite des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** zum niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** übertragen, bevor der Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** ausreichend wird. Infolgedessen kann ein ausreichender thermoakustischer Effekt nach wie vor nicht erzielt werden. Dann hat das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** das Verhältnis HD/L von 0,005 oder größer und kleiner als 0,02 und reicht daher der Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsfluid in jeder Zelle und der Trennwand **11** aus. Infolgedessen kann das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** einen ausreichenden thermoakustischen Effekt aufweisen.

[0066] Im ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** haben die das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** bildenden Materialien, besonders die die Trennwand **11** bildenden Materialien, ein Wärmeausdehnungsverhältnis bei 20 bis 800°C, welches 6 ppm/K oder vorzugsweise kleiner ist. Eines der Verfahren zum Realisieren eines solchen Zustands eines niedrigen Wärmeausdehnungsverhältnisses enthält das Verwenden einer Wabenstruktur aus Cordierit, welches unter den keramischen Werkstoffen ein niedriges Wärmeausdehnungsverhältnis hat. Hierin bezieht sich eine "Wabenstruktur aus Cordierit" auf eine unter Verwendung eines Cordierit-Formungsrohstoffs, welcher so formuliert ist, dass er als keramischer Rohstoff zum Herstellen der Wabenstruktur eine chemische Zusammensetzung im Bereich von 42 bis 56 Massen-% Siliciumdioxid, 30 bis 45 Massen-% Aluminiumoxid und 12 bis 16 Massen-% Magnesia hat, hergestellte Wabenstruktur, wobei der Cordierit-Formungsrohstoff nach dem Brennen Cordierit bildet.

[0067] Das Wärmeausdehnungsverhältnis kann zum Beispiel durch Ausschneiden eines Probestücks, welches eine Länge von 10 mm oder mehr entlang der Ausdehnungsrichtung jeder Zelle hat und eine Fläche eines die Ausdehnungsrichtung und die Richtung orthogonal zur Ausdehnungsrichtung enthaltenden Querschnitts hat, welche 4 mm^2 oder größer und 100 mm^2 oder kleiner ist, aus dem ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** und Messen des Wärmeausdehnungsverhältnisses dieses Probestücks in der Ausdehnungsrichtung mittels eines Differenz-Thermodilatometers unter Verwendung eines Quarzes als Referenz-Vergleichsmuster gemessen werden.

[0068] Ein solches Wärmeausdehnungsverhältnis bei 20 bis 800°C von 6 ppm/K oder weniger der die Trennwand **11** bildenden Materialien kann Schäden am ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A**, wenn ein Temperaturunterschied an den beiden Enden auftritt, unterbinden. Ein Wärmeausdehnungsverhältnis von 4 ppm/K oder weniger ist innerhalb des Wärmeausdehnungsverhältnisses von 6 ppm/K oder weniger zu bevorzugen.

[0069] Dies ist die ausführliche Beschreibung der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** in **Fig.** 2. Das spezielle Beispiel der Konfiguration des Schallwellengenerators **100A** wie oben erwähnt kann auch ein spezielles Beispiel der Konfiguration des Wärmeübertragungsteils **100B** sein.

[0070] Nun wird im Folgenden ein spezielles Beispiel des Abgassystems in **Fig.** 1 mittels spezieller Beispiele der Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1 beschrieben.

[0071] **Fig.** 5 zeigt schematisch eine Konfiguration eines speziellen Beispiels des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1, enthaltend einen Dieselmotor als die Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1.

[0072] **Fig.** 5 zeigt ein mit einem Dieselmotor **2001** verbundenes Abgassystem **2000** als ein spezielles Beispiel des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1. In der folgenden Beschreibung dieses Abgassystems **2000** bezeichnen zur Erläuterung gleiche Bezugszeichen gleiche Teile in **Fig.** 1. Auf deren wiederholte Beschreibungen wird verzichtet, indem auf die Beschreibungen zu **Fig.** 1 verwiesen wird.

[0073] Das Abgassystem **2000** in **Fig.** 5 spielt eine Rolle beim Entfernen umweltschädlicher Stoffe wie Partikel und Stickstoffoxide aus beim Verbrennen von Leichtöl im Dieselmotor **2001** zur Leistungserzeugung erzeugtem Abgas. Das Abgassystem **2000** enthält, zusätzlich zu der anhand von **Fig.** 1 beschriebenen Heizvorrichtung **100**, eine Abgasleitung **2004**, eine Rückführungsleitung **2002** und einen DOC-(Dieseloxidationskatalysator-)Träger **2007**. Das Abgassystem **2000** enthält außerdem einen DPF (Dieselpartikelfilter) **2008**, eine Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** und eine SCR-Katalysatoreinheit **2005**. Die SCR-Katalysatoreinheit **2005** entspricht einem speziellen Beispiel der Reinigungseinheit **1005** in **Fig.** 1.

[0074] Die Abgasleitung **2004** in **Fig.** 5 ist mit dem Dieselmotor **2001** verbunden und ist eine Leitung, welche einen Abgasweg im Dieselmotor **2001** erzeugten Abgases in die Atmosphäre definiert. Die Rückführungsleitung **2002** in **Fig.** 5 ist mit der Abgasleitung **2004** in diesem Abgasweg verbunden und ist eine Leitung, welche einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung **2004** strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, als ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen zum Dieselmotor **2001** zurückzuströmen. Hierin wird die Menge des zum Dieselmotor **2001** zurück-

strömenden Abgases aus dem gesamten aus dem Dieselmotor **2001** ausgestoßenen Abgas durch eine Klappe **2003** geregelt. Die Funktionen der Abgasleitung **2004**, der Rückführungsleitung **2002** und der Klappe **2003** sind im Wesentlichen die gleichen wie diejenigen der Abgasleitung **1004**, der Rückführungsleitung **1002** beziehungsweise der Klappe **1003**, welche anhand von **Fig.** 1 beschrieben wurden.

[0075] Der DOC-Träger **2007** hat eine Funktion, die Oxidation von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid während des Verbrennens (der Oxidation) zur Entfernung von durch einen später beschriebenen DPF eingefangenen Partikeln (Partikeln auf Kohlenstoffbasis) wie Ruß zu begünstigen, und hat außerdem eine Funktion, Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zu oxidieren, um die Stickstoffdioxidmenge relativ zu erhöhen. Wenn die Stickstoffdioxidmenge relativ größer als die Stickstoffmonoxidmenge ist, läuft die Oxidationsreaktion von Partikeln auf Kohlenstoffbasis leicht ununterbrochen. Als der DOC-Träger **2007** kann ein herkömmlicherweise bekannter Träger verwendet werden. Zum Beispiel kann ein Oxidationskatalysator (typischerweise ein Elemente der Platingruppe wie Platin und Palladium enthaltender Katalysator), welcher eine Oxidationsreaktion von Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid begünstigt, auf Zellen-Innenwandflächen einer Wabenstruktur mit einer Vielzahl von Zellen aufgebracht sein.

[0076] Der DPF **2008** hat eine Funktion, Partikel (Partikel auf Kohlenstoffbasis) wie Ruß im Abgas einzufangen. Als der DPF **2008** kann ein herkömmlicherweise bekannter verwendet werden. Zum Beispiel kann der DPF **2008** auf einem Schema beruhen, bei welchem Öffnungen an einer Stirnseite einer Vielzahl von Zellen einer keramischen Wabenstruktur verstopft sind, um Partikel (Partikel auf Kohlenstoffbasis) an den Zellen-Innenwänden einzufangen.

[0077] Die Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** spritzt, zur Vermischung mit dem Abgas, Harnstoff in das Abgas in der Abgasleitung **2004** ein, bevor es in die später beschriebene SCR-Katalysatoreinheit **2005** strömt.

[0078] Die SCR-Katalysatoreinheit **2005** enthält einen SCR-Katalysator zum Begünstigen einer Reduktionsreaktion von Stickstoffoxiden unter Verwendung von Ammoniak als Reduktionsmittel und ist im Abgasweg in der Ausströmrichtung nach der Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** angeordnet. Unter Verwendung von durch Hydrolyse des durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** bei einer hohen Temperatur eingespritzten Harnstoffs erzeugtem Ammoniak und des SCR-Katalysators wie oben erwähnt reduziert die SCR-Katalysatoreinheit **2005** Stickstoffoxide im Abgas, um Wasser und Stickstoff zu erzeugen. Als die SCR-Katalysatoreinheit **2005** kann eine herkömmlicherweise bekannte verwendet werden. Zum Beispiel kann der SCR-Katalysator auf die Innenwandflächen einer keramischen Wabenstruktur mit einer Vielzahl von Zellen aufgebracht sein. Zu Beispielen des SCR-Katalysators zählen Oxide von Vanadium, Molybdän, Wolfram oder dergleichen und Zeolith enthaltende SCR-Katalysatoren. Die Abgasreinigungsfähigkeit des SCR-Katalysators kann durch Erwärmen des SCR-Katalysators aktiviert werden.

[0079] Die Heizvorrichtung **100** erwärmt das Abgas, bevor durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** Harnstoff in das Abgas eingespritzt wird, welches durch die Abgasleitung **2004** strömt, ohne in die Rückführungsleitung **2002** zu strömen. Das heißt, der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** des Wärmeübertragungsteils **100B** in der Heizvorrichtung **100** ist an einer Position in der Ausströmrichtung vor der Harnstoffeinspritzvorrichtung mit der Abgasleitung **2004** gekoppelt und gibt Wärme an das Abgas in der durch diese Kopplungsposition verlaufenden Abgasleitung **2004** ab (siehe **Fig.** 5). Nach Aufnahme der abgegebenen Wärme strömt das Abgas in die SCR-Katalysatoreinheit **2005** (nach Erhalt der Harnstoffeinspritzung), wodurch der SCR-Katalysator der SCR-Katalysatoreinheit **2005** erwärmt wird und die Abgasreinigungsfähigkeit aktiviert wird. In dieser Situation verdampft der eingespritzte Harnstoff durch das Abgas mit hohen Temperaturen, welches in der Ausströmrichtung vor der Einspritzposition strömt, genügend und wird er zu Ammoniak hydrolysiert. Infolgedessen kann eine Reduktionsreaktion von Stickstoffoxiden unter Verwendung des Ammoniaks als Reduktionsmittel genügend begünstigt werden. Wenn Abgas, in welches zuvor durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung **2009** Harnstoff eingespritzt wird, erwärmt wird, verdampft der Harnstoff im Abgas mit einer relativ niedrigen Temperatur vor Erwärmung kaum. Dies kann zu dem Problem führen, dass eine Reduktionsreaktion von Stickstoffoxiden wegen des Mangels an Ammoniak nicht genügend vorankommt.

[0080] In dem Abgassystem **2000** in **Fig.** 5 beträgt die Temperatur des Abgases, welches von dem durch die Abgasleitung **2004** strömenden Abgas abgezweigt wird und welches in die Rückführungsleitung **2002** strömt, etwa 150 bis 600°C, was Abgastemperaturen unmittelbar nach Verlassen eines Dieselmotors in einem typischen Abgassystem für Dieselmotoren sind. Die Temperatur des Abgases unmittelbar nach Durchströmen des DPF **2008** (des Abgases vor Erwärmung durch die Heizvorrichtung **100**) liegt bei Außenlufttemperaturen bei etwa 300°C, ähnlich einem typischen Abgassystem für Dieselmotoren. Unterdessen ist die Temperatur des SCR-Katalysators zur Realisierung einer ausreichenden Reinigungsfähigkeit durch Erwärmung desselben 200°C oder höher. Die Heizvorrichtung **100** erwärmt das Abgas nach Durchströmen des DPF **2008** und vor Erwärmung durch den thermoakustischen Effekt unter Verwendung der Wärme des durch die Rück-

führungsleitung **2002** strömenden Abgases auf die oben erwähnten oder höhere Temperaturen, um eine ausreichende Reinigungsfähigkeit des SCR-Katalysators zu realisieren.

[0081] Das Prinzip und der Mechanismus des Erwärmens durch die Heizvorrichtung **100** ist das bzw. der gleiche wie die anhand von **Fig.** 1 beschriebenen, und auf deren Beschreibungen wird verzichtet, indem auf die Beschreibungen verwiesen wird. Hier ist zu beachten, dass ein auf einem Dieselmotor beruhendes Antriebssystem im Allgemeinen häufig einen Kühlwasserkreislauf-Mechanismus zum Kühlen zu Temperaturerhöhung neigender Vorrichtungen wie eines Motors mit Wasser enthält. Dann ist im Schallwellengenerator **100A** der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 5 der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** so konfiguriert, dass Wasser mit Umgebungstemperaturen in einer Kühlleitung **2006** eines solchen Wasserkreislauf-Mechanismus als das Kühlmittel auch zum Kühlen (Aufnehmen von Wärme aus) der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** verwendet wird. Als ein spezielles Beispiel der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 5 kann die das spezielle Beispiel des Schallwellengenerators **100A** (und des Wärmeübertragungsteils **100B**) in **Fig.** 1 enthaltende Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 1, welche anhand der **Fig.** 2, **Fig.** 3 und **Fig.** 4 beschrieben wird, verwendet werden.

[0082] Nun wird im Folgenden ein weiteres spezielles Beispiel des Abgassystems in **Fig.** 1 mittels eines weiteren speziellen Beispiels der Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1 beschrieben.

[0083] **Fig.** 6 zeigt schematisch eine Konfiguration eines speziellen Beispiels des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1, enthaltend einen Ottomotor als die Antriebseinheit **1001** in **Fig.** 1.

[0084] **Fig.** 6 zeigt ein mit einem Ottomotor **3001** verbundenes Abgassystem **3000** als ein spezielles Beispiel des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1. In der folgenden Beschreibung dieses Abgassystems **3000** bezeichnen zur Erläuterung gleiche Bezugszeichen gleiche Teile in **Fig.** 1. Auf deren wiederholte Beschreibungen wird verzichtet, indem auf die Beschreibungen verwiesen wird.

[0085] Das Abgassystem **3000** in **Fig.** 6 spielt eine Rolle beim Entfernen von Stickstoffoxiden, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen (HC) aus beim Verbrennen von Benzin im Ottomotor **3001** zur Leistungserzeugung erzeugtem Abgas. Das Abgassystem **3000** enthält, zusätzlich zu der anhand von **Fig.** 1 beschriebenen Heizvorrichtung **100**, eine Abgasleitung **3004**, eine Rückführungsleitung **3002**, eine erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** und eine zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005**. Die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** entspricht einem speziellen Beispiel der Reinigungseinheit **1005** in **Fig.** 1 (siehe nachfolgende Beschreibungen der Aktivierung der Reinigungsfähigkeit eines Katalysators, welcher jede Drei-Wege-Katalysatoreinheit enthält).

[0086] Die Abgasleitung **3004** in **Fig.** 6 ist mit dem Ottomotor **3001** verbunden und ist eine Leitung, welche einen Abgasweg im Ottomotor **3001** erzeugten Abgases in die Atmosphäre definiert. Die Rückführungsleitung **3002** in **Fig.** 6 ist mit der Abgasleitung **3004** in diesem Abgasweg verbunden und ist eine Leitung, welche einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung **3004** strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, als ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen zum Ottomotor **3001** zurückzuströmen. Hierin wird die Menge des zum Ottomotor **3001** zurückströmenden Abgases aus dem gesamten aus dem Ottomotor **3001** ausgestoßenen Abgas durch eine Klappe **3003** geregelt. Die Funktionen der Abgasleitung **3004**, der Rückführungsleitung **3002** und der Klappe **3003** sind im Wesentlichen die gleichen wie diejenigen der Abgasleitung **1004**, der Rückführungsleitung **1002** beziehungsweise der Klappe **1003**, welche anhand von **Fig.** 1 beschrieben wurden.

[0087] Die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** und die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** reinigen das Abgas, welches durch die Abgasleitung **3004** strömt, ohne in die Rückführungsleitung **3002** zu strömen, und sind im Abgasweg dieses Abgases angeordnet. Diese erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** und diese zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** verfügen über einen Drei-Wege-Katalysator, welcher eine chemische Reaktion zum Umwandeln schädlicher Stoffe wie Stickstoffoxide, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe (HC) in relativ unschädliche Bestandteile wie Stickstoff, Wasser und Kohlendioxid begünstigt. Als diese erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** und diese zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** kann eine herkömmlicherweise bekannte Einheit verwendet werden. Zum Beispiel kann ein Drei-Wege-Katalysator auf die Innenwandflächen einer keramischen Wabenstruktur mit einer Vielzahl von Zellen aufgebracht sein. Zu Beispielen des Drei-Wege-Katalysators zählen Elemente der Platingruppe wie Platin, Palladium und Rhodium enthaltende Katalysatoren. Die Abgasreinigungsfähigkeit des Drei-Wege-Katalysators kann durch Erwärmen des Drei-Wege-Katalysators aktiviert werden.

[0088] Im Abgassystem **3000** in **Fig.** 6 beträgt die Temperatur des Abgases, welches von dem durch die Abgasleitung **3004** strömenden Abgas abgezweigt wird und welches in die Rückführungsleitung **3002** strömt, etwa 100 bis 1000°C, was Abgastemperaturen unmittelbar nach Verlassen eines Ottomotors in einem typischen Abgassystem für Ottomotoren

sind. Die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** ist eine sogenannte Drei-Wege-Katalysatoreinheit unmittelbar unter dem Ottomotor **3001**, welche in der Nähe des Ottomotors **3001** angeordnet ist. Deshalb beträgt die Temperatur des in die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** strömenden Abgases ebenfalls etwa 100 bis 1000°C. Unterdessen ist die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** eine sogenannte Unterflur-Drei-Wege-Katalysatoreinheit, welche, verglichen mit der ersten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007**, relativ weit weg vom Ottomotor **3001** angeordnet ist. Deshalb ist die Temperatur des in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** strömenden Abgases relativ niedriger als die Temperatur des in die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** strömenden Abgases und liegt sie bei Außenlufttemperaturen bei etwa 500°C, sofern es nicht durch die Heizvorrichtung **100** erwärmt wird. Hier ist zu beachten, dass die Temperatur des Drei-Wege-Katalysators zur Realisierung einer ausreichenden Reinigungsfähigkeit durch Erwärmung desselben 400°C oder höher ist. Das heißt, man kann davon ausgehen, dass die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** eine ausreichende Reinigungsfähigkeit realisiert, auch wenn das in die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** strömende Abgas nicht erwärmt wird. Im Gegensatz dazu realisiert die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** möglicherweise keine ausreichende Reinigungsfähigkeit, wenn das in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** strömende Abgas nicht erwärmt wird.

[0089] Dann, im Abgassystem **3000** in **Fig.** 6, erwärmt die Heizvorrichtung **100** das Abgas, welches einer Reinigung durch die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** unterzogen wurde und welches aus der ersten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** herausströmt, bevor es in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** strömt. Das heißt, der stromaufwärts liegende Wärmetauscher **2B** des Wärmeübertragungsteils **100B** in der Heizvorrichtung **100** ist an einer Position in der Ausströmrichtung nach der ersten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** und in der Ausströmrichtung vor der zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** mit der Abgasleitung **3004** gekoppelt und gibt Wärme an das Abgas in der durch diese Kopplungsposition verlaufenden Abgasleitung **3004** ab (siehe **Fig.** 6). Das die abgegebene Wärme aufnehmende Abgas strömt in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005**, wodurch der Drei-Wege-Katalysator der zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** auf Temperaturen von 400°C oder höher erwärmt werden kann und die Reinigungsfähigkeit bezüglich des Abgases ausreichend realisiert werden kann.

[0090] Das Prinzip und der Mechanismus des Erwärmens durch die Heizvorrichtung **100** ist das bzw. der gleiche wie die anhand von **Fig.** 1 beschriebenen, und auf deren Beschreibungen wird verzichtet, indem auf die Beschreibungen verwiesen wird. Hier ist zu beachten, dass ein auf einem Ottomotor beruhendes Antriebssystem im Allgemeinen häufig einen Kühlwasserkreislauf-Mechanismus zum Kühlen zu einem Temperaturanstieg neigender Vorrichtungen wie eines Motors mit Wasser enthält. Dann ist im Schallwellengenerator **100A** der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 6 der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** so konfiguriert, dass Wasser mit Umgebungstemperaturen in einer Kühlleitung **3006** eines solchen Wasserkreislauf-Mechanismus als das Kühlmittel auch zum Kühlen (Aufnehmen von Wärme aus) der Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** nahe dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher **3A** verwendet wird. Als ein spezielles Beispiel der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 6 kann die das spezielle Beispiel des Schallwellengenerators **100A** (und des Wärmeübertragungsteils **100B**) in **Fig.** 1 enthaltende Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 1, welche anhand der **Fig.** 2, **Fig.** 3 und **Fig.** 4 beschrieben wird, verwendet werden.

[0091] Im Allgemeinen kann, wenn die Abgastemperatur beim Starten eines Ottomotors niedrig ist, ein Drei-Wege-Katalysator einer Katalysatoreinheit ein Problem hinsichtlich der Aktivierung der Reinigungsfähigkeit des Drei-Wege-Katalysators verursachen. Ein solches Problem an sich ist sowohl bei der oben erwähnten ersten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** als auch bei der oben erwähnten zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** wie oben erwähnt üblich. Jedoch kommt, wenn seit dem Starten des Ottomotors eine bestimmte Zeit verstrichen ist, das in die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** strömende Abgas auf hohe Temperaturen, und deshalb hat der Drei-Wege-Katalysator der ersten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3007** kein großes Problem nach demjenigen hinsichtlich der Aktivierung der Reinigungsfähigkeit desselben. Im Gegensatz dazu kommt das in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** strömende Abgas nicht auf hohe Temperaturen, selbst wenn seit dem Starten des Ottomotors genügend Zeit verstrichen ist (sofern es nicht durch die Heizvorrichtung **100** erwärmt wird). In einer solchen Situation ist es sehr wirkungsvoll, mittels der Heizvorrichtung **100** zu erwärmen, um die Reinigungsfähigkeit des Drei-Wege-Katalysators der zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit **3005** ausreichend zu realisieren.

[0092] Dies ist die Beschreibung der speziellen Beispiele des Abgassystems **1000** in **Fig.** 1 in Abhängigkeit von der Art der Antriebseinheit **1001**.

[0093] Nun wird im Folgenden ein Verfahren zum Herstellen des Abgassystems **1000** mit der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 1 beschrieben, in welchem die speziellen Beispiele des Schallwellengenerators **100A** (und des Wärmeübertragungsteils **100B**) in den **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 verwendet werden. Beim Abgassys-

tem **1000** können die Elemente außer der Heizvorrichtung **100** wie die Abgasleitung **1004**, die Rückführungsleitung **1002** und die Reinigungseinheit **1005** mittels eines Verfahrens zum Herstellen dieser Elemente in einem herkömmlichen Abgassystem hergestellt werden. Im Folgenden wird hauptsächlich die Heizvorrichtung **100** beschrieben.

[0094] Zuerst wird ein Verfahren zum Herstellen des Schallwellengenerators **100A** beschrieben. Zu Beginn wird nachfolgend ein Verfahren zum Herstellen des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** beschrieben.

[0095] Bindemittel, Dispergiermittel, Porenbildner, Wasser und dergleichen werden einem keramischen Rohstoff zugesetzt, um einen Formungsrohstoff herzustellen. Der keramische Rohstoff enthält vorzugsweise einen oder zwei oder mehr Stoffe in Kombination von einem Cordierit-Formungsrohstoff, einem Verbundwerkstoff auf Basis von Siliciumcarbid-Cordierit, Aluminiumtitanat, Siliciumcarbid, einem Verbundwerkstoff auf Basis von Silicium-Siliciumcarbid, Aluminiumoxid, Mullit, Spinell, Lithiumaluminiumsilikat und einer Legierung auf Fe-Cr-Al-Basis. Davon ist ein Cordierit-Formungsrohstoff vorzuziehen. Wie oben erwähnt, ist der Cordierit-Formungsrohstoff ein keramischer Rohstoff, welcher so formuliert ist, dass er eine chemische Zusammensetzung im Bereich von 42 bis 56 Massen-% Siliciumdioxid, 30 bis 45 Massen-% Aluminiumoxid und 12 bis 16 Massen-% Magnesia hat, und bildet er nach dem Brennen Cordierit. Der Anteil des keramischen Rohstoffs beträgt vorzugsweise 40 bis 90 Massen-%, bezogen auf den Formungsrohstoff als Ganzes.

[0096] Beispielhaftes Bindemittel enthält Methylcellulose, Hydroxypropoxylcellulose, Hydroxyethylcellulose, Carboxymethylcellulose oder Polyvinylalkohol. Davon werden Methylcellulose und Hydroxypropoxylcellulose vorzugsweise miteinander verwendet. Der Bindemittel-Gehalt beträgt vorzugsweise 2 bis 20 Massen-%, bezogen auf den Formungsrohstoff als Ganzes.

[0097] Der Wassergehalt beträgt vorzugsweise 7 bis 45 Massen-%, bezogen auf den Formungsrohstoff als Ganzes.

[0098] Zu Beispielen des verwendeten Dispergiermittels zählen Ethylenglykol, Dextrin, verseifte Fettsäure und Polyalkohol. Sie können allein oder in Kombination von zwei oder mehr Mitteln verwendet werden. Der Dispergiermittel-Gehalt beträgt vorzugsweise 5 Massen-% oder weniger, bezogen auf den Formungsrohstoff als Ganzes.

[0099] Zu Beispielen des verwendeten Porenbildners zählen Stärke, schäumbares Harz, wasserabsorbierendes Harz oder Kieselgel. Ein Porenbildner wird möglicherweise nicht verwendet.

[0100] Nun wird ein geknetetes Material durch Kneten des Formungsrohstoffs hergestellt. Ein Verfahren zum Herstellen eines gekneteten Materials durch Kneten des Formungsrohstoffs ist nicht besonders beschränkt. Zum Beispiel kann eine Knetmaschine oder ein Unterdruck-Zwangsmischer für diesen Zweck verwendet werden.

[0101] Nun wird das geknetete Material extrudiert, wodurch ein wabenförmiger Körper hergestellt wird, welcher eine Trennwand enthält, die eine Vielzahl von Zellen definiert. Zur Extrusion wird vorzugsweise ein Formwerkzeug mit einer dem hydraulischen Durchmesser und der Form der offenen Stirnfläche der Zellen, der Form des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A**, der Form der Zellen und dem Intervall der Zellen wie oben erwähnt entsprechenden Form verwendet. Ein vorzuziehendes Material des Formwerkzeugs ist verschleißfestes Hartmetall. Werte des hydraulischen Durchmessers, der offenen Stirnfläche oder dergleichen jeder Zelle des wabenförmigen Körpers werden vorzugsweise unter gleichzeitiger Berücksichtigung auch der später beschriebenen, beim Trocknen und Brennen erzeugten Schrumpfung festgelegt.

[0102] Hierin gibt es, wenn ein solches erstes Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser und einer großen offenen Stirnfläche (hohen Zellendichte) der Zellen wie oben erwähnt für einen stärkeren thermoakustischen Effekt hergestellt wird, die folgenden zwei Probleme. Diese beiden Probleme können der Herstellung eines solchen ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** durch einfaches Verwenden eines herkömmlichen Extrusionsverfahrens, wie es (unter Verwendung eines abgesehen davon, dass ein Formwerkzeug durch ein hochdichtes Formwerkzeug zum Bilden von Poren ersetzt ist, ähnlichen Extrusionsverfahrens) für eine herkömmliche Wabenstruktur zum Aufbringen eines Katalysators zur Abgasreinigung verwendet wird, welches frei von solchen Einschränkungen ist, um einen stärkeren thermoakustischen Effekt zu erzielen, im Wege stehen.

[0103] Das erste Problem ist, dass während der Extrusion bei einer hohen Temperatur extrudiertes geknetetes Material an den Löchern in einem Formwerkzeug anhaftet, was leicht zu Verstopfen führt. Dieses Problem ist im oben erwähnten Patentdokument JP-A-2012-237295 auch in Absatz [0021] erwähnt.

[0104] Das zweite Problem ist, dass ein für eine Wabenstruktur mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser und einer großen offenen Stirnfläche

(hohen Zellendichte) jeder Zelle wie beim ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** wie oben erwähnt verwendetes Formwerkzeug unvermeidlich einen sehr dünnen und winzigen Teil enthält (typischerweise einen Teil von etwa 0,3 mm Dicke). Ein solcher winziger Teil wird häufig durch viskose Reibung während der Extrusion von geknetetem Material beschädigt (z. B. zerrissen).

[0105] Dann hat das Herstellungsverfahren des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** wie oben erwähnt die folgende Konfiguration, um diese beiden Probleme zu lösen.

[0106] Was das erste Problem anbelangt, wird vor der Extrusion unter Verwendung eines für das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** mit einem sehr kleinen hydraulischen Durchmesser und einer großen offenen Stirnfläche (hohen Zellendichte), d. h., mit einem hydraulischen Durchmesser jeder Zelle, welcher 0,4 mm oder kleiner ist, und einer offenen Stirnfläche, welche 60% oder mehr und 93% oder weniger beträgt, geeigneten Formwerkzeugs (im Folgenden als reales Formwerkzeug bezeichnet) ein geknetetes Material unter Verwendung eines weiteren Formwerkzeugs (im Folgenden als Dummy-Formwerkzeug bezeichnet) mit einer sehr kleinen Rippendicke, welche 0,04 mm oder größer und 0,09 mm oder kleiner ist, extrudiert. Die „Rippendicke" bezieht sich hier auf die Dicke der Trennwand des wabenförmigen Körpers und meint eine Schlitzbreite des Formwerkzeugs. Jeder Schlitz des Formwerkzeugs ist ein Loch zum Ausstoßen des gekneteten Materials und soll die Form jedes Trennwandteils in der herzustellenden Wabenstruktur festlegen. Im Folgenden meint die „Rippendicke" die Schlitzbreite. Die Extrusion unter Verwendung eines solchen Dummy-Formwerkzeugs kann zuvor den Bestandteil des gekneteten Materials, welcher dazu neigt, eine Ursache des Verstopfens zu sein, entfernen. Dann wird die Extrusion mit einem realen Formwerkzeug für das der Extrusion unterzogene geknetete Material durchgeführt, wodurch das Verstopfen wie oben erwähnt unterbunden werden kann.

[0107] Das zweite Problem wird gelöst durch starkes Senken der Viskosität des zur Extrusion verwendeten gekneteten Materials, verglichen mit der Viskosität eines für eine herkömmliche Wabenstruktur verwendeten gekneteten Materials zum Aufbringen eines Katalysators zur Abgasreinigung, um die viskose Reibung zu verringern und dabei gleichzeitig den Bereich einer formerhaltenden Eigenschaft (d. h. die Form des geformten Körpers wird nicht verzogen) des geformten Körpers des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** während der Extrusion aufrechtzuerhalten. Um auf diese Weise die Viskosität des gekneteten Materials zu senken und dabei gleichzeitig die Bedingung, eine formerhaltende Eigenschaft aufrechtzuerhalten, zu erfüllen, muss der Wasseranteil im gekneteten Material strenger kontrolliert werden als bei der Herstellung einer herkömmlichen Wabenstruktur zum Aufbringen eines Katalysators zur Abgasreinigung (d. h., Eingrenzen einer Abweichung zwischen dem Sollwert des Wasseranteils und dem Ist-Wasseranteil in einem sehr engen Bereich). Speziell beträgt der Wasseranteil im gekneteten Material 40 bis 42 Massenteile, bezogen auf 100 Massenteile des festen Bestandteils des gekneteten Materials, welcher zum Herstellen des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** wie oben erwähnt verwendet wird, während der Wasseranteil im gekneteten Material 25 bis 35 Massenteile, bezogen auf 100 Massenteile des festen Bestandteils des gekneteten Materials, welcher zum Herstellen einer herkömmlichen Wabenstruktur zum Aufbringen eines Katalysators zur Abgasreinigung verwendet wird, beträgt. Wenn der Wasseranteil im gekneteten Material zunimmt, nimmt die Viskosität des gekneteten Materials ab und treten angemessene Schwankungen in der Form des geformten Körpers des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** auf. Dies führt zu einem weiteren vorteilhaften Effekt, dass selbsterregte Schwingungen von Schallwellen wahrscheinlich auftreten.

[0108] Im Folgenden wird die Beschreibung der folgenden Verarbeitung für den wabenförmigen Körper, welchen man durch die Extrusion erhält, fortgesetzt.

[0109] Der so erhaltene wabenförmige Körper wird vor dem Brennen getrocknet. Ein Verfahren zum Trocknen ist nicht besonders beschränkt, und zu beispielhaften Verfahren zählen ein elektromagnetische Wellen nutzendes Erwärmungsverfahren wie Mikrowellentrocknung und Hochfrequenzinduktionstrocknung und ein externes Erwärmungsverfahren wie Heißlufttrocknung und Heißdampftrocknung. Eine bestimmte Menge Wasser kann mittels eines elektromagnetische Wellen nutzenden Erwärmungsverfahrens getrocknet werden, gefolgt von einem externen Erwärmungsverfahren zum Trocknen des übrigen Wassers. In diesem Fall ist es vorzuziehen, dass 30 bis 90 Massen-% Wasser, bezogen auf die Wassermenge vor dem Trocknen, durch ein elektromagnetisches Erwärmungsverfahren entfernt werden, gefolgt von einem externen Erwärmungsverfahren zum Verringern der Wassermenge auf 3 Massen-% oder weniger. Ein vorzuziehendes elektromagnetische Wellen nutzendes Erwärmungsverfahren ist Induktionstrocknung, und ein vorzuziehendes externes Erwärmungsverfahren ist Heißlufttrocknung.

[0110] Wenn die Länge des wabenförmigen Körpers in der Zellenausdehnungsrichtung keine gewünschte Länge ist, ist es vorzuziehen, beide Stirnseiten (Endteile) auf die gewünschte Länge zu beschneiden. Obwohl ein Verfahren zum Beschneiden nicht besonders beschränkt ist, ist ein beispielhaftes Verfahren ein eine Kreissäge verwendendes Verfahren.

[0111] Nun wird dieser wabenförmige Körper gebrannt. Es ist vorzuziehen, vor dem Brennen eine Kalzinierung durchzuführen, um das Bindemittel und dergleichen zu entfernen. Die Kalzinierung erfolgt vorzugsweise 0,5 bis 20 Stunden lang bei 400 bis 500°C in der Umgebungsatmosphäre. Ein Verfahren zum Kalzinieren oder Brennen (Hauptbrennen) ist nicht besonders beschränkt, und die Verfahren können unter Verwendung eines Elektroofens, eines Gasofens oder dergleichen durchgeführt werden. Was die Brenn-(Hauptbrenn-)Bedingungen anbelangt, wird, wenn zum Beispiel ein Verbundwerkstoff auf Silicium-Siliciumcarbid-Basis verwendet wird, dieser vorzugsweise 1 bis 20 Stunden lang in einer inerten Atmosphäre aus Stickstoff, Argon oder dergleichen auf 1.300 bis 1.500°C erwärmt. Bei Verwendung eines Materials auf Oxidbasis wird dieses vorzugsweise 1 bis 20 Stunden lang in einer Sauerstoffatmosphäre auf 1.300 bis 1.500°C erwärmt.

[0112] Schließlich wird, wenn eine gewünschte Querschnittsform (z. B. ein Kreis wie in **Fig.** 4) des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** erforderlich ist, der Umfangsteil des wabenförmigen Körpers nach dem Brennen nach Bedarf beschnitten, um die Form zu korrigieren. Dann wird nach dem Beschneiden ein Außenbeschichtungsmaterial auf die Umfangsfläche des wabenförmigen Körpers aufgebracht, gefolgt von Trocknen, wodurch eine Umfangswand **13** gebildet wird. Hierin kann das verwendete Außenbeschichtungsmaterial zum Beispiel Schlamm sein, welcher durch Zusetzen eines Zusatzes wie eines organischen Bindemittels, eines schäumbarem Harzes oder eines Dispergiermittels zu einem anorganische Partikel und kolloidales Oxid enthaltenden Rohstoff, welchem Wasser zugesetzt wird, gefolgt von Kneten, hergestellt wird. Zu beispielhaften anorganischen Partikeln zählen hierin Partikel aus einem einen oder zwei oder mehr Stoffe in Kombination von Cordierit, Aluminiumoxid, Aluminiumtitanat, Siliciumcarbid, Siliciumnitrid, Mullit, Zirconiumdioxid, Zirconiumphosphat und Titandioxid enthaltenden keramischen Material oder Partikel aus Metall auf Fe-Cr-Al-Basis, Metall auf Nickelbasis und Verbundwerkstoffen auf Basis von Silicium-(Metall-Silicium-)Siliciumcarbid. Beispielhafte kolloidale Oxide sind Kieselsol und Aluminiumoxid-Sol. Ein Verfahren zum Aufbringen des Außenbeschichtungsmaterials ist nicht besonders beschränkt, und zum Beispiel kann das Beschichtungsmaterial zum Beispiel mit einem Gummispachtel aufgetragen werden, während der wabenförmige Körper nach dem Beschneiden auf einem Rad rotiert.

[0113] Durch diese Schritte wird das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement **1A** schließlich fertiggestellt.

[0114] Nun wird im Folgenden ein Verfahren zum Herstellen des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** in **Fig.** 2 beschrieben.

[0115] Die wärmetauschende Wabenstruktur **20** des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers **2A** in den **Fig.** 2 und **Fig.** 3 kann, wenn ein SiC (Siliciumcarbid) enthaltendes keramisches Material als ihr Hauptbestandteil verwendet wird, mittels eines Verfahrens, welches man durch teilweises Ändern des Verfahrens zum Herstellen des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** wie oben erwähnt erhält, hergestellt werden. Speziell unterscheidet sich das Verfahren darin, dass ein Gemisch aus Kohlepulver (z. B. Graphitpulver) und SiC-Pulver als der keramische Rohstoff verwendet wird und ein für einen wabenförmigen Körper geeignetes Formwerkzeug mit einem relativ großen hydraulischen Durchmesser HD der Zellen als das Formwerkzeug zur Extrusion verwendet wird.

[0116] Besonders beim Herstellen der einen Si-getränkten SiC-Verbundwerkstoff als einen Hauptbestandteil enthaltenden wärmetauschenden Wabenstruktur **20** ist es vorzuziehen, dass ein durch Vermischen von SiC-Pulver mit Kohlepulver und Kneten zur Einstellung hergestelltes geknetetes Material zu einem wabenförmigen Körper geformt wird, dann eine Trocknungs- und eine Brennverarbeitung daran durchgeführt werden und dann dieser wabenförmige Körper mit geschmolzenem Silicium (Si) getränkt wird. Eine solche Verarbeitung kann eine Konfiguration bilden, bei welcher eine Koagulation von Metall-Si (Metall-Silicium) die Oberfläche von SiC-Partikeln nach der Brennverarbeitung umgibt und SiC-Partikel durch Metall-Si fest miteinander verbunden sind. Eine solche Konfiguration kann eine hohe Wärmebeständigkeit und eine hohe Wärmeleitfähigkeit erreichen und dabei gleichzeitig die dichte Konfiguration mit geringer Porosität aufweisen. Zusätzlich zum geschmolzenen Silicium (Si) können auch andere Metalle wie Al, Ni, Cu, Ag, Be, Mg und Ti zur Tränkung verwendet werden. In diesem Fall umgibt nach dem Brennen eine Koagulation von Metall-Si (Metall-Silicium) und weiteren zur Tränkung verwendeten Metallen die Oberfläche von SiC-Partikeln, und in der gebildeten Konfiguration sind SiC-Partikel durch Metall-Si und weitere zur Tränkung verwendete Metalle fest miteinander verbunden. Auch eine solche Konfiguration kann eine hohe Wärmebeständigkeit und eine hohe Wärmeleitfähigkeit erreichen und dabei gleichzeitig die dichte Konfiguration mit geringer Porosität aufweisen.

[0117] Die aus Metall bestehende wärmetauschende Wabenstruktur **20** kann mittels eines herkömmlichen Herstellungsverfahrens, welches verwendet wird, um eine Metallwabenstruktur herzustellen, wie eines Verfahrens zum Bilden einer Wabenstruktur unter Verwendung einer Form oder eines Verfahrens

zum Bilden einer Wabenstruktur durch Schneiden hergestellt werden.

[0118] Das Wärmetauschergehäuse in **Fig.** 3, welches die wärmetauschende Wabenstruktur **20** umgibt, kann zum Beispiel durch Verarbeitung des gleichen Materials wie desjenigen der Rückführungsleitung **1002** hergestellt werden, und dafür kann ein herkömmliches Herstellungsverfahren verwendet werden.

[0119] Auf diese Weise wird der hochtemperaturseitige Wärmetauscher **2A** schließlich fertiggestellt.

[0120] Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher **3A** in **Fig.** 2 kann mittels eines herkömmlicherweise bekannten Verfahrens zum Herstellen eines Wärmetauschers hergestellt werden.

[0121] Dies ist die Beschreibung des Verfahrens zum Herstellen des Schallwellengenerators **100A**.

[0122] Der Wärmeübertragungsteil **100B** kann eine Konfiguration ähnlich dem Schallwellengenerator **100A** wie oben erwähnt haben, und daher kann er ähnlich dem Schallwellengenerator **100A** wie oben erwähnt hergestellt werden.

[0123] Die Übertragungsleitung **100C** kann durch Formen eines Materials mit hoher Beständigkeit zu einer ringförmigen Form hergestellt werden (hier ist zu beachten, dass es eine ringförmige Form mit einem fehlenden Teil ist, um die Verbindung mit dem Schallwellengenerator **100A** und dem Wärmeübertragungsteil **100B** zu ermöglichen). Das Material mit hoher Beständigkeit ist nicht besonders beschränkt, und zu Beispielen davon zählen Metall wie Eisen, ein Hartkunststoff, gehärtetes Glas sowie ein keramisches Material (z. B. die als das Material des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** wie oben erwähnt aufgeführten).

[0124] Dies ist die Beschreibung des Verfahrens zum Herstellen der Heizvorrichtung **100**.

[0125] Wie oben erwähnt, kann für die Elemente wie die Abgasleitung **1004**, die Rückführungsleitung **1002** und die Reinigungseinheit **1005** außer der Heizvorrichtung **100** im Abgassystem **1000** ein Verfahren zum Herstellen dieser Elemente eines herkömmlichen Abgassystems unverändert verwendet werden. Zum Beispiel können die Abgasleitung **1004** und die Rückführungsleitung **1002** hergestellt werden, indem ein Material mit hoher Wärmebeständigkeit so geformt wird, dass es eine Form hat, welche sich mit dem Schallwellengenerator **100A** und dem Wärmeübertragungsteil **100B** wie in **Fig.** 1 gezeigt verbinden lässt. Das Material mit hoher Wärmebeständigkeit ist nicht besonders beschränkt, und zu speziellen Beispielen davon zählen hochwärmebeständiger Edelstahl, Metall wie Eisen oder Kupfer sowie ein keramisches Material (z. B. die als das Material des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements **1A** und der wärmetauschenden Wabenstruktur **20** in **Fig.** 2 aufgeführten). Die Reinigungseinheit **1005** kann mittels eines Herstellungsverfahrens für eine herkömmliche Reinigungseinheit je nach Art der Antriebseinheit hergestellt werden. Zum Beispiel kann, wenn ein Abgassystem für einen Dieselmotor wie beim Abgassystem **2000** in **Fig.** 5 beschrieben vorgesehen ist, ein Verfahren zum Herstellen einer herkömmlichen SCR-Katalysatoreinheit verwendet werden. Wenn ein Abgassystem für einen Ottomotor wie beim Abgassystem **3000** in **Fig.** 6 beschrieben vorgesehen ist, kann ein Verfahren zum Herstellen einer herkömmlichen Drei-Wege-Katalysatoreinheit verwendet werden.

[0126] Dies ist die Beschreibung des Verfahrens zum Herstellen des Abgassystems **1000** (z. B. des Abgassystems **2000** in **Fig.** 5 oder des Abgassystems **3000** in **Fig.** 6) mit der Heizvorrichtung **100** in **Fig.** 1, in welcher die speziellen Beispiele des Schallwellengenerators **100A** (und des Wärmeübertragungsteils **100B**) in den **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 verwendet wird (werden).

(Beispiele)

[0127] Im Folgenden werden spezielle Beispiele beschrieben, welche die vorteilhaften Wirkungen der vorliegenden Erfindung aufweisen, und die vorliegende Erfindung ist keinesfalls auf diese Beispiele beschränkt.

(Beispiel 1)

[0128] Beispiel 1 ist ein Beispiel des Abgassystems **2000** in **Fig.** 5, in welchem die speziellen Beispiele der **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 wie oben erwähnt als der Schallwellengenerator **100A** und der Wärmeübertragungsteil **100B** verwendet werden. Das Abgassystem aus Beispiel 1 ist mit einem Dieselmotor mit einem Hubraum von 10 l verbunden, und im Folgenden wird Beispiel 1 mittels spezieller Zahlenwerte beschrieben.

[0129] Als die Abgasleitung wurde eine rohrförmige Metallleitung von 60 mm Durchmesser verwendet, und als die Rückführungsleitung wurde eine rohrförmige Metallleitung von 30 mm Durchmesser verwendet. Für den DOC-Träger, den DPF und die SCR-Katalysatoreinheit wurde eine rundsäulenförmige Wabenstruktur von 300 mm Durchmesser verwendet, und besonders für den DOC-Träger und die SCR-Katalysatoreinheit wurde ein Elemente der Platingruppe enthaltender Oxidationskatalysator beziehungsweise ein SCR-Katalysator auf Zeolithbasis auf den Innenwandflächen der Zellen der Wabenstrukturen angeordnet. Als die Harnstoffeinspritzvorrichtung wurde eine handelsübliche Einspritzvorrichtung für SCR-Katalysatoreinheiten verwendet.

[0130] Als das Arbeitsfluid wurde Heliumgas mit einem Druck von 30 Atmosphären verwendet, und die verwendete Übertragungsleitung des Arbeitsfluids hatte einen Durchmesser von 20 mm. Als das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement des Schallwellengenerators wurde eine Cordierit-Wabenstruktur verwendet, welche eine Rundsäulenform von 40 mm Durchmesser und 60 mm Länge hatte, wobei jede Zelle einen hydraulischen Durchmesser von 0,2 mm hatte und eine offene Stirnfläche an den Stirnseiten etwa 78% betrug. In Beispiel 1 war das zweite Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement des Wärmeübertragungsteils eine Cordierit-Wabenstruktur, welche die gleiche wie beim ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement war, und im Folgenden werden diese beiden zusammen einfach als ein Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement beschrieben.

[0131] Das Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement wurde wie folgt hergestellt.

[0132] Ein Cordierit-Formungsrohstoff wurde als der keramische Rohstoff verwendet, und 1 Massenteil Porenbildner, 35 Massenteile Dispersionsmedium, 6 Massenteile organisches Bindemittel und 0,5 Massenteile Dispergiermittel wurden 100 Massenteilen des Cordierit-Rohstoffs zugesetzt, gefolgt von Mischen und Kneten, um ein geknetetes Material herzustellen. Der verwendete Cordierit-Rohstoff enthielt 38,9 Massenteile Talkum von 3 μm durchschnittlichem Partikeldurchmesser, 40,7 Massenteile Kaolin von 1 μm durchschnittlichem Partikeldurchmesser, 5,9 Massenteile Aluminiumoxid von 0,3 μm durchschnittlichem Partikeldurchmesser und 11,5 Massenteile Böhmit von 0,5 μm durchschnittlichem Partikeldurchmesser. Hierin bezieht sich der durchschnittliche Partikeldurchmesser auf einen Mediandurchmesser (d50) in der Partikelverteilung jedes Rohstoffs.

[0133] Wasser wurde als das Dispersionsmedium verwendet. Hydroxypropylmethylcellulose wurde als das organische Bindemittel verwendet. Ethylenglykol wurde als das Dispergiermittel verwendet.

[0134] Nun wurde das so erhaltene geknetete Material unter Verwendung eines Formwerkzeugs extrudiert, so dass ein dreieckige Zellen enthaltender wabenförmiger Körper mit einer kreisrunden Gesamtform hergestellt wurde. Bei dieser Extrusion wurde vor der Extrusion unter Verwendung eines dem Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement in Beispiel 1 entsprechenden realen Formwerkzeugs das geknetete Material unter Verwendung eines Dummy-Formwerkzeugs von etwa 0,07 mm Rippendicke extrudiert wie oben erwähnt. Dann wurde mit dem gekneteten Material nach der Extrusion unter Verwendung dieses Dummy-Formwerkzeugs die Extrusion unter Verwendung des realen Formwerkzeugs durchgeführt. Dabei wurde der Wasseranteil im zur Extrusion mittels des realen Formwerkzeugs verwendeten gekneteten Material im Bestandteil des gekneteten Materials streng kontrolliert, so dass er 41 Massenteile (bei einem Fehler von maximal ±1 Massenteil), bezogen auf 100 Massenteile des festen Bestandteils des gekneteten Materials, betrug.

[0135] Dann wurde dieser wabenförmige Körper mit einem Mikrowellentrockner getrocknet und wurde er weiter mit einem Heißlufttrockner vollständig getrocknet, und dann wurden beide Stirnseiten des wabenförmigen Körpers beschnitten, um die Länge des wabenförmigen Körpers in der Zellenausdehnungsrichtung einzustellen. Ein solcher wabenförmiger Körper wurde mittels eines Heißlufttrockners getrocknet und dann 5 Stunden lang bei 1.445°C gebrannt.

[0136] Schließlich wurde der Umfangsteil des wabenförmigen Körpers nach dem Brennschritt nach Bedarf beschnitten, um die Form zu einer Rundsäulenform zu korrigieren. Dann wurde nach dem Beschneiden ein Außenbeschichtungsmaterial auf die Umfangsfläche des wabenförmigen Körpers aufgebracht, gefolgt von Trocknen, wodurch eine Umfangswand gebildet wurde. Hierin war das Außenbeschichtungsmaterial durch Zusetzen von organischem Bindemittel und Dispergiermittel zu einem Cordieritpartikel und Kieselsol enthaltenden Rohstoff, zu welchem Wasser zugesetzt und geknetet wurde, hergestellter Schlamm. Als ein Verfahren zum Aufbringen des Außenbeschichtungsmaterials wurde das Beschichtungsmaterial zum Beispiel mit einem Gummispachtel aufgetragen, während der wabenförmige Körper nach dem Beschneiden auf einem Rad rotierte.

[0137] Durch diese Schritte wurde ein Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement fertiggestellt. Am fertiggestellten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement wurden der hydraulische Durchmesser HD der Zellen in einer Ebene senkrecht (senkrechten Ebene) zur Zellenausdehnungsrichtung und die offene Stirnfläche an den Stirnseiten des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements gemessen. Infolgedessen war der hydraulische Durchmesser HD der Zellen 0,2 mm und war die offene Stirnfläche an den Stirnseiten des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements etwa 78% wie oben erwähnt.

[0138] Den hydraulischen Durchmesser HD der Zellen erhielt man wie folgt. Das heißt, ein vergrößertes Foto des Querschnitts des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements in der senkrechten Ebene wurde aufgenommen und zehn Zellen wurden zufällig aus diesem vergrößerten Foto des Querschnitts ausgewählt. Dann wurde der hydraulische Durchmesser jeder Zelle durch den Ausdruck zum Definieren des hydraulischen Durchmessers: $HD = 4 \times S/C$ berechnet, wobei S die Querschnittsfläche der Zelle bezeichnet

und C den Umfang dieses Abschnitts bezeichnet, und dann wurde deren Durchschnitt als der hydraulische Durchmesser berechnet.

[0139] Die offene Stirnfläche erhielt man durch Aufnehmen eines Bilds des Querschnitts in der senkrechten Ebene mit einem Mikroskop und Ermitteln der Material-Teilfläche S1 und der Lücken-Teilfläche S2 aus dem aufgenommenen Bild des Querschnitts. Dann ergab sich die offene Stirnfläche, auf der Grundlage von S1 und S2, als S2/(S1 + S2). Es ist zu beachten, dass die offene Stirnfläche am Querschnitt als Ganzes als gleich der offenen Stirnfläche an der Stirnseite angesehen wird und dann die offene Stirnfläche am Querschnitt als Ganzes als die offene Stirnfläche an der Stirnseite angesehen wird.

[0140] Für den hochtemperaturseitigen Wärmetauscher des Schallwellengenerators wurde das mit der Rückführungsleitung von 30 mm Durchmesser gekoppelte Wärmetauschergehäuse hergestellt, und der hochtemperaturseitige Wärmetauscher wurde wie folgt hergestellt. Hier ist zu beachten, dass in Beispiel 1 der stromaufwärts liegende Wärmetauscher des verwendeten Wärmeübertragungsteils der gleiche wie der hochtemperaturseitige Wärmetauscher des Schallwellengenerators war, abgesehen davon, dass der stromaufwärts liegende Wärmetauscher mit der Abgasleitung von 60 mm Durchmesser gekoppelt war, und mittels eines ähnlichen Herstellungsverfahrens hergestellt wurde.

[0141] Ein geknetetes Material wurde mittels eines ähnlichen Verfahrens hergestellt, abgesehen davon, dass beim Verfahren zum Herstellen des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements wie oben erwähnt ein Gemisch aus Kohlepulver (z. B. Graphitpulver) und SiC-Pulver anstelle des Cordierit-Formungsrohstoffs verwendet wurde.

[0142] Nun wurde das so erhaltene geknetete Material unter Verwendung eines Formwerkzeugs so extrudiert, dass ein dreieckige Zellen enthaltender wabenförmiger Körper hergestellt wurde. Verglichen mit dem Formwerkzeug für den wabenförmigen Körper, welches beim Herstellungsverfahren des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements in Beispiel 1 wie oben erwähnt verwendet wurde, war dieses Formwerkzeug geeignet, einen wabenförmigen Körper mit einem relativ großen hydraulischen Durchmesser der Zellen herzustellen.

[0143] Dann wurde der wabenförmige Körper nach der Extrusion mit einem Mikrowellentrockner getrocknet und dann wurde er mit einem Heißlufttrockner vollständig getrocknet, und dann wurden beide Stirnseiten des wabenförmigen Körpers beschnitten, um die Länge des wabenförmigen Körpers in der Zellendurchdringungsrichtung einzustellen. Ein solcher wabenförmiger Körper wurde durch einen Heißlufttrockner getrocknet und wurde dann bei 1.445°C 5 Stunden lang gebrannt.

[0144] Nach dem Brennen des geformten Körpers wurde dieser wabenförmige Körper mit geschmolzenem Silicium (Si) getränkt.

[0145] Nun wurde der Umfangsteil des wabenförmigen Körpers nach der Tränkung zu einer Rundsäulenform beschnitten, so dass die Querschnittsform des wabenförmigen Körpers mit der Form des Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements wie oben erwähnt übereinstimmte. Dann wurde nach dem Beschneiden ein Außenbeschichtungsmaterial auf die Umfangsfläche der wabenförmigen Körper aufgebracht, gefolgt von Trocknen. Ein Aufbringungsverfahren war dabei das Verwenden eines Gummispachtels, während der wabenförmige Körper nach dem Beschneiden auf einem Rad rotierte. Das verwendete Außenbeschichtungsmaterial war ein durch Zusetzen von organischem Bindemittel, schäumbarem Harz und Dispergiermittel zu einem Partikel aus einem Material auf Basis von Silicium-(Metall-Silicium-)Siliciumcarbid und Kieselsol enthaltenden Rohstoff ähnlich dem den wabenförmigen Körper nach dem Sintern, welchem Wasser zugesetzt wurde, bildenden Material, gefolgt von Kneten, hergestellter Schlamm.

[0146] Schließlich wurde eine Schlitzbildungsverarbeitung unter Verwendung einer Diamantschleifscheibe an der Umfangswand des wabenförmigen Körpers durchgeführt, auf welche das Außenbeschichtungsmaterial aufgebracht wurde, gefolgt von Trocknen, so dass ein Schlitz entlang der Zellendurchdringungsrichtung gebildet wurde. Durch einen solchen Prozess wurde die wärmetauschende Wabenstruktur fertiggestellt.

[0147] Die so fertiggestellte wärmetauschende Wabenstruktur wurde im Wärmetauschergehäuse befestigt, wodurch der hochtemperaturseitige Wärmetauscher fertiggestellt wurde.

[0148] Der niedertemperaturseitige Wärmetauscher des Schallwellengenerators wurde durch Herstellen des mit einem Kühler verbundenen und mit einer Kühlleitung, durch welche Wasser mit etwa 40°C zur Motorkühlung strömte, gekoppelten Wärmetauschergehäuses und durch Einbauen des Maschenschichtkörpers in einen mittigen Teil dieses Wärmetauschergehäuses hergestellt. Hierin hatte dieses Wärmetauschergehäuse eine Form, welche, abgesehen von der Größe, im Wesentlichen die gleiche wie diejenige des Wärmetauschergehäuses des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers war. In Beispiel 1 war der stromabwärts liegende Wärmetauscher des Wärmeübertragungsteils, abgesehen davon, dass er mit der Abgasleitung von 60 mm Durchmesser gekoppelt war, der gleiche wie der niedertemperaturseiti-

ge Wärmetauscher des Schallwellengenerators und wurde er mittels eines ähnlichen Herstellungsverfahrens hergestellt.

[0149] Als weitere Elemente des Schallwellengenerators und des Wärmeübertragungsteils in Beispiel 1 wurden z. B. das Metallelement und das Zwischenelement, ein durch Verarbeiten einer Kupferplatte hergestelltes Metallelement beziehungsweise ein aus einer bekannten wärmebeständigen, isolierenden Glasfaser (wie Siliglass) gefertigtes Zwischenelement, verwendet.

[0150] Ein Betriebsversuch wurde unter Verwendung des Abgassystems für einen Dieselmotor in Beispiel 1 wie oben erwähnt durchgeführt, und in diesem Versuch wurde ein Dieselmotor 20 s lang oder länger betrieben, bis die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Dieselmotor sich bei etwa 200°C stabilisierte. Dabei lag die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar nach Abzweigung in die Rückführungsleitung ebenfalls ungefähr bei 200°C.

[0151] In diesem Zustand wurde die Abgastemperatur in der Abgasleitung unmittelbar nach Durchströmen der Kopplungsposition des stromaufwärts liegenden Wärmetauschers des Wärmeübertragungsteils mit der Abgasleitung gemessen, und das Ergebnis war 210°C. Das heißt, in Beispiel 1 wurde das Abgas auf 210°C erwärmt, und ein solches erwärmtes Abgas erhielt die Einspritzung von Harnstoff aus der Harnstoffeinspritzvorrichtung und strömte dann in die SCR-Katalysatoreinheit.

[0152] Ferner wurde in diesem Zustand die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar nach Durchströmen der Kopplungsposition des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers des Schallwellengenerators mit der Rückführungsleitung gemessen, und das Ergebnis war 80°C. Das heißt, in Beispiel 1 wurde das Abgas von 200°C auf 80°C abgekühlt und strömte es dann zurück zum Dieselmotor.

[0153] In diesem Zustand wurde die Stickstoffoxiddichte im schließlich über die SCR-Katalysatoreinheit aus der Abgasleitung ausgestoßenen Abgas gemessen. Infolgedessen betrug die Stickstoffoxiddichte etwa 20×10^{-4} Volumen-%, was ein recht gutes Niveau war. Nach dem Betriebsversuch wie oben erwähnt wurden die Innenseite der den Abgasweg von der Harnstoffeinspritzvorrichtung zur SCR-Katalysatoreinheit definierenden Abgasleitung und der Umfang der SCR-Katalysatoreinheit untersucht und wurde dort kein übriger Harnstoff in flüssiger Form gefunden.

(Vergleichsbeispiel 1)

[0154] Vergleichsbeispiel 1 war ein durch Entfernen der Übertragungsleitung, des Schallwellengenerators und des Wärmeübertragungsteils, welche die Elemente der Heizvorrichtung aus Beispiel 1 wie oben erwähnt sind, erhaltenes Abgassystem für einen Dieselmotor.

[0155] Ähnlich Beispiel 1 wurde unter Verwendung des Abgassystems für einen Dieselmotor des Vergleichsbeispiels 1 der Zustand erreicht, in welchem die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Dieselmotor sich bei etwa 200°C stabilisierte. Dabei lag die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar nach Abzweigung in die Rückführungsleitung ebenfalls ungefähr bei 200°C.

[0156] In diesem Zustand wurde die Abgastemperatur in der Abgasleitung unmittelbar vor Erhalten der Einspritzung von Harnstoff aus der Harnstoffeinspritzvorrichtung gemessen, und das Ergebnis war 120°C. Das heißt, in Vergleichsbeispiel 1 erhielt das Abgas bei 120°C die Einspritzung von Harnstoff aus der Harnstoffeinspritzvorrichtung und strömte es dann in die SCR-Katalysatoreinheit.

[0157] Ferner wurde in diesem Zustand die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar vor Erreichen des Dieselmotors gemessen, und das Ergebnis war etwa 200°C. Das heißt, in Vergleichsbeispiel 1 strömte das Abgas bei einer Temperatur, welche im Wesentlichen die gleiche wie die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Dieselmotor war, zurück zum Dieselmotor.

[0158] In diesem Zustand wurde die Stickstoffoxiddichte im schließlich über die SCR-Katalysatoreinheit aus der Abgasleitung ausgestoßenen Abgas gemessen. Infolgedessen betrug die Stickstoffoxiddichte etwa 400×10^{-4} Volumen-%, was ein so hohes Niveau war, dass die Realisierung der Reinigungsfähigkeit der SCR-Katalysatoreinheit in Frage gestellt war. Tatsächlich wurden nach dem Betriebsversuch wie oben erwähnt die Innenseite der den Abgasweg von der Harnstoffeinspritzvorrichtung zur SCR-Katalysatoreinheit definierenden Abgasleitung und der Umfang der SCR-Katalysatoreinheit untersucht und war Harnstoff in flüssiger Form übrig. Dies scheint daran zu liegen, dass in Vergleichsbeispiel 1 durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung in das Abgas eingespritzter Harnstoff wegen niedriger Temperatur des Abgases nicht richtig verdampfte und daher nicht genügend Ammoniak durch Hydrolyse erzeugt wurde, welches erforderlich war, um die Reinigungsfähigkeit der SCR-Katalysatoreinheit zu realisieren.

[0159] Ein Vergleich der Ergebnisse von Beispiel 1 und Vergleichsbeispiel 1 wie oben erwähnt zeigt,

dass die aus der Übertragungsleitung, dem Schallwellengenerator und dem Wärmeübertragungsteil bestehende Heizvorrichtung das Abgas auf eine ausreichende Temperatur, welche die Reinigungsfähigkeit der SCR-Katalysatoreinheit realisieren kann, erwärmte. Der Vergleich zeigt ferner, dass gleichzeitig zum Erwärmen die Temperatur des durch die Rückführungsleitung zum Dieselmotor zurückgeströmten Abgases genügend gesenkt war.

(Beispiel 2)

[0160] Beispiel 2 ist ein Beispiel des Abgassystems **3000** in **Fig.** 6, in welchem die speziellen Beispiele der **Fig.** 2 bis **Fig.** 4 wie oben erwähnt als der Schallwellengenerator **100A** und der Wärmeübertragungsteil **100B** verwendet werden. Das Abgassystem in Beispiel 2 ist mit einem Ottomotor mit einem Hubraum von 2 l verbunden, und im Folgenden wird Beispiel 2 mittels spezieller Zahlenwerte beschrieben.

[0161] Als die Abgasleitung wurde eine rohrförmige Metallleitung von 50 mm Durchmesser verwendet, und als die Rückführungsleitung wurde eine rohrförmige Metallleitung von 25 mm Durchmesser verwendet. Als die erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit und die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit wurde eine rundsäulenförmige Wabenstruktur von 120 mm Durchmesser verwendet, und ein Elemente der Platingruppe enthaltender Drei-Wege-Katalysator wurde auf den Innenwandflächen der Zellen der Wabenstruktur angeordnet. Als die Heizvorrichtung wurde die die Übertragungsleitung, den Schallwellengenerator und den Wärmeübertragungsteil wie in Beispiel 1 beschrieben enthaltende Heizvorrichtung verwendet. Als die mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher des Schallwellengenerators gekoppelte Kühlleitung wurde eine mit einem Kühler, durch welchen Wasser bei etwa 40°C zur Motorkühlung strömte, verbundene Kühlleitung verwendet.

[0162] Ein Betriebsversuch wurde unter Verwendung des Abgassystems für einen Ottomotor in Beispiel 2 wie oben erwähnt durchgeführt, und in diesem Versuch wurde ein Ottomotor nach dem Starten des Betriebs 20 s lang oder länger betrieben, bis die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Ottomotor sich bei etwa 460°C stabilisierte. Dabei lag die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar nach Abzweigung in die Rückführungsleitung ebenfalls ungefähr bei 460°C.

[0163] In diesem Zustand wurde die Abgastemperatur in der Abgasleitung unmittelbar nach Durchströmen der Kopplungsposition des stromaufwärts liegenden Wärmetauschers des Wärmeübertragungsteils mit der Abgasleitung gemessen, und das Ergebnis war 400°C. Das heißt, in Beispiel 2 wurde das Abgas auf 400°C erwärmt, und ein solches erwärmtes Abgas strömte in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit (hierin war die Temperatur von Abgas, welches nicht erwärmt wurde, 220°C wie unten in Vergleichsbeispiel 2 beschrieben).

[0164] Ferner wurde in diesem Zustand die Abgastemperatur in der Rückführungsleitung unmittelbar nach Durchströmen der Kopplungsposition des hochtemperaturseitigen Wärmetauschers des Schallwellengenerators mit der Rückführungsleitung gemessen, und das Ergebnis war 80°C. Das heißt, in Beispiel 2 wurde das Abgas von etwa 460°C auf 80°C abgekühlt und strömte es dann zurück zum Ottomotor.

[0165] In diesem Zustand wurde die Stickstoffoxiddichte im schließlich über die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit aus der Abgasleitung ausgestoßenen Abgas gemessen. Infolgedessen betrug die Stickstoffoxiddichte etwa 5×10^{-4} Volumen-%, was ein recht gutes Niveau war.

(Vergleichsbeispiel 2)

[0166] Vergleichsbeispiel 2 war das durch Entfernen der Übertragungsleitung, des Schallwellengenerators und des Wärmeübertragungsteils, welche die Elemente der Heizvorrichtung aus Beispiel 2 wie oben erwähnt sind, erhaltene Abgassystem für einen Ottomotor.

[0167] Ein Betriebsversuch wurde unter Verwendung des Abgassystems für den Ottomotor in Vergleichsbeispiel 2 durchgeführt, und ähnlich Beispiel 2 stabilisierte sich die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Ottomotor nach 20 s oder mehr ab dem Starten des Betriebs bei etwa 460°C. Dabei lag die Abgastemperatur unmittelbar nach Abzweigung in die Rückführungsleitung ebenfalls ungefähr bei 460°C.

[0168] In diesem Zustand wurde die Abgastemperatur in der Abgasleitung unmittelbar nach Durchströmen der Kopplungsposition, an welcher der stromaufwärts liegende Wärmetauscher des Wärmeübertragungsteils mit der Abgasleitung gekoppelt war, gemessen, und das Ergebnis war 220°C. Das heißt, in Vergleichsbeispiel 2 wurde die Temperatur des Abgases auf 220°C gesenkt und strömte dann ein solches Abgas in die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit.

[0169] Ferner wurde in diesem Zustand die Temperatur des Abgases in der Rückführungsleitung unmittelbar vor Erreichen des Ottomotors gemessen, und das Ergebnis war etwa 460°C. Das heißt, in Vergleichsbeispiel 2 strömte das Abgas mit einer Temperatur, welche im Wesentlichen die gleiche wie die Temperatur des Abgases unmittelbar nach dem Ausstoß aus dem Ottomotor war, zurück zum Ottomotor.

[0170] In diesem Zustand wurde die Stickstoffoxiddichte im schließlich über die zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit aus der Abgasleitung ausgestoßenen Abgas gemessen. Infolgedessen betrug die Stickstoffoxiddichte etwa 500×10^{-4} Volumen-%, was ein so hohes Niveau war, dass die Realisierung der Reinigungsfähigkeit der zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit in Frage gestellt war.

[0171] Ein Vergleich der Ergebnisse von Beispiel 2 und Vergleichsbeispiel 2 wie oben erwähnt zeigt, dass die aus der Übertragungsleitung, dem Schallwellengenerator und dem Wärmeübertragungsteil bestehende Heizvorrichtung das Abgas auf eine ausreichende Temperatur, welche die Reinigungsfähigkeit der zweiten Drei-Wege-Katalysatoreinheit realisieren kann, erwärmte. Der Vergleich zeigt ferner, dass gleichzeitig zum Erwärmen die Temperatur des durch die Rückführungsleitung zum Ottomotor zurückgeströmten Abgases genügend gesenkt war.

[0172] Die vorliegende Erfindung ist wirkungsvoll, um Abgas einer Antriebseinheit zu reinigen und gleichzeitig Energie zu sparen.

Bezugszeichenliste

1A	erstes Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement
1B	zweites Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement
11	Trennwand
12	Zwischenelement
13	Umfangswand
14	Zelle
2A	hochtemperaturseitiger Wärmetauscher
2B	stromaufwärts liegender Wärmetauscher
20	wärmetauschende Wabenstruktur
21	Trennwand
22	Wärmetauschergehäuse
23	Umfangswand
24	Zelle
3A	niedertemperaturseitiger Wärmetauscher
3B	stromabwärts liegender Wärmetauscher
30	Maschenschichtkörper
31	Metallelement
100	Heizvorrichtung
100A	Schallwellengenerator
100B	Wärmeübertragungsteil
100C	Übertragungsleitung
101C	erster Teil
102C	zweiter Teil
1000	Abgassystem
1001	Antriebseinheit
1002	Rückführungsleitung
1003	Klappe
1004	Abgasleitung
1005	Reinigungseinheit
1006	Kühlleitung
2000	Abgassystem
2001	Dieselmotor
2002	Rückführungsleitung
2003	Klappe
2004	Abgasleitung
2005	SCR-Katalysatoreinheit
2006	Kühlleitung
2007	DOC-Träger
2008	DPF
2009	Harnstoffeinspritzvorrichtung
3000	Abgassystem
3001	Ottomotor
3002	Rückführungsleitung
3003	Klappe
3004	Abgasleitung
3005	zweite Drei-Wege-Katalysatoreinheit
3006	Kühlleitung
3007	erste Drei-Wege-Katalysatoreinheit

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- JP 2015-219962 [0001]
- JP 2931362 B [0005]
- JP 2012-237295 A [0034, 0103]

Patentansprüche

1. Abgassystem, verbunden mit einer Antriebseinheit, welche Kraftstoff verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während sie gleichzeitig Abgas erzeugt, wobei das Abgassystem enthält:
eine Abgasleitung, welche mit der Antriebseinheit verbunden ist und einen Abgasweg des durch die Antriebseinheit erzeugten Abgases zur Atmosphäre definiert;
eine Rückführungsleitung, welche im Abgasweg mit der Abgasleitung verbunden ist und einen Rückführungsweg definiert, welcher einen Teil des durch die Abgasleitung strömenden Abgases abzweigt und dem Teil gestattet, als ein Teil des Ansauggases zum Verbrennen zur Antriebseinheit zurückzuströmen;
eine Reinigungseinheit, welche im Abgasweg angeordnet ist und das Abgas, welches durch die Abgasleitung in die Reinigungseinheit strömt, ohne in die Rückführungsleitung zu strömen, mittels eines Katalysators, dessen Abgasreinigungsfähigkeit aktiviert wird, indem dieser erwärmt wird, reinigt; und
eine Heizvorrichtung, welche das Abgas erwärmt, bevor es in die Reinigungseinheit strömt, um den Katalysator in der Reinigungseinheit zu erwärmen und die Abgasreinigungsfähigkeit des Katalysators zu aktivieren, wobei
die Heizvorrichtung enthält:
einen Schallwellengenerator, welcher mit der Rückführungsleitung gekoppelt ist und durch Aufnehmen von Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung zurückströmenden Abgas und durch Abgeben der Wärme an ein Arbeitsfluid, welches schwingt, um Schallwellen zu übertragen, um das Arbeitsfluid zum Schwingen zu bringen, Schallwellen erzeugt,
eine Übertragungsleitung, welche mit dem Schallwellengenerator verbunden ist und durch eine Schwingung des Arbeitsfluids Schallwellen, welche durch den Schallwellengenerator erzeugt werden, überträgt, und
einen Wärmeübertragungsteil, welcher mit der Übertragungsleitung verbunden und mit der Abgasleitung sowohl an einer stromaufwärts liegenden Position im Abgasweg in der Ausströmrichtung vor der Reinigungseinheit als auch an einer stromabwärts liegenden Position in der Ausströmrichtung nach der Reinigungseinheit gekoppelt ist, wobei der Wärmeübertragungsteil mittels durch die Übertragungsleitung übertragener Schallwellen Wärme aus dem Abgas in der durch die stromabwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung in das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung überträgt.

2. Abgassystem nach Anspruch 1,
wobei der Schallwellengenerator enthält:
ein erstes Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement, welches eine eine Vielzahl von Zellen, welche sich zwischen zwei Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements erstrecken und welche im Innern mit zum Übertragen von Schallwellen schwingendem Arbeitsfluid gefüllt sind, definierende Trennwand aufweist, wobei das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement zwischen der Trennwand und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Schwingungen des Arbeitsfluids resultierende Schallwellenenergie ineinander umwandelt; und
einen hochtemperaturseitigen Wärmetauscher, welcher mit der Rückführungsleitung gekoppelt und nahe einer Stirnseite der beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet ist, wobei der hochtemperaturseitige Wärmetauscher Wärme aus dem durch die Rückführungsleitung strömenden Abgas aufnimmt und die Wärme an die eine Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements abgibt, und
einen niedertemperaturseitigen Wärmetauscher, welcher nahe der anderen Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet ist, wobei der niedertemperaturseitige Wärmetauscher Wärme aus der anderen Stirnseite des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements aufnimmt und die Wärme an ein vordefiniertes Kühlmittel abgibt,
wobei ein Ende der Übertragungsleitung mit dem niedertemperaturseitigen Wärmetauscher verbunden ist und die Übertragungsleitung Schallwellen, welche infolge eines Temperaturunterschieds zwischen den beiden Stirnseiten des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements durch das erste Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement erzeugt werden, vom einen Ende der Übertragungsleitung zum anderen Ende der Übertragungsleitung überträgt, und
wobei der Wärmeübertragungsteil enthält:
ein zweites Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement, welches eine eine Vielzahl von Zellen, welche sich zwischen zwei Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements erstrecken und welche im Innern mit zum Übertragen von Schallwellen schwingendem Arbeitsfluid gefüllt sind, definierende Trennwand aufweist, wobei das zweite Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement zwischen der Trennwand und dem Arbeitsfluid ausgetauschte Wärme und aus Schwingungen des Arbeitsfluids resultierende Schallwellenenergie ineinander umwandelt;
einen stromabwärts liegenden Wärmetauscher, welcher mit dem anderen Ende der Übertragungsleitung verbunden ist, welcher nahe einer Stirnseite der beiden Stirnseiten des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselement angeordnet ist und welcher an der nach der Reinigungseinheit liegenden Position mit der Abgasleitung gekoppelt ist, wobei der stromabwärts liegende Wärmetauscher Wärme aus dem Abgas in der durch die stromabwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung aufnimmt und die Wärme an die eine Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements abgibt; und

einen stromaufwärts liegenden Wärmetauscher, welcher nahe der anderen Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements angeordnet und an der vor der Reinigungseinheit liegenden Position mit der Abgasleitung gekoppelt ist, wobei der stromaufwärts liegende Wärmetauscher Wärme aus der anderen Stirnseite des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements aufnimmt und die Wärme an das Abgas in der durch die stromaufwärts liegende Position verlaufenden Abgasleitung abgibt.

3. Abgassystem nach Anspruch 2, wobei mindestens eines des ersten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements und des zweiten Wärme/Schallwellen-Umwandlungselements eine aus Cordierit bestehende Wabenstruktur enthält.

4. Abgassystem nach Anspruch 2 oder 3, wobei
die Antriebseinheit ein Dieselmotor ist, welcher Leichtöl verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während er gleichzeitig Stickstoffoxide enthaltendes Abgas erzeugt,
das Abgassystem außerdem eine Harnstoffeinspritzvorrichtung enthält, welche Harnstoff in das Abgas einspritzt, bevor es in die Reinigungseinheit strömt,
die Reinigungseinheit eine SCR-Katalysatoreinheit enthält, welcher unter Verwendung von durch Hydrolyse des durch die Harnstoffeinspritzvorrichtung eingespritzten Harnstoffs erzeugtem Ammoniak und des Katalysators zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR-Katalysators) Stickstoffoxide zu Wasser und Stickstoff reduziert, und
der stromaufwärts liegende Wärmetauscher an einer Position wie der stromaufwärts liegenden Position in der Ausströmrichtung vor einer Position, an welcher die Harnstoffeinspritzvorrichtung Harnstoff einspritzt, Wärme an das Abgas abgibt.

5. Abgassystem nach Anspruch 2 oder 3, wobei
die Antriebseinheit ein Ottomotor ist, welcher Benzin verbrennt, um Leistung zu erzeugen, während er gleichzeitig Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid enthaltendes Abgas erzeugt, und
die Reinigungseinheit eine Drei-Wege-Katalysatoreinheit enthält, welche mittels eines Drei-Wege-Katalysators Stickstoffoxide, Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid entfernt.

6. Abgassystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Übertragungsleitung eine erste Leitung, welche im Schallwellengenerator erzeugte Schallwellen zum Wärmeübertragungsteil überträgt, sowie einen zweiten Teil, welcher Schallwellen, welche den Wärmeübertragungsteil durchlaufen haben, zum Schallwellengenerator überträgt, enthält.

Es folgen 6 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

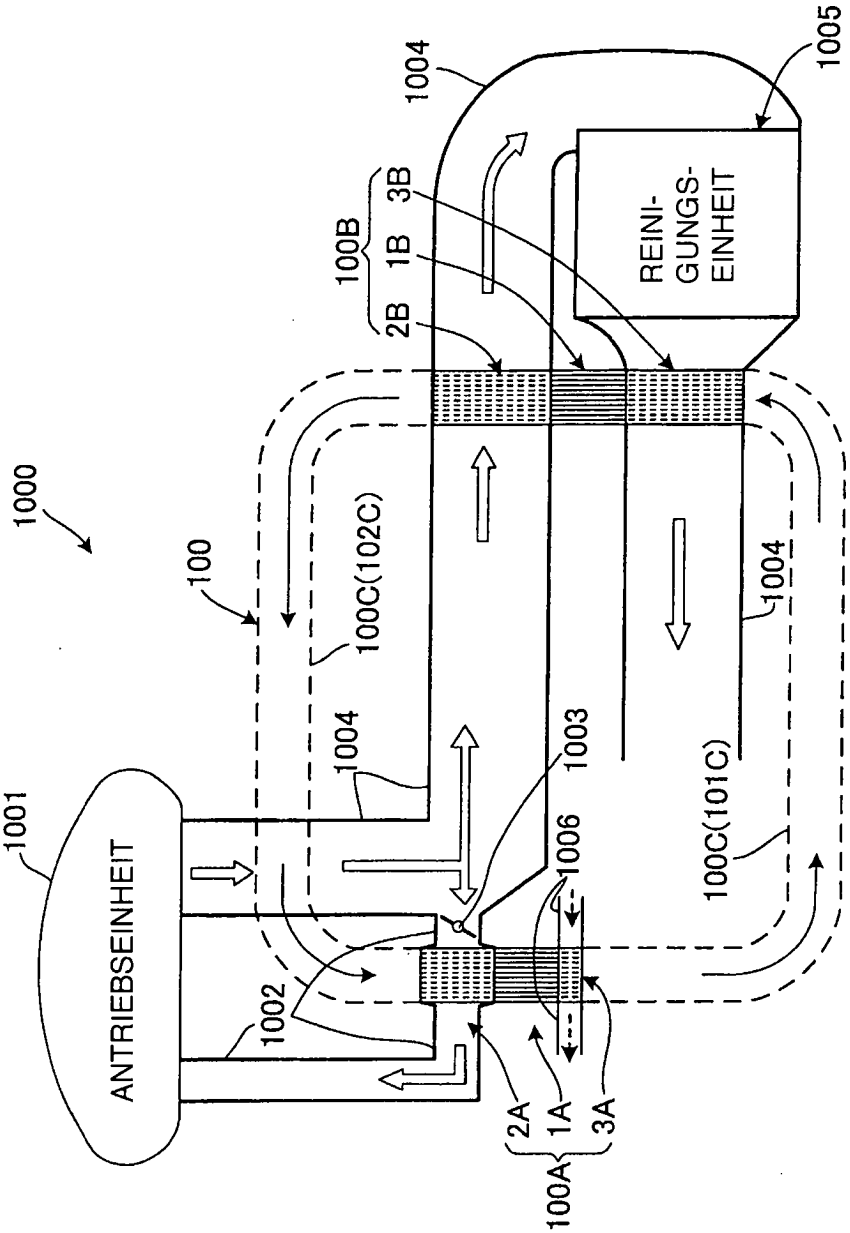


FIG.1

FIG.2

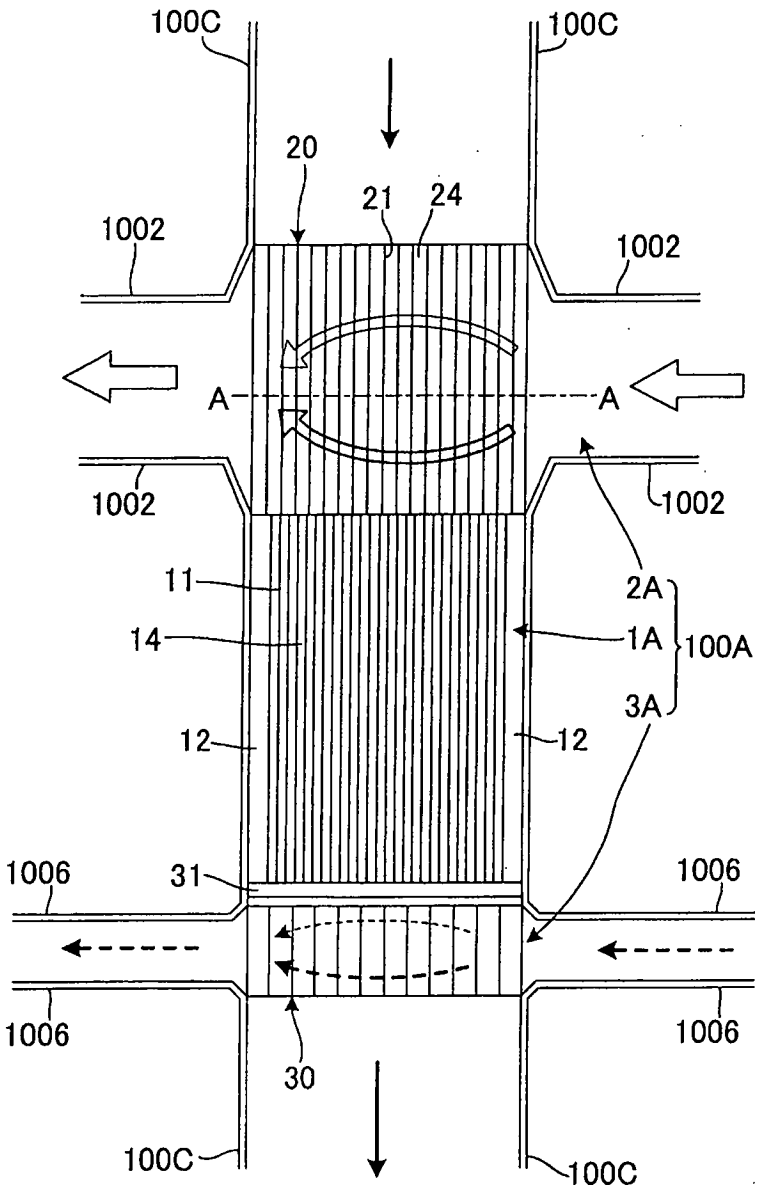

100C
100C
20
21
24
1002
1002
A
A
1002
1002
11
2A
14
1A
100A
3A
12
12
1006
31
1006
1006
1006
30
100C
100C

FIG.3

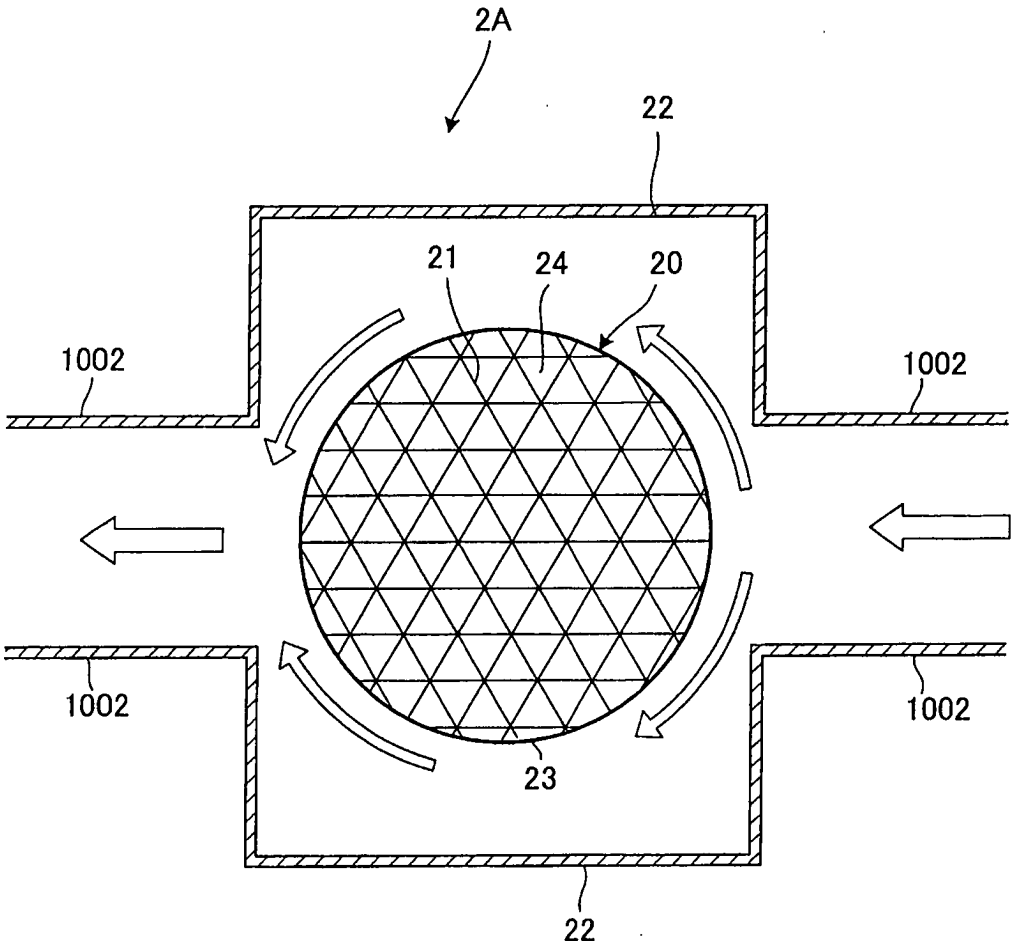
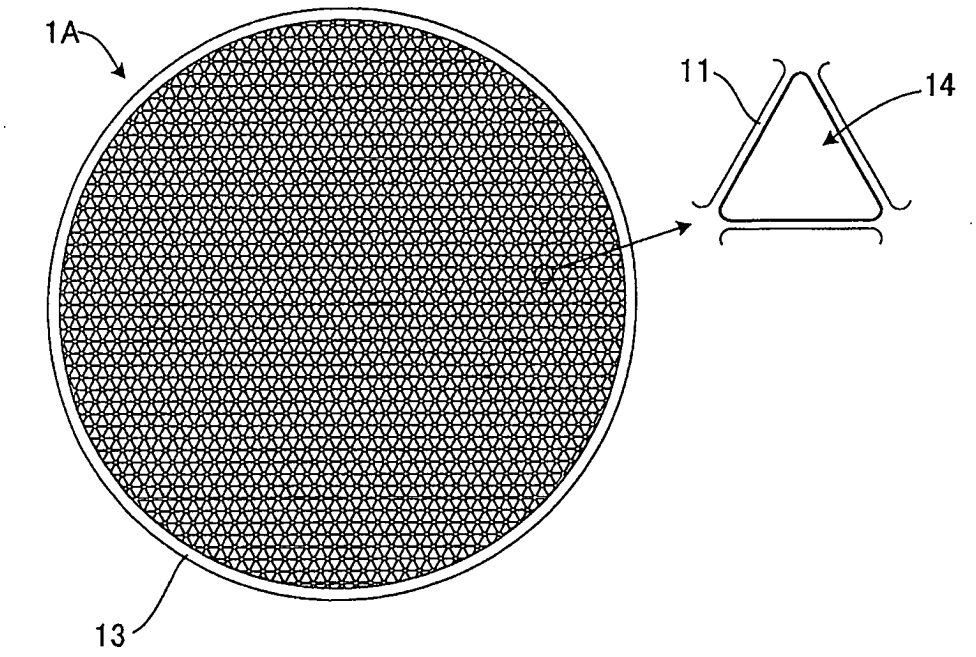


FIG.4



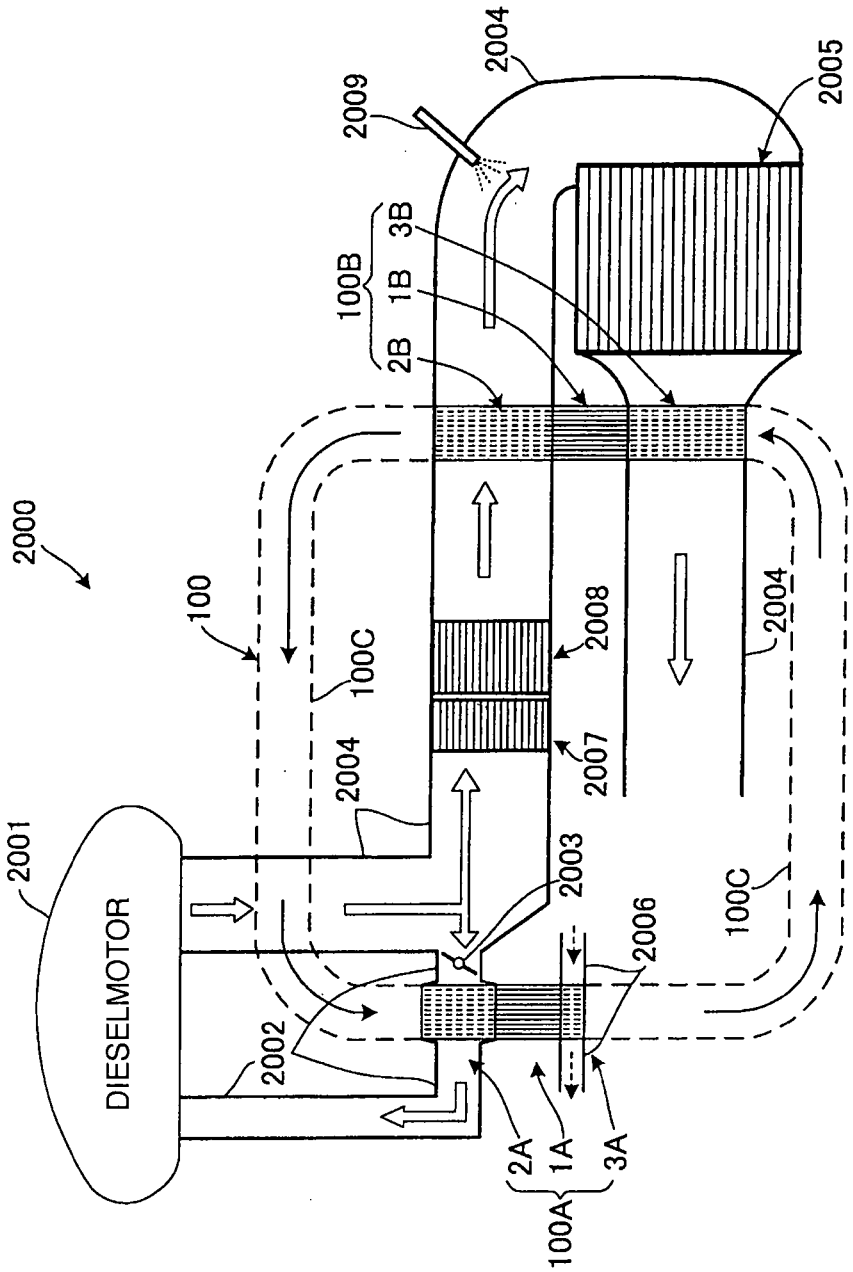

2000
2001
DIESELMOTOR
100
100A
100B
100C
1A
1B
2A
2B
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
3A
3B

FIG.5

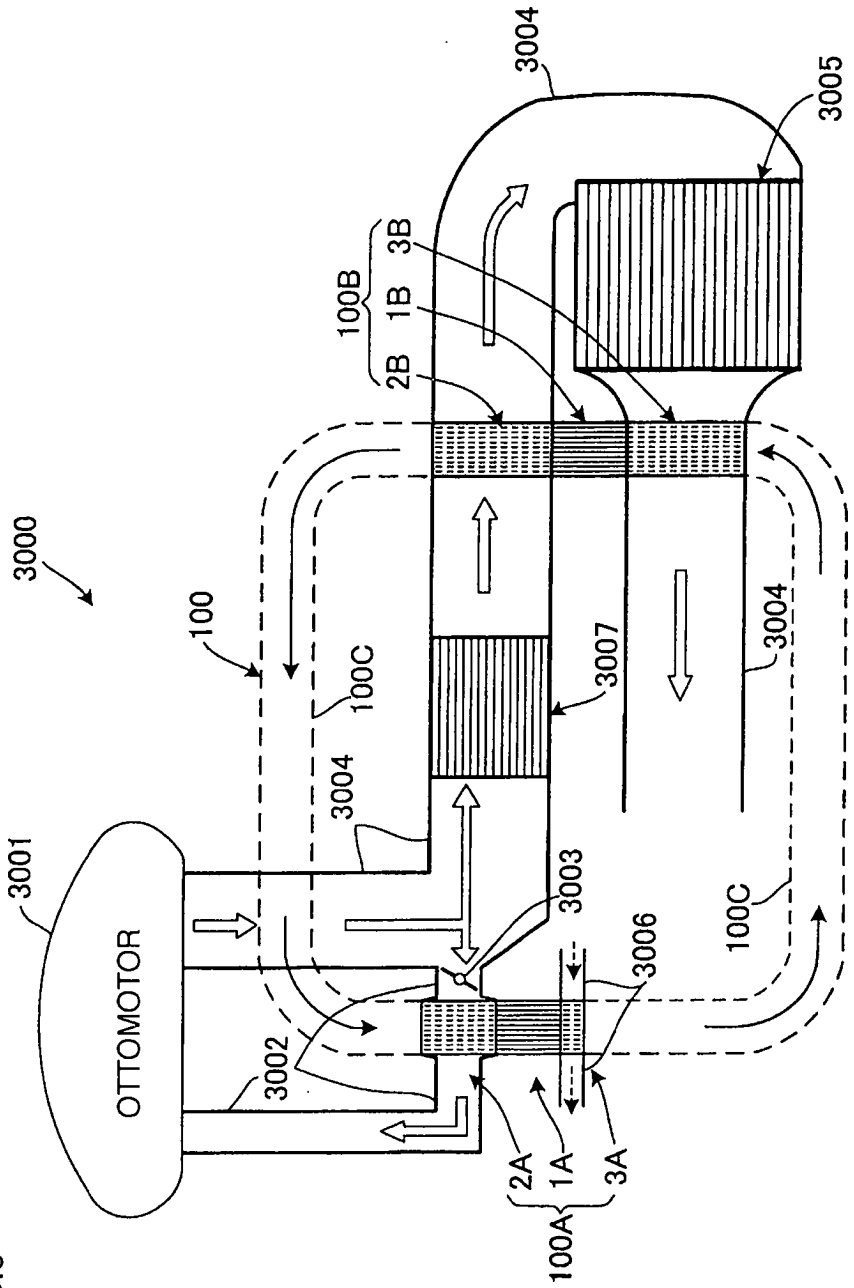

3004
3005
3B
100B
1B
2B
3000
100
100C
3007
3004
3004
3001
OTTOMOTOR
3003
3006
100C
3002
2A
1A
3A
100A

FIG.6