



(10) **DE 10 2015 100 203 A1** 2015.07.30

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 100 203.5**

(22) Anmeldetag: **09.01.2015**

(43) Offenlegungstag: **30.07.2015**

(51) Int Cl.: **F01N 3/08 (2006.01)**
F01N 3/20 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

2014-015933 30.01.2014 JP

(71) Anmelder:

DENSO CORPORATION, Kariya-city, Aichi-pref., JP

(74) Vertreter:

**KUHNEN & WACKER Patent- und
Rechtsanwaltsbüro, 85354 Freising, DE**

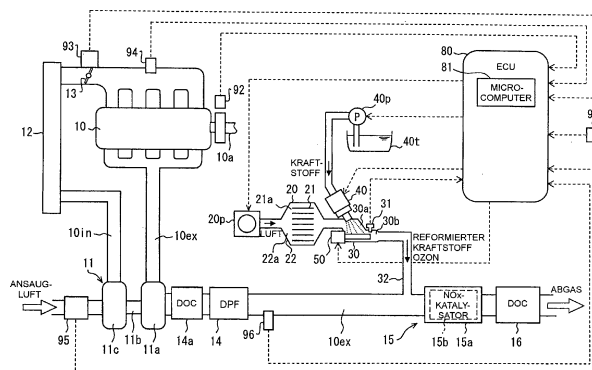
(72) Erfinder:

**Kinugawa, Masumi, Kariya-city, Aichi-pref., JP;
Yahata, Shigeto, Kariya-city, Aichi-pref., JP;
Tarusawa, Yuuki, Kariya-city, Aichi-pref., JP;
Noda, Keiji, Kariya-city, Aichi-pref., JP; Hosoda,
Mao, Kariya-city, Aichi-pref., JP**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Eine Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung beinhaltet einen Reaktionsbehälter (30): Der Reaktionsbehälter (30) weist eine Reaktionskammer (30a, 30b) darin auf, in der ein Kraftstoff aus einer Kohlenwasserstoffverbindung mit Luft vermischt und mit Sauerstoff in der Luft oxidiert wird. Ein Äquivalenzverhältnis des Kraftstoffs zur Luft im Inneren der Reaktionskammer (30a, 30b) wird so angepasst, dass es innerhalb eines spezifizierten Äquivalenzverhältnissbereichs liegt. Eine Temperatur im Inneren der Reaktionskammer (30a, 30b) wird so angepasst, dass sie innerhalb eines spezifizierten Temperaturbereichs liegt. Der spezifizierte Äquivalenzverhältnissbereich und der spezifizierte Temperaturbereich werden so eingestellt, dass eine Kaltflammenreaktion, durch die der Kraftstoff im Inneren der Reaktionskammer (30a, 30b) teilweise mit dem Sauerstoff in der Luft oxidiert wird, stattfindet. Der durch die Kaltflammenreaktion teilweise oxidierte Kraftstoff wird als das Reduktionsmittel verwendet.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Offenbarung betrifft eine Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung zum Zuführen einer Kohlenwasserstoffverbindung (Kraftstoff) als ein Reduktionsmittel, das für eine NO_x-Reduktion verwendet wird.

Hintergrund

[0002] Im Allgemeinen wird NO_x (Stickstoffoxide), das in einem Abgas einer Brennkraftmaschine enthalten ist, in einer Reaktion des NO_x mit einem Reduktionsmittel im Beisein eines Reduktionskatalysators gereinigt. Zum Beispiel offenbart eine Patentschrift (JP 2009-162173 A) ein Reinigungssystem, das einen Kraftstoff (eine Kohlenwasserstoffverbindung) für eine Verbrennung von einer Brennkraftmaschine als ein Reduktionsmittel verwendet, wobei das System den Kraftstoff einer Abgasleitung an einer Position stromaufwärts eines Reduktionskatalysators zuführt. Wenn in dem Reinigungssystem eine Temperatur des Reduktionskatalysators eine Aktivierungstemperatur nicht erreicht, wird die Kraftstoffzufuhr solange gestoppt, bis der Reduktionskatalysator die Aktivierungstemperatur erreicht hat.

Kurzfassung

[0003] Gemäß der durch die Erfinder der vorliegenden Offenbarung vorgenommenen Untersuchung ist jedoch, wenn eine Temperatur des Reduktionskatalysators die Aktivierungstemperatur erreicht, aber keine bestimmte hohe Temperatur erreicht hat, die NO_x-Reduktionswirkung (eine Reduktionsleistung) durch den Kraftstoff dennoch gering, und es kann keine angemessene NO_x-Reinigungsrate erhalten werden.

[0004] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Offenbarung, eine Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung mit einer verbesserten NO_x-Reinigungsrate zu schaffen.

[0005] In einem Aspekt der vorliegenden Offenbarung dient eine Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung für ein Kraftstoffverbrennungssystem, die eine NO_x-Reinigungsvorrichtung mit einem Reduktionskatalysator beinhaltet, der in einer Abgasleitung angeordnet ist, dazu, das NO_x zu reinigen, das in einem Abgas einer Brennkraftmaschine enthalten ist. Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung führt ein Reduktionsmittel einer Abgasleitung an einer Position stromaufwärts des Reduktionskatalysators zu.

[0006] Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung beinhaltet einen Reaktionsbehälter, einen Äquivalenzverhältnis-Controller und einen Temperatur-Controller. Der Reaktionsbehälter weist darin eine Reaktionskammer auf, in der ein Kraftstoff aus einer Koh-

lenwasserstoffverbindung mit Luft vermischt wird und mit dem Sauerstoff in der Luft oxidiert wird. Der Äquivalenzverhältnis-Controller passt ein Äquivalenzverhältnis des Kraftstoffs an die Luft im Inneren der Reaktionskammer so an, dass es innerhalb eines spezifizierten Äquivalenzverhältnisbereichs liegt. Der Temperatur-Controller passt eine Temperatur im Inneren der Reaktionskammer so an, dass sie innerhalb eines spezifizierten Temperaturbereichs liegt. Der spezifizierte Äquivalenzverhältnisbereich und der spezifizierte Temperaturbereich sind so eingestellt, dass eine Kaltflammenreaktion, durch die der Kraftstoff im Inneren der Reaktionskammer teilweise mit dem Sauerstoff in der Luft oxidiert wird, stattfindet. Der Kraftstoff, der durch die Kaltflammenreaktion teilweise oxidiert wird, wird als das Reduktionsmittel verwendet.

[0007] Es wird darauf hingewiesen, dass der Kraftstoff unter einer Hochtemperaturumgebung mittels Eigenzündung durch eine Oxidationsreaktion mit dem in der Luft enthaltenen Sauerstoff, selbst unter Atmosphärendruck verbrennt. Eine solche Oxidationsreaktion durch die Fremdzündungsverbrennung wird auch als „Heißflammenreaktion“ bezeichnet, bei der unter Entstehung von Wärme Kohlendioxid und Wasser erzeugt werden. Wenn ein Verhältnis des Kraftstoffs und der Luft (d. h. ein Äquivalenzverhältnis) und die Umgebungstemperatur in einen gegebenen Bereich fallen, verlängert sich eine Zeitspanne, während der die Oxidationsreaktion in einer Kaltflammenreaktion verbleibt, wie nachstehend beschrieben wird, und es kommt danach zur Heißflammenreaktion. Das heißt, dass die Oxidationsreaktion in zwei Schritten stattfindet, der Kaltflammenreaktion und der Heißflammenreaktion.

[0008] Die Kaltflammenreaktion findet aller Wahrscheinlichkeit statt, wenn die Umgebungstemperatur niedrig und das Äquivalenzverhältnis gering ist. Bei der Kaltflammenreaktion wird der Kraftstoff teilweise mit dem in der Umgebungsluft enthaltenen Sauerstoff oxidiert. Wenn die Umgebungstemperatur aufgrund einer durch die Kaltflammenreaktion verursachten Wärmeentstehung ansteigt, und anschließend eine gegebene Zeitspanne verstrichen ist, wird der teilweise oxidierte Kraftstoff (z. B. ein Aldehyd) weiter oxidiert, wodurch es zur Heißflammenreaktion kommt. Wenn der teilweise oxidierte Kraftstoff, z. B. Aldehyd, der durch die Kaltflammenreaktion entsteht, als ein NO_x-Reinigungs-Reduktionsmittel verwendet wird, wird eine NO_x-Reinigungsrate gegenüber einem Fall verbessert, in dem der nicht teilweise oxidierte Kraftstoff verwendet wird.

[0009] In Anbetracht des vorstehend geschilderten Sachverhalts haben die Erfinder der vorliegenden Offenbarung die Verwendung eines reformierten Kraftstoffs als ein Reduktionsmittel zur NO_x-Reinigung zum Verbessern der NO_x-Reinigungsrate untersucht. Der reformierte Kraftstoff wird durch Reformieren von

Kraftstoff in beispielsweise Aldehyd durch die Kaltflammenreaktion erzeugt. Aufgrund dessen sind die Erfinder zu der Erkenntnis gelangt, dass die Kaltflammenreaktion vor der Heißflammenreaktion stattfinden kann, indem eine Umgebungstemperatur und das Äquivalenzverhältnis so angepasst werden, dass sie jeweils in bestimmten Bereichen liegen.

[0010] Im Hinblick auf diese Erkenntnis beinhaltet die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung den Reaktionsbehälter mit der Reaktionskammer, und der Kraftstoff wird mit dem Sauerstoff in der Luft im Inneren der Reaktionskammer oxidiert. Eine Temperatur im Inneren der Reaktionskammer und das Äquivalenzverhältnis werden so angepasst, dass es zur Kaltflammenreaktion kommt, wodurch der Kraftstoff teilweise durch die Kaltflammenreaktion oxidiert wird. Dann wird der teilweise oxidierte Kraftstoff als ein Reduktionsmittel zur NO_x-Reinigung verwendet. Somit kann die NO_x-Reinigungsrate im Vergleich zu einem Fall verbessert werden, in dem der Kraftstoff als ein Reduktionsmittel verwendet wird, ohne teilweise oxidiert worden zu sein.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0011] Die Offenbarung wird zusammen mit weiteren Aspekten, Merkmalen und Vorteilen derselben unter Bezugnahme auf die nachstehende Beschreibung, die angehängten Ansprüche und die beigefügte Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

[0012] Fig. 1 eine schematische Ansicht einer Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung, die auf ein Verbrennungssystem angewendet wird;

[0013] Fig. 2 eine Querschnittsansicht der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung;

[0014] Fig. 3 eine schematische Ansicht eines projizierten Bereichs eines Kraftstoffsprühnebels auf einer Heizoberfläche einer Heizeinrichtung;

[0015] Fig. 4 eine Querschnittsansicht eines Kraftstoffinjektors, die eine Querschnittform von Einspritzlöchern darstellt;

[0016] Fig. 5 Graphen, die auf eine zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion aus einer Kaltflammenreaktion und einer Heißflammenreaktion bezogen sind;

[0017] Fig. 6 Graphen, die Bereiche von Fig. 5 veranschaulichen, die der Kaltflammenreaktion entsprechen;

[0018] Fig. 7 ein Diagramm, das einen Reaktionsvorgang der Kaltflammenreaktion darstellt;

[0019] Fig. 8 einen Graphen, der Ergebnisse von simulierten Temperaturveränderungen darstellt, die durch die zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion unter verschiedenen Bedingungen einer ursprünglichen Temperatur verursacht werden;

[0020] Fig. 9 einen Graphen, der Ergebnisse einer Simulation von Temperaturveränderungen darstellt, die durch die zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion unter verschiedenen Bedingungen eines Äquivalenzverhältnis verursacht werden;

[0021] Fig. 10 einen Graphen, der einen Bereich der ursprünglichen Temperatur und des Äquivalenzverhältnis darstellt, in dem die zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion stattfindet;

[0022] Fig. 11 einen Graphen, der Ergebnisse von simulierten Temperaturveränderungen darstellt, die durch die zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion unter verschiedenen Bedingungen einer Ozonkonzentration verursacht werden;

[0023] Fig. 12 ein Flussdiagramm, das einen Vorgang zum Schalten zwischen einer Erzeugung von Ozon und einer Erzeugung des reformierten Kraftstoffs gemäß der in Fig. 1 dargestellten Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung darstellt;

[0024] Fig. 13 ein Flussdiagramm, das einen Vorgang einer Subroutine einer Ozonerzeugungssteuerung darstellt, die in Fig. 12 dargestellt ist;

[0025] Fig. 14 ein Flussdiagramm, das einen Vorgang einer Subroutine von einer Steuerung der Erzeugung eines reformierten Kraftstoffs darstellt, die in Fig. 12 gezeigt ist;

[0026] Fig. 15 eine schematische Ansicht einer Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung, die auf ein Verbrennungssystem angewendet wird; und

[0027] Fig. 16 eine schematische Ansicht einer Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung, die auf ein Verbrennungssystem angewendet wird.

Ausführliche Beschreibung

[0028] Eine Mehrzahl von Ausführungsformen der vorliegenden Offenbarung wird nachstehend unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. In den Ausführungsformen kann ein Bauteil, das einem Sachverhalt entspricht, der in einer vorhergehenden Ausführungsform beschrieben worden ist, mit einem identischen Bezugszeichen versehen sein, und auf eine wiederholte Beschreibung des Bauteils wird daher verzichtet. Ist in einer Ausführungsform nur ein Bauteil einer Konfiguration beschrieben, kann eine andere, vorhergehende Ausführungsform auf die anderen Bauteile der Konfiguration angewendet wer-

den. Die Teile sind kombinierbar, auch wenn nicht ausdrücklich erwähnt ist, dass sie kombiniert werden können. Die Ausführungsformen sind selbst dann teilweise kombinierbar, wenn nicht ausdrücklich erwähnt wird, dass sie kombiniert werden können, vorausgesetzt, die Kombination birgt keinen Nachteil.

(Erste Ausführungsform)

[0029] Ein Verbrennungssystem, wie es in **Fig. 1** dargestellt ist, beinhaltet eine Brennkraftmaschine **10**, einen Lader **11**, ein Dieselpartikelfilter (DPF) **14**, eine DPF-Regenerationsvorrichtung (Regenerations-DOC **14a** [DOC = Diesel oxidation catalyst = Diesel-Oxidationskatalysator]), eine NOx-Reinigungsvorrichtung **15**, eine Reduktionsmittel-Reinigungsvorrichtung (Reinigungs-DOC **16**) und eine Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung. Das Verbrennungssystem ist an einem Fahrzeug angebracht, und das Fahrzeug wird durch eine Leistungsabgabe von der Brennkraftmaschine **10** angetrieben. In der vorliegenden Ausführungsform handelt es sich bei der Brennkraftmaschine **10** um einen Dieselmotor mit Verdichtungs-Selbstzündung, der einen Dieselmotorkraftstoff (Leichtöl) zur Verbrennung verwendet.

[0030] Der Lader **11** beinhaltet eine Turbine **11a**, eine rotierende Welle **11b** und einen Kompressor **11c**. Die Turbine **11a** ist in einer Abgasleitung **10ex** für die Brennkraftmaschine **10** angeordnet und rotiert durch die kinetische Energie des Abgases. Die rotierende Welle **11b** verbindet einen Impeller der Turbine **11a** mit einem Impeller des Kompressors **11c** und überträgt eine Rotationskraft der Turbine **11a** an den Kompressor **11c**. Der Kompressor **11c** ist in einer Saugleitung **10in** der Brennkraftmaschine **10** angeordnet und führt der Brennkraftmaschine **10** Ansaugluft zu, nachdem die Ansaugluft komprimiert (d. h. geladen) worden ist.

[0031] Eine Kühleinrichtung **12** ist in der Saugleitung **10in** stromabwärts des Kompressors **11c** angeordnet. Die Kühleinrichtung **12** kühlt die Ansaugluft, die durch den Kompressor **11c** komprimiert wird, und die komprimierte Ansaugluft, die durch die Kühleinrichtung **12** gekühlt wird, wird in die mehreren Brennkammern des Brennkraftmaschine **10** durch einen Ansaugkrümmer verteilt, nachdem eine Strömungsmenge der komprimierten Ansaugluft durch ein Drosselklappenventil **13** angepasst worden ist.

[0032] Der Regenerations-DOC **14a** (Dieseloxidationskatalysator), das DPF **14** (Dieselpartikelfilter), die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** und der Reinigungs-DOC **16** sind in dieser Reihenfolge in der Abgasleitung **10ex** stromabwärts der Turbine **11a** angeordnet. Das DPF **14** fängt die in dem Abgas enthaltenen Partikel auf. Der Regenerations-DOC **14a** beinhaltet einen Katalysator, der den in dem Abgas enthaltenen unverbrannten Kraftstoff oxidiert, und der den

unverbrannten Kraftstoff verbrennt. Indem der unverbrannte Kraftstoff verbrannt wird, werden die durch das DPF **14** aufgefangenen Partikel verbrannt, und das DPF **14** wird regeneriert, wodurch die Auffangkapazität des DPF **14** erhalten bleibt. Es ist zu beachten, dass diese Verbrennung durch den unverbrannten Kraftstoff im Inneren des Regenerations-DOC **14a** nicht konstant, sondern temporär ausgeführt wird, wenn die Regeneration des DPF **14** erforderlich ist.

[0033] Eine Zuführleitung **32** der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung ist mit der Abgasleitung **10ex** stromabwärts des DPF **14** und stromaufwärts der NOx-Reinigungsvorrichtung **15** verbunden. Ein reformierter Kraftstoff, der durch die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung erzeugt wird, wird der Abgasleitung **10ex** durch die Zuführleitung **32** als ein Reduktionsmittel zugeführt. Der reformierte Kraftstoff wird erzeugt, indem Kohlenwasserstoff (d. h. des Kraftstoffs), der als ein Reduktionsmittel verwendet wird, in teilweise oxidierten Kohlenwasserstoff, wie z. B. Aldehyd, teilweise oxidiert wird, wie später unter Bezugnahme auf **Fig. 7** näher erläutert wird.

[0034] Die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** beinhaltet einen Bienenwabenträger **15b** zum Tragen eines Reduktionskatalysators und ein Gehäuse **15a**, in dem der Träger **15b** aufgenommen ist. Die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** reinigt das in dem Abgas enthaltene NOx durch eine Reaktion mit dem reformierten Kraftstoff in Beisein des Reduktionskatalysators, d. h. einen Reduktionsvorgang von NOx zu N₂. Es wird darauf hingewiesen, dass, selbst wenn neben NOx auch O₂ in dem Abgas enthalten ist, das reformierte Reduktionsmittel im Beisein von O₂ (vorzugsweise) selektiv mit NOx reagiert.

[0035] In der vorliegenden Ausführungsform weist der Reduktionskatalysator eine Adsorptionsfähigkeit zum Adsorbieren von NOx auf. Genauer gesagt stellt der Reduktionskatalysator die Adsorptionsfähigkeit zum Adsorbieren von NOx im Abgas unter Beweis, wenn eine Katalysatortemperatur niedriger als eine Aktivierungstemperatur ist, bei der die Reduktionsreaktion durch den Reduktionskatalysator stattfinden kann. Demgegenüber wird das durch den Reduktionskatalysator adsorbierte NOx durch den reformierten Kraftstoff reduziert und dann aus dem Reduktionskatalysator freigesetzt, wenn die Katalysatortemperatur höher als die Aktivierungstemperatur ist. Die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** kann z. B. eine NOx-Adsorptionsleistung mit einem Silber-/Aluminiumoxid-Katalysator, der durch den Träger **15b** getragen wird, ermöglichen.

[0036] Der Reinigungs-DOC **16** weist ein Gehäuse auf, in dem ein Träger aufgenommen ist, der einen Oxidationskatalysator trägt. Der Reinigungs-DOC **16** oxidiert das Reduktionsmittel, das aus der NOx-Rei-

nigungsvorrichtung **15** herausströmt, ohne für eine NO_x-Reduktion verwendet worden zu sein, im Beisein des Oxidationskatalysators. Somit kann verhindert werden, dass das Reduktionsmittel durch einen Auslass der Abgasleitung **10ex** in die Atmosphäre freigesetzt wird. Es ist zu beachten, dass eine Aktivierungstemperatur des Oxidationskatalysators (z. B. 200°C) niedriger ist als die Aktivierungstemperatur (z. B. 250°C) des Reduktionskatalysators.

[0037] Als Nächstes erfolgt nachstehend eine Beschreibung der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung. Im Allgemeinen erzeugt die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung den reformierten Kraftstoff und führt den reformierten Kraftstoff der Abgasleitung **10ex** durch die Zuführleitung **32** zu. Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung beinhaltet einen Entladereaktor **20** (einen Ozoneerzeuger), eine Luftpumpe **20p**, eine Reaktionskammer **30**, einen Kraftstoffinjektor **40** und eine Heizeinrichtung **50**.

[0038] Wie in **Fig. 2** gezeigt ist, beinhaltet der Entladereaktor **20** ein Gehäuse **22** mit einer Fluidleitung **22a** darin, und eine Mehrzahl von Paaren von Elektroden **21** sind im Inneren der Fluidleitung **22a** angeordnet. Insbesondere werden die Elektroden **21** innerhalb des Gehäuses **22** über elektrische Isolationselemente **23** gehalten. Die Elektroden **21** sind plattenförmig und sind so angeordnet, dass sie einander parallel gegenüberliegen. Eine Elektrode **21**, die geerdet ist, und die andere Elektrode **21**, an der eine hohe Spannung anliegt, wenn dem Entladereaktor **20** elektrische Leistung zugeführt wird, sind alternierend angeordnet. Das Anlegen der Leistung an die Elektroden **21** wird durch einen Mikrocomputer **81** einer elektronischen Steuereinheit **80** (ECU **80**) gesteuert.

[0039] Luft, die durch die Luftpumpe **20p** eingeblasen wird, strömt in das Gehäuse **22** des Entladereaktors **20**. Die Luftpumpe **20p** wird durch einen Elektromotor angetrieben, und der Elektromotor wird durch den Mikrocomputer **81** gesteuert. Die durch die Luftpumpe **20p** eingeblasene Luft strömt in die Fluidleitung **22a** innerhalb des Gehäuses **22** und strömt durch die zwischen den Elektroden **21** ausgebildeten Abführleitungen **21a**.

[0040] Der Reaktionsbehälter **30** ist an einer stromabwärtigen Seite des Entladereaktors **20** angebracht, und eine Kraftstoffeinspritzkammer **30a** und eine Verdampfungskammer **30b** sind im Inneren des Reaktionsbehälter **30** ausgebildet. Die Kraftstoffeinspritzkammer **30a** und die Verdampfungskammer **30b** können einer „Reaktionskammer entsprechen, in der der Kraftstoff mit dem Sauerstoff in der Luft oxidiert. Ein Lufteinlass **30c** ist in dem Reaktionsbehälter **30** ausgebildet, und die Luft, die durch die Abführleitungen **21a** geleitet wird, strömt in den Reaktionsbehälter **30a** durch den Lufteinlass **30c**. Der Lufteinlass **30c** ist in Verbindung mit der Kraftstoffeinspritzkammer **30a**,

und die Kraftstoffeinspritzkammer **30a** ist über eine Öffnung **30d** in Verbindung mit der Verdampfungskammer **30b**. Luft, die durch die Abführleitungen **21a** geleitet wird und aus dem Lufteinlass **30c** strömt, strömt durch die Kraftstoffeinspritzkammer **30a** und die Verdampfungskammer **30b** in dieser Reihenfolge und wird anschließend aus einem Einspritzkanal **30e**, der in dem Reaktionsbehälter **30** ausgebildet ist, herausgespritzt. Der Einspritzkanal **30e** ist in Verbindung mit der Zuführleitung **32**.

[0041] Der Kraftstoffinjektor **40** ist an dem Reaktionsbehälter **30** angebracht. Der in flüssiger Form vorliegende Kraftstoff (Flüssigkraftstoff) innerhalb eines Kraftstofftanks **40t** wird dem Kraftstoffinjektor **40** durch eine Pumpe **40p** zugeführt, und in die Kraftstoffeinspritzkammer **30a** durch Einspritzlöcher D1, D2, D3 und D4 (siehe **Fig. 3**) des Kraftstoffinjektors **40** eingespritzt. Der Kraftstoff innerhalb des Kraftstofftanks **40t** wird, wie oben beschrieben, ebenfalls für eine Verbrennung verwendet, und somit wird der Kraftstoff für die Verbrennung durch die Brennkraftmaschine **10** im Allgemeinen verwendet sowie als Reduktionsmittel verwendet. Der Kraftstoffinjektor **40** weist ein Einspritzventil auf, und das Ventil wird durch eine elektromagnetische Kraft durch einen elektromagnetischen Solenoiden betätigt. Der Mikrocomputer **81** steuert die Zufuhr der elektrischen Leistung zu dem (d. h. eine Erregung des) elektromagnetischen Solenoiden.

[0042] Die Heizeinrichtung **50** ist an dem Reaktionsbehälter **30** angebracht, und die Heizeinrichtung **50** weist ein Heizelement (nicht gezeigt) auf, das Wärme erzeugt, wenn dem Heizelement elektrische Leistung zugeführt wird. Zudem beinhaltet die Heizeinrichtung **50** eine Wärmeübertragungsabdeckung **51**, in dem das Heizelement aufgenommen ist. Die Zuführung elektrischer Leistung zu dem (die Erregung des) Heizelement(s) wird durch den Mikrocomputer **81** gesteuert. Eine äußere Umfangsoberfläche der Wärmeübertragungsabdeckung **51** kann als eine Heizoberfläche **51a** dienen, und eine Temperatur der Heizoberfläche **51a** wird durch Erwärmen der Wärmeübertragungsabdeckung **51** durch das Heizelement erhöht. Die Wärmeübertragungsabdeckung **51** weist eine zylindrische Form mit einer Unterseite auf und erstreckt sich in einer horizontalen Richtung. Insbesondere erstreckt sich die Wärmeübertragungsabdeckung **51** in der horizontalen Richtung dann, wenn die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung an einem Fahrzeug befestigt ist. Das heißt, dass eine Mittellinie Ch der Wärmeübertragungsabdeckung **51** (siehe **Fig. 4**) sich in der horizontalen Richtung erstreckt.

[0043] Die Heizoberfläche **51a** ist im Inneren der Verdampfungskammer **30b** angeordnet und erwärmt den flüssigen Kraftstoff, der aus dem Kraftstoffinjektor **40** eingespritzt wird.

[0044] Der Flüssigkraftstoff, der durch die Heizeinrichtung **50** erwärmt wird, wird im Inneren der Verdampfungskammer **30b** verdampft. Der verdampfte Kraftstoff wird weiterhin auf eine Temperatur erwärmt, die größer oder gleich einer gewissen Temperatur ist, die vorher festgelegt wurde. Somit wird der Kraftstoff thermisch in Kohlenstoff zersetzt, der eine kleine Kohlenstoffzahl aufweist, d. h. es kommt zum Cracking.

[0045] Der Kraftstoffinjektor **40** beinhaltet eine Einspritzlochplatte **41**, und die Einspritzlöcher D1, D2, D3 und D4 sind auf der Einspritzlochplatte **41** ausgebildet (siehe **Fig. 3**). Die Einspritzlöcher D1, D2, D3 und D4 sind in einer Längsrichtung der Wärmeübertragungsabdeckung **51** (d. h. entlang der Mittellinie Ch) angeordnet. Eine Mittellinie Ci des Kraftstoffinjektors **40** ist relativ zu einer vertikalen Richtung dann abgewinkelt, wenn die Reduktionsmittel-Zufuhrvorrichtung an einem Fahrzeug befestigt ist. In anderen Worten ist die Mittellinie Ch der Heizeinrichtung **50** relativ zu der Mittellinie Ci des Kraftstoffinjektors **40** abgewinkelt.

[0046] Wie in **Fig. 3** gezeigt ist, weisen die Einspritzlöcher D1, D2, D3 und D4 eine sich geradlinig erstreckende Form auf, d. h. die Einspritzlöcher D1, D2, D3 und D4 weisen eine Achse auf, die sich geradlinig erstreckt. Ein Querschnitt eines jeweiligen Einspritzlochs D1, D2, D3, D4 weist die Form eines Kreises auf, und das Einspritzloch D1, D2, D3 D4 weist eine konstante Querschnittfläche auf. Jede Mittellinie C1, C2, C3, C4 des Einspritzlochs D1, D2, D3, D4 ist relativ zu der Mittellinie Ci des Kraftstoffinjektors **40** abgewinkelt. Der in flüssiger Form vorliegende Kraftstoff (Flüssigkraftstoff) wird durch jedes Einspritzloch D1, D2, D3, D4 versprüht (zerstäubt), und der versprühte Flüssigkraftstoff breitet sich im Wesentlichen konusförmig aus. In anderen Worten weist ein Sprühnebelausbreitungsverlauf des versprühten Flüssigkraftstoffs eine im Wesentlichen konische Form auf, die sich in einer Richtung ausbreitet, die sich von jedem Einspritzloch D1, D2, D3, D4 entfernt. In der vorliegenden Ausführungsform entspricht eine Mittellinie des Sprühnebelausbreitungsverlaufs des versprühten Flüssigkraftstoffs im Wesentlichen der Mittellinie C1 C2, C3, C4 eines jeden Einspritzlochs D1, D2, D3, D4.

[0047] Der versprühte Flüssigkraftstoff aus den Einspritzlöchern D1 bis D4 tritt in die Verdampfungskammer **30b** durch die Öffnung **30d** ein und wird wegen der Heizoberfläche **51a** gesprüht. Ein Kreuzungswinkel θ (siehe **Fig. 2**), der zwischen jeder Mittellinie C1, C2, C3, C4 und der Heizoberfläche **51a** ausgebildet ist, ist ein spitzer Winkel, der kleiner als 90° ist. Insbesondere ist der Kreuzungswinkel θ als ein Winkel zwischen der Mittellinie C1, C2, C3, C4 und einer virtuellen horizontalen Oberfläche der Heizoberfläche **34a** definiert, die einen ganz oben befindlichen Bereich

der Heizoberfläche **51a** virtuell kontaktiert. Das Einspritzloch D1, das an der obersten Strömungsseite des Injektors **40** positioniert ist (d. h. der Seite ganz links in **Fig. 2**), stellt den Kreuzungswinkel θ mit einem maximalen Wert bereit, und die Kreuzungswinkel, die jeweils den Einspritzlöchern D2, D3 D4 entsprechen, verkleinern sich in dieser Reihenfolge in Richtung auf ein vorderes Ende der Heizeinrichtung **50** (d. h. einer rechten Richtung in **Fig. 2**). Die Einspritzlöcher D1 bis D4 sind unter Berücksichtigung der Schwerkraft über der Heizoberfläche **51a** positioniert.

[0048] Da der Kreuzungswinkel θ ein spitzer Winkel ist, kann der versprühte Flüssigkraftstoff die Heizoberfläche **51a** diagonal erreichen. Wie in **Fig. 4** gezeigt ist, weist daher eine besprühte Fläche A1, A2, A3, A4 der Heizoberfläche **51a**, auf die der Flüssigkraftstoff aus jedem Einspritzloch D1, D2, D3, D4 gesprüht wird, eine elliptische Form mit einer längeren Achse entlang der Mittellinie Ch auf. Die längere Achse der besprühten Fläche A1, die dem Kreuzungswinkel θ mit einem minimalen Wert entspricht, ist die kürzeste Achse, und die längere Achse der besprühten Fläche A2, A3, A4 verlängert sich in dieser Reihenfolge entlang der Mittellinie Ch. In anderen Worten verlängert sich die längere Achse der besprühten Fläche A1, A2, A3, A4, wenn der Kreuzungswinkel θ abnimmt. Es ist zu beachten, dass, wenn ein Durchmesser des Einspritzlochs D1, D2, D3, D4 vergrößert wird, oder wenn ein Abstand zwischen dem Einspritzloch D1, D2, D3, D4 und der Heizoberfläche **51a** vergrößert wird, eine Fläche des besprühten Bereichs A1, A2, A3, A4 sich auch über eine Fläche der Heizoberfläche **34a** hinaus vergrößern kann. Im Hinblick darauf werden der Durchmesser des Einspritzlochs D1, D2, D3, D4 und der Abstand zwischen dem Einspritzloch D1, D2, D3, D4 und der Heizoberfläche **51a** so eingestellt, dass der besprühte Bereich A1, A2, A3, A4 innerhalb der Heizoberfläche **51a** liegt.

[0049] Ein Temperatursensor **31**, der eine Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30** detektiert, ist an dem Reaktionsbehälter **30** angebracht. Insbesondere ist der Temperatursensor **31** über der Wärmeerzeugungsoberfläche der Heizeinrichtung **50** innerhalb der Verdampfungskammer **30b** angeordnet. Zudem ist der Temperatursensor **31** an einer stromabwärtigen Seite der Verdampfungskammer **30b** bezogen auf den versprühten Kraftstoff in einer Luftströmungsrichtung so positioniert, dass der Kraftstoff nicht direkt auf den Temperatursensor **31** gesprüht wird. Eine durch den Temperatursensor **31** detektierte Temperatur ist eine Temperatur des verdampften Kraftstoffs nach seiner Reaktion mit Luft. Der Temperatursensor **31** gibt Informationen über die detektierte Temperatur an die ECU **80** aus.

[0050] Wenn die elektrische Leistung dem Entladeaktor **20** zugeführt wird, kollidieren aus den Elek-

troden **21** emittierte Elektronen mit Sauerstoffmolekülen, die in der Luft in den Abführleitungen **21a** enthalten sind. Demzufolge wird aus den Sauerstoffmolekülen Ozon erzeugt. Das heißt, dass der Entladereaktor **20** die Sauerstoffmoleküle über einen Entladevorgang in einen Plasmazustand versetzt und Ozon als aktiven Sauerstoff erzeugt. Folglich ist das durch den Entladereaktor **20** erzeugte Ozon in der Luft enthalten, die in den Reaktionsbehälter **30** durch den Lufteinlass **30c** strömt.

[0051] In der Verdampfungskammer **30b** kommt es zu einer Kaltflammenreaktion. In der Kaltflammenreaktion wird der gasförmige Kraftstoff mit dem Sauerstoff oder Ozon in der Luft teilweise oxidiert. Der teilweise oxidierte Kraftstoff wird als „reformierter Kraftstoff“ bezeichnet, und ein Teiloxid (z. B. Aldehyd) kann eines von mehreren Beispielen für den reformierten Kraftstoff sein, in dem ein Teil der Kraftstoffs (Kohlenwasserstoffverbindung) mit einer Aldehydgruppe (CHO) oxidiert wird.

[0052] Als Nächstes erfolgt unter Bezugnahme auf **Fig. 5** bis **Fig. 7** eine ausführliche Beschreibung einer Kaltflammenreaktion.

[0053] **Fig. 5** und **Fig. 6** veranschaulichen Simulationsergebnisse, die eine Veränderung bei einer Vielzahl von physikalischen Größen in Bezug auf eine verstrichene Zeitspanne ab einem Start eines Sprühvorgangs in einem Fall zeigen, in dem der Kraftstoff (Hexadecan) auf die Heizeinrichtung **50** mit einer Temperatur von 430°C gesprüht wird. In **Fig. 5** und **Fig. 6** veranschaulicht ein Graph (a) eine Veränderung einer Umgebungstemperatur, veranschaulicht ein Graph (b) eine Veränderung einer Molkonzentration des Kraftstoffs (Hexadecan), der auf die Heizeinrichtung **50** gesprüht wird, veranschaulicht ein Graph (c) eine Veränderung einer Molkonzentration von (i) Sauerstoff, der durch den Oxidationsprozess verbraucht wird, (ii) Wassermolekülen, die durch den Oxidationsprozess erzeugt werden, und (iii) Kohlendioxidmolekülen, die durch den Oxidationsprozess erzeugt werden, und veranschaulicht ein Graphen (d) eine Veränderung einer Molkonzentration von Acetaldehyd und Propionaldehyd, die durch die Kaltflammenreaktion entstehen. Die Ausgangsbedingungen beim Start der Kraftstoffeinspritzung werden eingestellt bei 1 Atmosphärendruck, 2200 Teilen pro Million Hexadecan-Konzentration, 20% Sauerstoffkonzentration, 9% Kohlendioxidkonzentration und 2% Wasserkonzentration.

[0054] Wie in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigt ist, steigt die Umgebungstemperatur an, nimmt die Molkonzentration des Kraftstoffs ab und nimmt die Molkonzentration des reformierten Kraftstoffs zu, unmittelbar nachdem der Kraftstoff eingespritzt worden ist. Das heißt, dass der Kraftstoff Wärme erzeugt, indem er mit Sauerstoff oxidiert wird, und dass der reformier-

te Kraftstoff anhand des Kraftstoffs erzeugt wird, d. h. dass eine Kaltflammenreaktion stattfindet. Ein derartiger Temperaturanstieg sowie derartige Veränderungen in der Molkonzentration sind vorübergehend, und der Temperaturanstieg und die Veränderungen in der Molkonzentration treten erst nach Verstreichen von etwa 4 Sekunden ab dem Start der Kraftstoffeinspritzung auf.

[0055] Wie in **Fig. 5** gezeigt ist, steigt die Umgebungstemperatur an, nimmt die Molkonzentration des reformierten Kraftstoffs ab, nehmen die erzeugten Mengen von Kohlendioxid und Wasser zu und nimmt eine Verbrauchsmenge von Sauerstoff zu, wenn etwa 4 Sekunden verstrichen sind. Das heißt, dass der reformierte Kraftstoff Wärme erzeugt, in dem er mit Sauerstoff oxidiert wird, und dass der reformierte Kraftstoff vollständig verbrennt, so dass Kohlendioxid und Wasser erzeugt werden, d. h. dass eine Heißflammenreaktion stattfindet. Ein Betrag eines Temperaturanstiegs infolge der Kaltflammenreaktion ist geringer als jener infolge der Heißflammenreaktion. Zudem ist eine Sauerstoffverbrauchsmenge infolge der Kaltflammenreaktion geringer als jene infolge der Heißflammenreaktion.

[0056] Wie in **Fig. 5** gezeigt ist, wird der reformierte Kraftstoff als ein Reaktionszwischenprodukt während einer Zeitspanne von der Kaltflammenreaktion zur Heißflammenreaktion erzeugt, wenn die Oxidationsreaktion in zwei Schritten stattfindet. Beispiele für das Reaktionszwischenprodukt können eine Vielzahl von Kohlenwasserstoffverbindungen, wie z. B. Aldehyd, Keton oder dergleichen, sein. **Fig. 7** stellt ein Beispiel für einen Hauptreaktionsweg dar, über den Aldehyd erzeugt wird.

[0057] Wie bei (1) in **Fig. 7** gezeigt ist, reagiert Kohlenwasserstoff (Dieselkraftstoff) mit einem Sauerstoffmolekül, und es entsteht ein Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal. Das Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal wird zu Aldehyd und einem Kohlenwasserstoffradikal (siehe (2) in **Fig. 7**) zersetzt. Das Kohlenwasserstoffradikal reagiert mit einem Sauerstoffmolekül, und es entsteht ein weiteres Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal (siehe (3) in **Fig. 7**). Das Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal wird zu Aldehyd und einem Kohlenwasserstoffradikal (siehe (4) in **Fig. 7**) zersetzt. Das Kohlenwasserstoffradikal reagiert mit einem Sauerstoffmolekül, und es entsteht ein weiteres Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal (siehe (5) in **Fig. 7**). Auf diese Weise wird immer wieder ein Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal erzeugt, während die Kohlenstoffzahl reduziert wird, und Aldehyd entsteht jedes Mal, wenn das Kohlenwasserstoff-Peroxyradikal erzeugt wird. Es ist zu beachten, dass bei der Heißflammenreaktion der Kraftstoff vollständig verbrannt wird und Kohlendioxid und Wasser entstehen, jedoch kein Reaktionszwischenprodukt erzeugt wird. In anderen Worten wird das Reaktions-

zwischenprodukt, das durch die Kaltflammenreaktion erzeugt wird, zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert.

[0058] Die Erfinder der vorliegenden Offenbarung hatten weiterhin folgende Experimente ausgeführt, um die Wahrscheinlichkeit der Simulationsergebnisse zu untermauern, die in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigt sind. In den Experimenten wurde durch den Kraftstoffinjektor **40** Dieselkraftstoff versprüht, und der versprühte Dieselkraftstoff wurde zur Kollision mit einer erwärmten Platte (nicht gezeigt) gebracht. Dann wurden die auf der erwärmten Platte verdampften Gaskomponenten analysiert. Als Ergebnis der Analyse bestätigte sich, dass Acetaldehyd von etwa 30 Teilen pro Million erzeugt wurde, wenn Dieselkraftstoff von 2000 Teilen pro Million mit der erwärmten Platte zur Kollision gebracht wurde. Das Analyseergebnis lässt erkennen, dass infolge der Kaltflammenreaktion Acetaldehyd erzeugt werden kann.

[0059] In der in **Fig. 5** und **Fig. 6** gezeigten Simulation ist eine Temperatur der Heizeinrichtung **50** auf 430°C eingestellt. Die Erfinder der vorliegenden Offenbarung hatten weiterhin eine Simulation mit verschiedenen Temperaturen der Heizeinrichtung **50** durchgeführt, und man erhielt Analyseergebnisse, wie sie in **Fig. 8** gezeigt sind. In **Fig. 8** zeigen die Zeichen L1, L2, L3, L4, L5 und L6 Ergebnisse, wenn die Heizeinrichtungstemperatur auf 530°C, 430°C, 330°C, 230°C, 130°C bzw. 30°C eingestellt ist.

[0060] Wie durch das Zeichen L1 angezeigt wird, besteht in der Kaltflammenreaktion nahezu keine Verweilzeit, wenn die Heizeinrichtungstemperatur 530°C beträgt, und die Oxidationsreaktion wird in nur einem Schritt durchgeführt. Wenn hingegen die Heizeinrichtungstemperatur auf 330°C eingestellt ist, wie durch das Zeichen L3 angezeigt wird, wird ein Startsteuerzeitpunkt der Kaltflammenreaktion im Vergleich zu einem Fall verzögert, wenn die Heizeinrichtungstemperatur auf 430°C eingestellt ist, wie durch das Zeichen L2 angezeigt ist. Wenn zudem die Heizeinrichtungstemperatur auf 230°C oder niedriger eingestellt ist, wie durch die Zeichen L4 bis L6 angezeigt wird, kommt es weder zur Kaltflammenreaktion noch zur Heißflammenreaktion, d. h. es findet keine Oxidationsreaktion statt.

[0061] In der in **Fig. 8** dargestellten Simulation ist das Äquivalenzverhältnis, das ein Gewichtverhältnis eines eingespritzten Kraftstoffs zu einer zugeführten Luft ist, bei 0,23 eingestellt. In diesem Zusammenhang sind die Erfinder der vorliegenden Offenbarung zu den in **Fig. 9** dargestellten Ergebnissen bei der Simulation der unterschiedlichen Äquivalenzverhältnisse gelangt. Es ist zu beachten, dass das Äquivalenzverhältnis als ein Wert definiert werden kann, indem das „Gewicht des in einem Kraftstoff-Luft-Gemisch enthaltenen Kraftstoff“ durch das „Gewicht des

Kraftstoffs, der vollständig verbrannt werden kann“ dividiert wird. Wie in **Fig. 9** gezeigt ist, besteht nahezu keine Verweilzeit in der Kaltflammenreaktion, wenn das Äquivalenzverhältnis bei 1,0 eingestellt ist, und die Oxidationsreaktion wird in nur einem Schritt durchgeführt. Wenn das Äquivalenzverhältnis bei 0,37 eingestellt ist, wird zudem der Startsteuerzeitpunkt der Kaltflammenreaktion vorverlegt, nimmt eine Kaltflammenreaktionsrate zu, nimmt eine Kaltflammenreaktionszeitspanne ab, und nimmt die Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt der Beendigung der Kaltflammenreaktion im Vergleich zu einem Fall zu, in dem das Äquivalenzverhältnis bei 0,23 eingestellt ist.

[0062] **Fig. 10** stellt eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse von **Fig. 8** und **Fig. 9** dar, und die Abszissenachse des Graphen zeigt die Heizeinrichtungstemperatur (die Umgebungstemperatur) von **Fig. 8** an, und die Ordinatenachse des Graphen zeigt das Äquivalenzverhältnis von **Fig. 9** an. Der gestrichelte Bereich in **Fig. 10** ist ein Bereich, in dem sich eine zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion ereignet. Wie in **Fig. 10** gezeigt ist, ist ein Bereich, in dem die Umgebungstemperatur niedriger als ein unterer Grenzwert ist, ein Nichtreaktionsbereich, in dem keine Oxidationsreaktion stattfindet. Selbst wenn die Umgebungstemperatur höher als der untere Grenzwert ist, handelt es sich bei einem Bereich, in dem das Äquivalenzverhältnis größer oder gleich 1,0 ist, um einen Bereich einer einen Schritt umfassenden Oxidationsreaktion, in dem die Oxidation in nur einem Schritt erfolgt.

[0063] Eine Grenzlinie zwischen dem Bereich einer zwei Schritte umfassenden Oxidationsreaktion und dem Bereich einer einen Schritt umfassenden Oxidationsreaktion wird entsprechend der Umgebungstemperatur und dem Äquivalenzverhältnis verschoben. Das heißt, wenn die Umgebungstemperatur in einen spezifizierten Temperaturbereich fällt und das Äquivalenzverhältnis in einen spezifizierten Äquivalenzverhältnisbereich fällt, findet die zwei Schritte umfassende Oxidationsreaktion statt. Das heißt, dass der spezifizierte Temperaturbereich und der spezifizierte Äquivalenzverhältnisbereich dem gestrichelten Bereich in **Fig. 10** entsprechen. Wenn die Umgebungstemperatur auf eine optimale Temperatur (z. B. 370°C) innerhalb des spezifizierten Temperaturbereichs eingestellt ist, weist das Äquivalenzverhältnis auf der Grenzlinie einen maximalen Wert auf (z. B. 1,0). Damit es frühzeitiger zur Kaltflammenreaktion kommt, wird daher die Heizeinrichtungstemperatur an die optimale Temperatur angepasst und das Äquivalenzverhältnis wird bei 1,0 eingestellt. Wenn jedoch das Äquivalenzverhältnis größer als 1,0 ist, findet keine Kaltflammenreaktion statt, und somit wird das Äquivalenzverhältnis vorzugsweise auf einen Wert eingestellt, der um eine gegebene Differenz unter 1,0 liegt.

[0064] In der in **Fig. 8** und **Fig. 9** gezeigten Simulation ist die Ozonkonzentration in der Luft auf null eingestellt. Die Erfinder der vorliegenden Offenbarung hatten des Weiteren eine Simulation mit unterschiedlichen Ozonkonzentrationen in der Luft durchgeführt, und es wurde ein Analyseergebnis erhalten, wie es in **Fig. 11** gezeigt ist. Bei der Simulation wurde eine ursprüngliche Bedingung bei 1 Atmosphärendruck, einer Hexadecan-Konzentration von 2200 Teilen pro Million und der Umgebungstemperatur von 330°C eingestellt. Wie in **Fig. 11** gezeigt ist, wird der Startsteuerzeitpunkt der Kaltflammenreaktion vorverlegt, wenn die Ozonkonzentration zunimmt. Ein derartiges Phänomen kann wie nachstehend erläutert werden. Wie vorstehend beschrieben, reagiert das Kohlenwasserstoffradikal mit dem Sauerstoffmolekül bei (1), (3) und (5) in **Fig. 7**, und diese Reaktion wird mit dem in der Luft enthaltenen Ozon beschleunigt. Somit wird innerhalb kurzer Zeit Aldehyd erzeugt, wodurch der Startsteuerzeitpunkt der Kaltflammenreaktion früher stattfindet.

[0065] Der Microcomputer **81** der ECU **80** beinhaltet eine Speichereinheit zum Speichern von Programmen, und eine zentrale Verarbeitungseinheit, die eine arithmetische Verarbeitung gemäß den in der Speichereinheit gespeicherten Programmen ausführt. Die ECU **80** steuert den Betrieb der Brennkraftmaschine **10** basierend auf Detektionswerten der Sensoren. Die Sensoren können einen Fahrpedalsensor **91**, einen Maschinendrehzahlsensor **92**, einen Drosselklappenöffnungssensor **93**, einen Ansaugluftdrucksensor **94**, einen Ansaugmengensensor **95**, einen Abgastemperatursensor **96** oder ähnliches beinhalten.

[0066] Der Fahrpedalsensor **91** detektiert einen Verstellweg eines Fahrpedals eines Fahrzeuges durch einen Fahrer. Der Maschinendrehzahlsensor **92** detektiert eine Drehzahl einer Ausgangswelle **10a** der Brennkraftmaschine **10** (d. h. eine Maschinendrehzahl). Der Drosselklappenöffnungssensor **93** detektiert einen Öffnungsbetrag des Drosselklappenventils **13**. Der Ansaugluftdrucksensor **94** detektiert einen Druck der Saugleitung **10in** an einer Position stromabwärts des Drosselklappenventils **13**. Der Ansaugmengensensor **95** detektiert eine Massenstromrate einer Ansaugluft.

[0067] Die ECU **80** steuert im Allgemeinen eine Menge und einen Einspritzsteuerzeitpunkt eines Kraftstoffs zur Verbrennung, der aus einem Kraftstoffeinspritzventil (nicht gezeigt) gemäß einer Drehzahl der Ausgangswelle **10a** und einer Maschinenlast der Brennkraftmaschine **10** eingespritzt wird. Zudem steuert die ECU **80** den Betrieb der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung basierend auf einer Abgastemperatur, die durch den Abgastemperatursensor **96** detektiert wird. In anderen Worten schaltet der Microcomputer **81** um zwischen der Erzeugung des

reformierten Kraftstoffs und der Erzeugung von Ozon durch wiederholtes Ausführen eines Vorgangs (d. h. eines Programms) in einer vorbestimmten Zeitspanne, wie in **Fig. 12** gezeigt ist. Der Vorgang startet, wenn ein Zündschalter eingeschaltet wird, und wird konstant ausgeführt, während die Brennkraftmaschine **10** in Betrieb ist.

[0068] Bei Schritt 10 von **Fig. 12** bestimmt der Microcomputer **81**, ob die Brennkraftmaschine **10** in Betrieb ist. Wenn die Brennkraftmaschine **10** nicht in Betrieb ist, wird der Betrieb der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung bei Schritt 15 gestoppt. Genauer gesagt wird die Zufuhr der elektrischen Leistung gestoppt, wenn dem Entladereaktor **20**, der Luftpumpe **20p**, dem Kraftstoffinjektor **40** und der Heizeinrichtung **50** elektrische Leistung zugeführt wird. Wohingegen, wenn die Brennkraftmaschine **10** in Betrieb ist, die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung gemäß einer Temperatur des Reduktionskatalysators (NOx-Katalysatortemperatur) im Inneren der NOx-Reinigungsvorrichtung **15** betrieben wird.

[0069] Insbesondere bei Schritt 11 wird die Luftpumpe **20p** mit einer vorbestimmten Leistungsmenge betrieben. Anschließend wird bei Schritt 12 bestimmt, ob die NOx-Katalysatortemperatur niedriger als eine Aktivierungstemperatur T1 des Reduktionskatalysators ist (z. B. 250°C). Die NOx-Katalysatortemperatur wird unter Verwendung einer Abgastemperatur geschätzt, die durch den Abgastemperatursensor **96** detektiert wird. Es wird darauf hingewiesen, dass die Aktivierungstemperatur des Reduktionskatalysators eine Temperatur ist, bei der der reformierte Kraftstoff NOx durch den Reduktionsvorgang reinigen kann.

[0070] Wenn bestimmt wird, dass die NOx-Katalysatortemperatur niedriger ist als die Aktivierungstemperatur T1, wird ein Subroutinenablauf für eine Ozonerzeugungssteuerung, wie in **Fig. 13** gezeigt ist, bei Schritt 13 ausgeführt. Anfänglich wird den Elektroden **21** des Entladereaktors **20** eine vorbestimmte Leistungsmenge zugeführt, um eine elektrische Entladung bei Schritt 20 in **Fig. 13** zu starten. Anschließend wird die elektrische Leistungszufuhr zur Heizeinrichtung **50** bei Schritt 21 gestoppt, und die elektrische Leistungszufuhr zum Kraftstoffinjektor **40** wird gestoppt, so dass die Kraftstoffeinspritzung bei Schritt 22 gestoppt wird.

[0071] Gemäß der Ozonerzeugungssteuerung erzeugt der Entladereaktor **20** Ozon, und das erzeugte Ozon wird der Abgasleitung **10ex** durch die Kraftstoffeinspritzkammer **30a**, die Verdampfungskammer **30b** und die Zuführleitung **32** zugeführt. Wenn in diesem Fall die Leistungszufuhr zur Heizeinrichtung **50** durchgeführt wird, würde das Ozon durch die Heizeinrichtung **50** erwärmt werden und kollabieren. Wenn außerdem Kraftstoff zugeführt wird, würde das Ozon im Inneren des Entladereaktors **20** mit dem zu-

geführten Kraftstoff reagieren. Im Hinblick darauf wird in der in **Fig. 13** gezeigten Ozonerzeugungssteuerung die Erwärmung durch die Heizeinrichtung **50** und die Kraftstoffzufuhr durch den Kraftstoffinjektor **40** gestoppt. Da aus diesem Grund die Reaktion des Ozons mit dem Kraftstoff und der Erwärmungskollaps verhindert werden können, wird das erzeugte Ozon unter den gegebenen Umständen der Abgasleitung **10ex** zugeführt.

[0072] Wenn bestimmt wird, dass die NO_x-Katalysatortemperatur größer oder gleich der Aktivierungstemperatur T1 in **Fig. 12** ist, wird ein Subroutinenablauf der Steuerung der Erzeugung des reformierten Kraftstoffs, die in **Fig. 14** gezeigt ist, bei Schritt 14 ausgeführt.

[0073] Ein Abriss des Vorgangs in **Fig. 14** wird entsprechend den gestrichelten Linien in der Figur beschrieben. In Schritt 30 wird der Betrieb der Heizeinrichtung **50** so gesteuert, dass eine Temperatur im Inneren des Reaktionsbehälters **30** an einen Wert innerhalb eines gegebenen Temperaturbereichs angepasst wird. Dann wird in Schritt 40 das Äquivalenzverhältnis, bei dem es sich um ein Verhältnis des Kraftstoffs zur Luft im Inneren des Reaktionsbehälters **30** handelt, an einen Wert innerhalb des spezifizierten Äquivalenzverhältnissbereichs angepasst. Der spezifizierte Temperaturbereich und der spezifizierte Äquivalenzverhältnissbereich sind im Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidationsreaktion beinhaltet, wie durch den gestrichelten Bereich in **Fig. 10** angezeigt wird. Dementsprechend kommt es zur Kaltflammenreaktion, und der reformierte Kraftstoff wird, wie vorstehend beschrieben, erzeugt.

[0074] Die Untergrenze des spezifizierten Temperaturbereichs wird auf 260°C eingestellt, d. h. der Grenzlinie zwischen dem Bereich der einen Schritt umfassenden Oxidationsreaktion und dem Nichtreaktionsbereich und zwischen dem Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidation und dem Nichtreaktionsbereich. Die Obergrenze des Bereichs der spezifizierten Temperatur ist bei der maximalen Temperatur in einer Grenzlinie zwischen dem Bereich der einen Schritt umfassenden Oxidation und dem Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidation eingestellt. Die Obergrenze des spezifizierten Äquivalenzverhältnissbereichs ist bei einem Wert eingestellt, der ein maximaler Wert in der Grenzlinie zwischen dem Bereich der einen Schritt umfassenden Oxidation und dem Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidation ist, und der 370°C entspricht.

[0075] Ferner wird in Schritt 50 die Leistungszufuhr zu dem Entladereaktor **20** entsprechend einer Konzentration des Kraftstoffs innerhalb des Reaktionsbehälters **30** gesteuert. Dementsprechend wird Ozon erzeugt, und das erzeugte Ozon wird dem Reaktionsbehälter **30** zugeführt. Somit wird, wie vorste-

hend unter Bezugnahme auf **Fig. 11** beschrieben, der Startsteuerzeitpunkt der Kaltflammenreaktion vorverlegt, und die Kaltflammenreaktionszeit wird reduziert. Selbst wenn somit die Abmessungen des Reaktionsbehälters **30** verkleinert würden, so dass eine Verweildauer des Kraftstoffs innerhalb der Reaktionskammer **30** verkürzt würde, könnte die Kaltflammenreaktion innerhalb der Verweilzeit ablaufen, wodurch eine Verringerung der Abmessungen des Reaktionsbehälters **30** möglich wäre.

[0076] Der Microcomputer **81**, der Schritt 30 ausführt, kann einen „Temperatur-Controller (Controller)“ bereitstellen. Der Microcomputer **81**, der Schritt 40 ausführt, kann einen „Äquivalenzverhältnis-Controller (Controller)“ bereitstellen. Der Microcomputer **81**, der Schritt 50 ausführt, kann einen „Entladeleistungs-Controller (Controller)“ bereitstellen. Auf die Schritte S30, S40 und S50 wird nachstehend im Einzelnen unter Bezugnahme auf **Fig. 14** eingegangen.

[0077] Zunächst erfolgt eine Beschreibung des Vorgangs des Temperatur-Controllers bei Schritt 30. Bei Schritt 31 wird eine Temperatur im Inneren der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung, d. h. innerhalb des Reaktionsbehälters **30**, erfasst. Genauer gesagt wird eine Detektionstemperatur Tact, die durch den Temperatursensor **31** detektiert wird, erfasst. Im anschließenden Schritt 32 wird bestimmt, ob die Detektionstemperatur Tact höher ist als eine vorbestimmte Soll-Temperatur Ttrg. Genauer gesagt wird bestimmt, ob eine Differenz Δt , die durch Subtrahieren der Soll-Temperatur Ttrg von der Detektionstemperatur Tact erhalten wird, größer null ist.

[0078] Wenn $\Delta T > 0$ nicht erfüllt wird, wird der Vorgang bei Schritt 33 fortgesetzt, und eine Erwärmungsmenge durch die Heizeinrichtung **50** wird erhöht. Insbesondere wird ein Erregungs-Tastverhältnis in Bezug auf die Heizeinrichtung **50** erhöht, wenn der absolute Wert der Differenz Δt erhöht wird. Demgegenüber wird, wenn $\Delta T > 0$ erfüllt wird, bestimmt, ob die Differenz ΔT einen maximalen Wert überschreitet (z. B. 50°C) bei Schritt 34. Wenn die Differenz ΔT den maximalen Wert nicht überschreitet, wird der Vorgang bei Schritt 35 fortgesetzt, und eine Erwärmungsmenge durch die Heizeinrichtung **50** wird verringert. Insbesondere wird das Erregungs-Tastverhältnis bezogen auf die Heizeinrichtung **50** verringert, wenn der absolute Wert der Differenz Δt ansteigt. Wenn jedoch die Differenz ΔT den maximalen Wert überschreitet, wird der Vorgang bei Schritt 36 fortgesetzt, und die Zufuhr elektrischer Leistung zur Heizeinrichtung **50** wird gestoppt. Somit kann die Umgebungstemperatur rasch verringert werden.

[0079] Die Soll-Temperatur Ttrg, die bei Schritt 32 verwendet wird, wird bei der Umgebungstemperatur (z. B. 370°C) eingestellt, bei der das Äquivalenzverhältnis den maximalen Wert in dem Bereich der

zwei Schritte umfassenden Oxidation aufweist, die in **Fig. 10** gezeigt ist. Da eine Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30b** durch die Kaltflammenreaktion ansteigt, wird die Heizeinrichtung **50** so gesteuert, dass sie eine Temperatur aufweist, die um einen Temperaturanstieg durch die Kaltflammenreaktion niedriger ist als die Soll-Temperatur T_{trg} .

[0080] Als nächstes wird nachstehend ein durch den Äquivalenzverhältnis-Controller ausgeführter Vorgang bei Schritt 40 beschrieben. Bei Schritt 40 wird, wenn die Differenz Δt kleiner oder gleich 50°C ist, der Vorgang bei Schritt 41 fortgesetzt, und es wird ein maximaler Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnis, der der Detektionstemperatur T_{act} entspricht, und bei dem die Kaltflammenreaktion stattfindet, berechnet. Insbesondere wird der maximale Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnis, der der Umgebungstemperatur in dem Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidation entspricht, oder ein Wert, der durch Subtrahieren einer gegebenen Differenz von dem maximalen Wert ϕ_{max} erhalten wird, in dem Microcomputer **81** als ein Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} gespeichert. Ein Kennfeld für den maximalen Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnis, der der Umgebungstemperatur in dem Bereich der zwei Schritte umfassenden Oxidation entspricht, wird erstellt, und das Kennfeld wird in dem Microcomputer **81** im Voraus gespeichert. Dann wird der maximale Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnisses, der der Detektionstemperatur T_{act} entspricht, unter Hinzuziehung des Kennfelds berechnet.

[0081] Bei Schritt 42 wird das Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} basierend auf dem maximalen Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnisses eingestellt, das bei Schritt 41 berechnet wurde. Genauer gesagt wird das Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} eingestellt, indem eine gegebene Differenz von dem maximalen Wert ϕ_{max} subtrahiert wird. Selbst wenn dementsprechend ein Ist-Äquivalenzverhältnis größer ist als das Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} , würde das Ist-Äquivalenzverhältnis den maximalen Wert ϕ_{max} wahrscheinlich eher nicht überschreiten, und somit kann die Wahrscheinlichkeit des Ausbleibens der Kaltflammenreaktion verringert werden.

[0082] Wenn demgegenüber die Differenz Δt größer als 50°C ist und die Heizeinrichtung **50** bei Schritt 36 gestoppt wird, wird der Vorgang bei Schritt 43 fortgesetzt und das Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} wird auf einen vorbestimmten Wert für eine Luftkühlung eingestellt. Der vorbestimmte Wert für eine Luftkühlung wird so eingestellt, dass er größer als der maximale Wert ϕ_{max} des Äquivalenzverhältnisses ist, der der Soll-Temperatur T_{trg} entspricht. In anderen Worten kann ein Rückgang der Umgebungstemperatur beschleunigt werden, indem eine Strömungsmenge der Luft im Vergleich zu dem Fall von Schritt 42 erhöht wird.

[0083] Bei Schritt 44 wird eine Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} eingestellt, die eine Strömungsrate des Kraftstoffs ist, mit der eine erforderliche Kraftstoffmenge angemessen bereitgestellt werden soll, so dass das NO_x , das in die NO_x -Reinigungsvorrichtung **15** strömt, vollkommen reduziert wird. Unter der Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} versteht man die Masse des Kraftstoffs, der der NO_x -Reinigungsvorrichtung **15** pro Zeiteinheit zugeführt wird.

[0084] Insbesondere wird die Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} basierend auf einer NO_x -Einströmrates, auf die in der Beschreibung nachstehend eingegangen wird, und der NO_x -Katalysatortemperatur eingestellt. Die NO_x -Einströmrates ist die Masse des NO_x , die in die NO_x -Reinigungsvorrichtung **15** pro Zeiteinheit strömt. Die NO_x -Einströmrates kann z. B. basierend auf einem Betriebszustand der Brennkraftmaschine **10** geschätzt werden. Die NO_x -Katalysatortemperatur ist eine Temperatur des Reduktionskatalysators im Inneren der NO_x -Reinigungsvorrichtung **15**. Die NO_x -Katalysatortemperatur kann z. B. basierend auf einer Temperatur geschätzt werden, die durch den Abgastemperatursensor **96** detektiert wird.

[0085] Die Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} steigt an, wenn die NO_x -Einströmrates ansteigt. Da sich eine reduzierte Menge (Reduktionsleistung) des NO_x im Beisein des Reduktionskatalysators entsprechend der NO_x -Katalysatortemperatur ändert, wird die Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} entsprechend einer Differenz in der Reduktionsleistung aufgrund der NO_x -Katalysatortemperatur eingestellt.

[0086] Im anschließenden Schritt 45 wird die Soll-Luftströmungsrate A_{trg} basierend auf dem Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} , das bei Schritt 42 oder 43 eingestellt wird, und der Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} , die bei Schritt 44 eingestellt wird, berechnet. Insbesondere wird die Soll-Luftströmungsrate A_{trg} so berechnet, dass die Gleichung $\phi_{trg} = F_{trg}/A_{trg}$ erfüllt wird.

[0087] Im anschließenden Schritt 46 wird der Betrieb der Luftpumpe **20p** basierend auf der Soll-Luftströmungsrate A_{trg} gesteuert, die bei Schritt 45 berechnet wird. Insbesondere nimmt das Erregungs-Lastverhältnis bezogen auf die Luftpumpe **20p** zu, wenn die Soll-Luftströmungsrate A_{trg} ansteigt. Als nächstes wird bei Schritt 47 der Betrieb des Kraftstoffinjektors **40** so gesteuert, dass die Kraftstoffeinspritzung basierend auf der Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} ausgeführt wird, die bei Schritt 44 eingestellt wird. Insbesondere wird die Öffnungszeit des Kraftstoffinjektors **40** verlängert, wenn die Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} zunimmt.

[0088] Der Microcomputer **81**, der die Schritte 44 und 47 ausführt, kann einen „Kraftstoffströmungsrate-Controller“ bereitstellen, der eine Strömungs-

rate des Kraftstoffs steuert, der der Verdampfungskammer **30b** zugeführt werden soll. Der Microcomputer **81**, der die Schritte 41, 42, 43, 45 und 46 ausführt, kann einen „Luftströmungsrate-Controller“ bereitstellen, der eine Strömungsrate der Luft steuert, die der Verdampfungskammer **30b** zugeführt werden soll.

[0089] Im Anschluss erfolgt eine Beschreibung des Vorgangs von Schritt 50 durch den Entladeleistungs-Controller. Anfänglich wird eine Soll-Ozonströmungsrate O_{trg} bei Schritt 51 basierend auf der Soll-Kraftstoffströmungsrate F_{trg} berechnet, die bei Schritt 44 eingestellt wird. Insbesondere wird die Soll-Ozonströmungsrate O_{trg} so berechnet, dass ein Verhältnis einer Ozonkonzentration zu einer Kraftstoffkonzentration im Inneren der Verdampfungskammer **30b** einem gegebenen Wert entspricht (z. B. 0,2). Das Verhältnis wird z. B. so eingestellt, dass die Kaltflammenreaktion innerhalb einer gegebenen Zeitspanne (z. B. 0,02 Sekunden) durchgeführt werden kann. Wenn die Kraftstoffkonzentration z. B. 2200 Teile pro Million beträgt, wie in **Fig. 11** gezeigt ist, sollte durch die Ozonkonzentration von 400 Teilen pro Million die Kaltflammenreaktion innerhalb von 0,02 Sekunden ablaufen. In diesem Fall wird die Soll-Ozonströmungsrate O_{trg} so eingestellt, dass die Ozonkonzentration 400 Teile pro Million beträgt.

[0090] Im anschließenden Schritt 52 wird eine Soll-Erregungsmenge P_{trg} für den Entladereaktor **20** basierend auf der Soll-Luftströmungsrate A_{trg} , die bei Schritt 45 berechnet wird, und der Soll-Ozonströmungsrate O_{trg} berechnet, die bei Schritt S51 berechnet wird. Die Verweilzeit der Luft im Inneren der Abführleitung **21a** nimmt ab, wenn die Soll-Luftströmungsrate A_{trg} ansteigt. Somit wird die Soll-Erregungsmenge P_{trg} erhöht, wenn die Soll-Luftströmungsrate A_{trg} ansteigt.

[0091] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform beinhaltet die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung den Reaktionsbehälter **30**, in dem der Kraftstoff mit dem Sauerstoff in der Luft oxidiert wird. Eine Temperatur und das Äquivalenzverhältnis im Inneren des Reaktionsbehälters **30** werden so angepasst, dass es zur Kaltflammenreaktion kommt, und der Kraftstoff (reformierter Kraftstoff), der durch die Kaltflammenreaktion teilweise oxidiert wird, wird der Abgasleitung **10ex** als das NOx-Reinigungs-Reduktionsmittel zugeführt. Somit kann die NOx-Reinigungsrate im Vergleich zu einem Fall verbessert werden, in dem der nicht teilweise oxidierte Kraftstoff als das Reduktionsmittel verwendet wird.

[0092] Zudem ist in der vorliegenden Ausführungsform der Entladereaktor **20** bereitgestellt, und das durch den Entladereaktor **20** erzeugte Ozon wird dem Reaktionsbehälter **30** zugeführt, wenn es zur Kaltflammenreaktion kommt. Aus diesem Grund kann der

Startsteuerzeitpunkt vorverlegt werden, und die Kaltflammenreaktionszeit kann reduziert werden. Selbst wenn somit die Abmessungen des Reaktionsbehälters **30** reduziert würden, und eine Verweilzeit des Kraftstoffs innerhalb des Reaktionsbehälters **30** verkürzt würde, könnte die Kaltflammenreaktion innerhalb der Verweilzeit ablaufen. Demnach wäre eine Verkleinerung der Abmessungen des Reaktionsbehälters **30** möglich.

[0093] Zudem wird in der vorliegenden Ausführungsform die für die elektrische Entladung verwendete elektrische Leistung entsprechend der Konzentration des Kraftstoffs innerhalb der Verdampfungskammer **30b** durch den Vorgang von Schritt 50 in **Fig. 14** gesteuert. Die Soll-Ozonströmungsrate O_{trg} wird z. B. so berechnet, dass ein Verhältnis der Ozonkonzentration zur Kraftstoffkonzentration einen gegebenen Wert erreicht (z. B. 0,2), und dann wird eine Entladeleistung gesteuert. Aus diesem Grund wird eine übermäßige oder unzureichende Ozonkonzentration in Bezug auf die Kraftstoffkonzentration verhindert, so dass der Start der Kaltflammenreaktion durch Zuführen des Ozons in der angemessenen Menge vorverlegt werden kann, wodurch der Elektrizitätsverbrauch am Entladereaktor **20** verringert werden kann.

[0094] Wenn zudem in der vorliegenden Ausführungsform eine Temperatur des Reduktionskatalysators niedriger ist als die Aktivierungstemperatur T_1 , wird das Ozon, das durch den Entladereaktor **20** erzeugt wird, der Verdampfungskammer **30a** zugeführt, während die Kraftstoffeinspritzung durch den Kraftstoffinjektor **40** gestoppt wird, wodurch das Ozon der Abgasleitung **10ex** zugeführt wird. Dementsprechend kann verhindert werden, dass der reformierte Kraftstoff als das Reduktionsmittel zugeführt wird, wenn der Reduktionskatalysator in der NOx-Reinigungsvorrichtung **15** nicht aktiviert ist. Da das NO im Abgas durch Zuführen von Ozon zu NO₂ oxidiert wird und im Inneren des NOx-Reinigungskatalysators adsorbiert wird, kann eine NOx-Adsorptionsmenge im Inneren der NOx-Reinigungsvorrichtung **15** zunehmen.

[0095] Weiter sind in der vorliegenden Ausführungsform die Heizeinrichtung **50**, die den Kraftstoff erwärmt, und der Temperatursensor **31**, der eine Temperatur (Umgebungstemperatur) innerhalb der Verdampfungskammer **30b** detektiert, bereitgestellt. Der Temperatur-Controller bei Schritt 30 von **Fig. 14** steuert den Betrieb der Heizeinrichtung **50** gemäß einer Temperatur, die durch den Temperatursensor **31** detektiert wird, um eine Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30b** an einen spezifizierten Temperaturbereich anzupassen. Dementsprechend wird eine Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30b** durch den Temperatursensor **31** direkt detektiert. Zudem wird der Kraftstoff in der Verdampfungskammer **30b** durch die Heizeinrichtung **50** direkt erwärmt. Aus diesem Grund kann die Anpassung ei-

ner Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30b** an den spezifizierten Temperaturbereich mit hoher Genauigkeit realisiert werden.

[0096] Zu beachten ist, dass der spezifizierte Äquivalenzverhältnis-Bereich, in dem die Kaltflammenreaktion stattfindet, abhängig von der Umgebungstemperatur unterschiedlich sein kann, wie in **Fig. 10** gezeigt ist. Im Hinblick auf die obengenannte Tatsache ändert der Äquivalenzverhältnis-Controller bei Schritt 40 von **Fig. 14** das Soll-Äquivalenzverhältnis ϕ_{trg} entsprechend der Detektionstemperatur Tact. Selbst wenn somit die Detektionstemperatur Tact von der Soll-Temperatur Ttrg abweicht, da das Äquivalenzverhältnis entsprechend der Ist-Temperatur im Inneren der Verdampfungskammer **30b** angepasst worden ist, kann die Kaltflammenreaktion mit Sicherheit stattfinden.

[0097] Zudem wird in der vorliegenden Ausführungsform die Soll-Kraftstoffströmungsrate Ftrg bei den Schritten 44 und 47 (Kraftstoffeinspritzungsmengen-Controller) von **Fig. 14** basierend auf einer notwendigen Strömungsrate des Reduktionsmittels eingestellt, das durch die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** benötigt wird. Die Soll-Luftströmungsrate Atrg wird bei den Schritten 41, 42, 43, 45 und 46 (Luftströmungsraten-Controller) basierend auf der Soll-Kraftstoffströmungsrate Ftrg eingestellt, so dass das Äquivalenzverhältnis in den spezifizierten Äquivalenzverhältnisbereich fällt. Aus diesem Grund kann das Äquivalenzverhältnis an den spezifizierten Äquivalenzverhältnisbereich angepasst werden, während der erforderlichen Strömungsrate des durch die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** benötigten Reduktionsmittels entsprochen wird.

[0098] Weiterhin kommt es gemäß der vorliegenden Ausführungsform durch die Heizeinrichtung **50** zu einem Cracken, so dass der Kraftstoff in eine Kohlenwasserstoffverbindung mit einer kleinen Kohlenstoffzahl thermisch zersetzt wird. Da die Kohlenwasserstoffverbindung, die eine kleine Kohlenstoffzahl aufweist, einen niedrigen Siedepunkt besitzt, kann verhindert werden, dass der verdampfte Kraftstoff in flüssiger Form zurückkehrt.

(Zweite Ausführungsform)

[0099] In der ersten Ausführungsform, die in **Fig. 1** gezeigt ist, wird dem Entladereaktor **20** durch die Luftpumpe **20p** Luft zugeführt. In einer Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung gemäß der in **Fig. 15** dargestellten zweiten Ausführungsform hingegen wird ein Anteil der Ansaugluft in der Brennkraftmaschine **10** dem Entladereaktor **20** zugeführt.

[0100] Insbesondere verbindet eine Zweigleitung **36h** einen Abschnitt der Saugleitung **10in** stromabwärts des Kompressors **11c** und stromaufwärts der

Kühleinrichtung **12** und die Fluidleitung **22a** des Entladereaktors **20**. Zudem verbindet eine Zweigleitung **36c** einen Abschnitt der Saugleitung **10in** stromabwärts der Kühleinrichtung **12** und die Fluidleitung **22a**. Eine hohe Temperatur aufweisende Ansaugluft wird, ohne durch die Kühleinrichtung **12** gekühlt zu werden, dem Entladereaktor **20** durch die Zweigleitung **36h** zugeführt. Demgegenüber wird eine niedrige Temperatur aufweisende Ansaugluft, nachdem sie durch die Kühleinrichtung **12** gekühlt worden ist, dem Entladereaktor **20** durch die Zweigleitung **36c** zugeführt.

[0101] Ein Elektromagnetventil **36**, das eine innere Leitung der jeweiligen Zweigleitungen **36h** und **36c** öffnet und schließt, ist an den Zweigleitungen **36h** und **36c** angebracht. Der Betrieb des Elektromagnetventils **36** wird durch den Microcomputer **81** gesteuert. Wenn das Elektromagnetventil **36** in Betrieb geht, um die Zweigleitung **36h** zu öffnen und die Zweigleitung **36c** zu schließen, strömt die hohe Temperatur aufweisende Ansaugluft in den Entladereaktor **20**. Wenn das Elektromagnetventil **36** in Betrieb geht, um die Zweigleitung **36c** zu öffnen und die Zweigleitung **36h** zu schließen, strömt die niedrige Temperatur aufweisende Ansaugluft in den Entladereaktor **20**.

[0102] Der Betrieb des Elektromagnetventils **36** ermöglicht ein Schalten zwischen einem Modus, in dem die hohe Temperatur aufweisende Ansaugluft ohne Abkühlung durch die Kühleinrichtung **12** von einer Stelle stromaufwärts der Kühleinrichtung **12** abzweigt, und einem Modus, in dem die niedrige Temperatur aufweisende Ansaugluft ohne Kühlung durch die Kühleinrichtung **12** von einer Stelle stromabwärts der Kühleinrichtung **12** abzweigt. In diesem Fall wird der Modus zum Zuführen der eine niedrige Temperatur aufweisenden Ansaugluft während der Ozonierungssteuerung gewählt, und somit wird verhindert, dass das erzeugte Ozon durch die Wärme der Ansaugluft zerstört wird. Demgegenüber wird der Modus zum Zuführen der eine hohe Temperatur aufweisenden Ansaugluft bei einer anderen als der Ozonierungssteuerung gewählt, und es wird verhindert, dass der durch die Heizeinrichtung **50** erwärmte Kraftstoff durch die Ansaugluft im Inneren der Reaktionskammer gekühlt wird.

[0103] Während einer Zeitspanne, während der das Elektromagnetventil **36** geöffnet ist, wird eine Menge einer in die Brennkammern der Brennkraftmaschine **10** strömenden Ansaugluft um eine Menge der Anteile der Ansaugluft reduziert, die durch die Zweigleitungen **36h** und **36c** strömen. Aus diesem Grund korrigiert der Microcomputer **81** die Öffnung des Drosselklappenventils oder einen Kompressionsbetrag durch den Kompressor **11c**, so dass eine Menge einer Ansaugluft, die in die Brennkammern strömt, um die Menge der Ansaugluft ansteigt, die durch die Zweigleitungen **36h** und **36c** während der Öffnungszeitspanne des Elektromagnetventils **36** strömt.

[0104] Gemäß der vorliegenden Ausführungsform wird ein Anteil der Ansaugluft, die durch den Kompressor **11c** komprimiert wird, dem Entladereaktor **20** zugeführt. Aus diesem Grund kann eine sauerstoffhaltige Luft dem Entladereaktor **20** ohne die in **Fig. 1** dargestellte Luftpumpe **20p** zugeführt werden.

(Dritte Ausführungsform)

[0105] In den in **Fig. 1** und **Fig. 5** dargestellten Ausführungsformen wird durch den Entladereaktor **20** Ozon erzeugt, und das erzeugte Ozon wird dem Reaktionsbehälter **30** zugeführt. Alternativ wird in der in **Fig. 16** gezeigten dritten Ausführungsform auf den Entladereaktor **20** verzichtet. In diesem Fall könnte die Verringerung der Abmessungen der Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung realisiert werden, selbst wenn eine Beschleunigung der Reaktionsrate durch Ozon in dem Reaktionsbehälter **30** nicht erreicht werden kann.

(Andere Ausführungsformen)

[0106] Vorstehend wurden die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern kann mit verschiedenen Modifikationen, die nachstehend beispielhaft angeführt werden, implementiert werden.

[0107] In der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform ist die Heizeinrichtung **50** innerhalb des Reaktionsbehälters **30** angeordnet. Alternativ kann die Heizeinrichtung **50** außerhalb des Reaktionsbehälters **30** angeordnet sein, so dass der Kraftstoff oder die Luft an einer Position stromaufwärts des Reaktionsbehälters **30** erwärmt wird. Zudem ist in der in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsform der Temperatursensor **31** im Inneren des Reaktionsbehälters **30** angeordnet. Alternativ kann der Temperatursensor **31** an einer Position stromabwärts des Reaktionsbehälters **30** angeordnet sein.

[0108] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, die in **Fig. 1** gezeigt ist, wird der Kraftstoffinjektor **40** als der Zerstäuber verwendet, der den flüssigen Kraftstoff zerstäubt und den zerstäubten flüssigen Kraftstoff der Heizeinrichtung zugeführt. Eine vibrierende Vorrichtung, die den Kraftstoff in flüssiger Form zerstäubt, indem der Kraftstoff in Vibration versetzt wird, kann als der Zerstäuber verwendet werden. Die vibrierende Vorrichtung kann eine vibrierende Platte aufweisen, die mit einer hohen Frequenz vibriert, und der Kraftstoff wird auf der vibrierenden Platte in Vibration versetzt.

[0109] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, die in **Fig. 15** gezeigt ist, zweigt die Ansaugluft von den zwei Abschnitten der Saugleitung

10in stromaufwärts und stromabwärts von der Kühleinrichtung **12** durch die Zweigleitungen **36h** und **36c** ab. Demgegenüber kann auf eine beliebige der zwei Zweigleitungen **36h** und **36c** verzichtet werden, und auf das Umschalten zwischen den Modi durch das Elektromagnetventil **36** kann ebenso verzichtet werden.

[0110] Wenn die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung sich in einem vollständigen Stoppzustand befindet, in dem die Erzeugung von sowohl dem Ozon als auch des reformierten Reduktionsmittels gestoppt worden ist, kann die elektrische Entladung am Entladereaktor **20** gestoppt werden, so dass ein verschwenderischer Stromverbrauch vermindert wird. Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung kann sich im vollständigen Stoppzustand befinden, wenn beispielsweise die NOx-Katalysatortemperatur niedriger ist als die Aktivierungstemperatur und die adsorbierte NOx-Menge die Sättigungsmenge erreicht hat, oder wenn die NOx-Katalysatortemperatur einen hohen Wert erreicht, der über einer maximalen Temperatur liegt, bei der der Reduktionskatalysator NOx reduzieren kann. Zudem kann der Betrieb der Luftpumpe **20p** im vollständigen Stoppzustand gestoppt werden, so dass ein verschwenderischer Stromverbrauch vermindert werden kann.

[0111] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, die in **Fig. 1** gezeigt ist, wird der Reduktionskatalysator, der NOx physikalisch adsorbiert (d. h. Physiosorption), in der NOx-Reinigungsvorrichtung verwendet, doch kann auch ein Reduktionsmittel verwendet werden, dass NOx chemisch adsorbiert (d. h. Chemisorption).

[0112] Die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** kann NOx adsorbieren, wenn ein Kraftstoff-Luftverhältnis in der Brennkraftmaschine **10** magerer ist als ein stöchiometrisches Kraftstoff-Luftverhältnis (d. h., wenn die Maschine **10** sich in der mageren Verbrennung befindet), und kann NOx reduzieren, wenn das Kraftstoff-Luftverhältnis in der Brennkraftmaschine **10** nicht magerer ist als das stöchiometrische Kraftstoff-Luftverhältnis ist (d. h. wenn die Maschine **10** sich nicht in der nicht-mageren Verbrennung befindet). In diesem Fall wird bei der mageren Verbrennung Ozon erzeugt, und das reformierte Reduktionsmittel wird bei der nicht-mageren Verbrennung erzeugt. Ein Beispiel für einen Katalysator, der bei der mageren Verbrennung NOx adsorbiert, kann ein Chemisorptions-Reduktionskatalysator sein, der aus Platin und Barium besteht, die durch einen Träger getragen werden.

[0113] Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung kann auf ein Verbrennungssystem angewendet werden, das die NOx-Reinigungsvorrichtung **15** ohne Adsorptionsfunktion (d. h. Physiosorption und Chemisorptions-Funktionen) aufweist. In diesem Fall kann in der

NOx-Reinigungsvorrichtung **15** ein Katalysator auf Eisen- oder Kupferbasis als der Katalysator verwendet werden, der die NOx-Reduktionsleistung in einem gegebenen spezifizierten Temperaturbereich in der mageren Verbrennung aufweist, und den Katalysatoren kann als das Reduktionsmittel eine reformierende Substanz zugeführt werden.

[0114] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform wird die NOx-Katalysatortemperatur, die bei Schritt 12 von **Fig. 12** herangezogen wird, basierend auf der Abgastemperatur geschätzt, die durch den Abgastempersensor **96** detektiert wird. Ein Temperatursensor kann jedoch an der NOx-Reinigungsvorrichtung **15** angebracht sein, und der Temperatursensor kann die NOx-Katalysatortemperatur direkt detektieren. Oder die NOx-Katalysatortemperatur kann basierend auf einer Drehzahl der Ausgangswelle **10a** und einer Maschinen- bzw. Motorlast der Brennkraftmaschine **10** geschätzt werden.

[0115] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, die in **Fig. 1** gezeigt ist, weist der Entladereaktor **20** die Elektroden **21** auf, die jeweils plattenförmig sind und einander parallel gegenüberliegen. Der Entladereaktor **20** kann jedoch eine nadelförmige Elektrode (Stiftelektrode) aufweisen, die in nadelförmig vorsteht, und eine kreisförmige Elektrode, die die nadelförmige Elektrode kreisförmig umgibt.

[0116] In der vorstehend beschriebenen Ausführungsform, die in **Fig. 1** gezeigt ist, wird die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung auf das Verbrennungssystem angewendet, das in einem Fahrzeug installiert ist. Das Aktivsubstanz-Zuführsystem kann jedoch auf ein stationäres Verbrennungssystem angewendet werden. Zudem werden in den Ausführungsformen, die in **Fig. 1** gezeigt sind, die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung auf einen Dieselmotor mit Selbstzündung angewendet, und der zur Verbrennung dienende Diesel wird als das Reduktionsmittel verwendet. Die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung kann jedoch auf einen Benzinmotor mit Selbstzündung angewendet werden, und das zur Verbrennung dienende Benzin kann ebenfalls als Reduktionsmittel verwendet werden.

[0117] Die Mittel und Funktionen, die durch die ECU bereitgestellt werden, können z. B. nur durch Software, nur durch Hardware oder eine Kombination daraus bereitgestellt werden. Die ECU kann z. B. aus einer Anlogschaltung bestehen.

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 2009-162173 A [0002]

Patentansprüche

1. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung für ein Kraftstoffverbrennungssystem, das eine NOx-Reinigungsvorrichtung (**15**) mit einem Reduktionskatalysator beinhaltet, der in einer Abgasleitung (**10ex**) angeordnet ist, so dass das in einem Abgas einer Brennkraftmaschine (**10**) enthaltene NOx gereinigt wird, wobei die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung ein Reduktionsmittel der Abgasleitung (**10ex**) an einer Position stromaufwärts des Reduktionskatalysators zuführt, wobei die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung aufweist:

einen Reaktionsbehälter (**30**), der eine Reaktionskammer (**30a**, **30b**) darin aufweist, in der ein Kraftstoff aus einer Kohlenwasserstoffverbindung mit Luft vermischt wird und mit Sauerstoff in der Luft oxidiert wird; einen Äquivalenzverhältnis-Controller (S40), der ein Äquivalenzverhältnis von Kraftstoff zu Luft im Inneren der Reaktionskammer anpasst, so dass es innerhalb eines spezifizierten Äquivalenzverhältnis-Bereichs liegt; und einen Temperatur-Controller (S30), der eine Temperatur im Inneren der Reaktionskammer so anpasst, dass sie innerhalb eines spezifizierten Temperaturbereichs liegt, wobei der spezifizierte Äquivalenzverhältnis-Bereich und der spezifizierte Temperaturbereich so eingestellt sind, dass es zu einer Kaltflammenreaktion kommt, durch die der Kraftstoff im Inneren der Reaktionskammer teilweise mit Sauerstoff oxidiert wird, und der Kraftstoff, der durch die Kaltflammenreaktion teilweise oxidiert wird, als das Reduktionsmittel verwendet wird.

2. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach Anspruch 1, ferner aufweisend: einen Ozonerzeuger (**20**), der Ozon erzeugt, wobei das durch den Ozonerzeuger erzeugte Ozon der Reaktionskammer zugeführt wird, wenn es zur Kaltflammenreaktion kommt.

3. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach Anspruch 2, wobei der Ozonerzeuger (**20**) Ozon durch elektrisches Entladen von Luft erzeugt, und die Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung ferner einen Entladeleistung-Controller (S50) aufweist, der elektrische Leistung steuert, die für eine elektrische Entladung bei dem Ozonerzeuger entsprechend einer Konzentration von Kraftstoff im Inneren der Reaktionskammer verwendet wird.

4. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei, wenn eine Temperatur des Reduktionskatalysators niedriger ist als eine Aktivierungstemperatur des Reduktionskatalysators, das durch den Ozonerzeuger erzeugte Ozon der Reaktionskammer zugeführt wird, während die Kraftstoffzufuhr in die Reaktionskammer

gestoppt wird, so dass das Ozon der Abgasleitung (**10ex**) an einer Position stromaufwärts des Reduktionskatalysators zugeführt wird.

5. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ferner aufweisend: eine Heizeinrichtung (**50**), die den der Reaktionskammer zugeführten Kraftstoff erwärmt; und einen Temperatursensor (**31**), der eine Temperatur im Inneren der Reaktionskammer detektiert, wobei der Temperatur-Controller die Temperatur im Inneren der Reaktionskammer so anpasst, dass sie innerhalb des spezifizierten Temperaturbereichs liegt, indem die Heizeinrichtung gemäß der durch den Temperatursensor detektierten Temperatur gesteuert wird.

6. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Äquivalenzverhältnis-Controller ein Soll-Äquivalenzverhältnis (ϕ_{trg}), das ein Sollwert des Äquivalenzverhältnisses ist, gemäß der Temperatur im Inneren der Reaktionskammer ändert.

7. Reduktionsmittel-Zuführvorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Äquivalenzverhältnis-Controller beinhaltet: einen Kraftstoffströmungsraten-Controller (S44, S47), der eine Strömungsrate des Kraftstoffs steuert, der der Reaktionskammer zugeführt wird; und einen Luftströmungsraten-Controller (S41, S42, S43, S45, S46), der eine Strömungsrate der Luft, die der Reaktionskammer zugeführt werden soll, steuert, wobei der Kraftstoffströmungsraten-Controller eine Soll-Kraftstoffströmungsrate (F_{trg}), die ein Sollwert der Strömungsrate des Kraftstoffs ist, der der Reaktionskammer zugeführt werden soll, basierend auf einer notwendigen Strömungsrate des Reduktionsmittels, das an der NOx-Reinigungsvorrichtung benötigt wird, einstellt, und der Luftströmungsraten-Controller eine Soll-Luftströmungsrate (A_{trg}), die ein Sollwert der Strömungsrate ist, die der Reaktionskammer zugeführt wird, basierend auf der Soll-Kraftstoffströmungsrate einstellt, so dass das Äquivalenzverhältnis innerhalb des spezifizierten Äquivalenzverhältnisbereichs liegt.

Es folgen 14 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

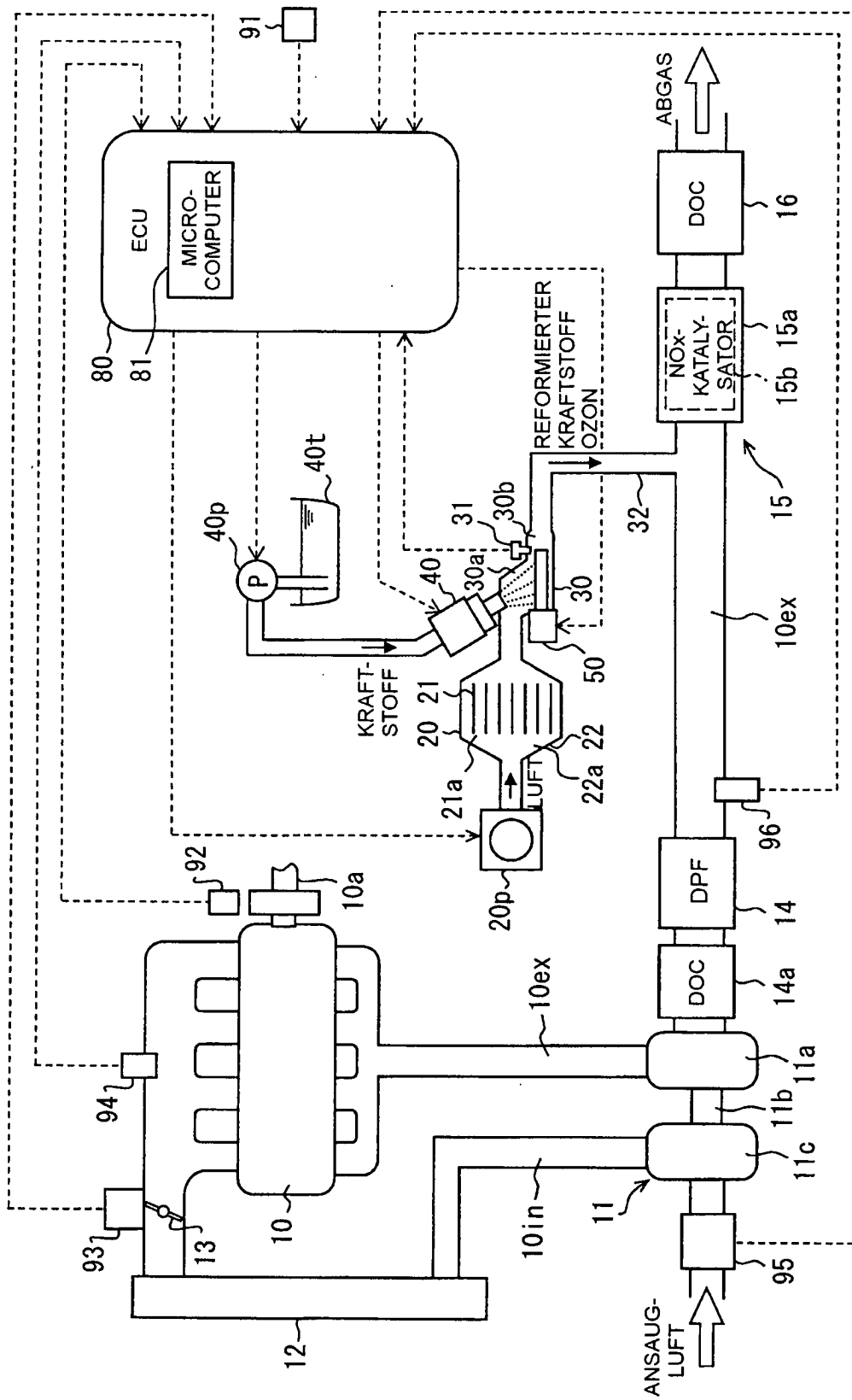


FIG. 2

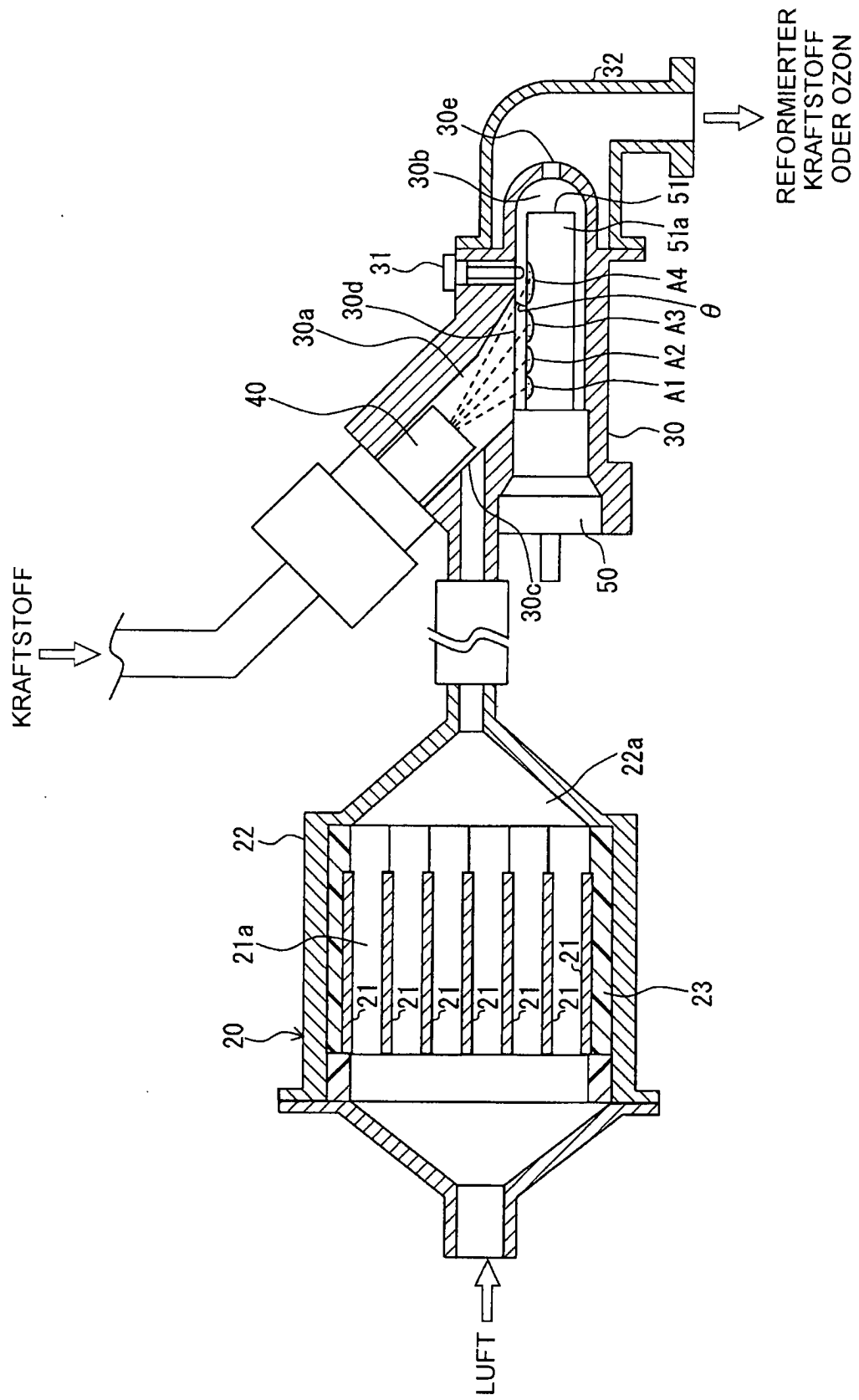


FIG. 3

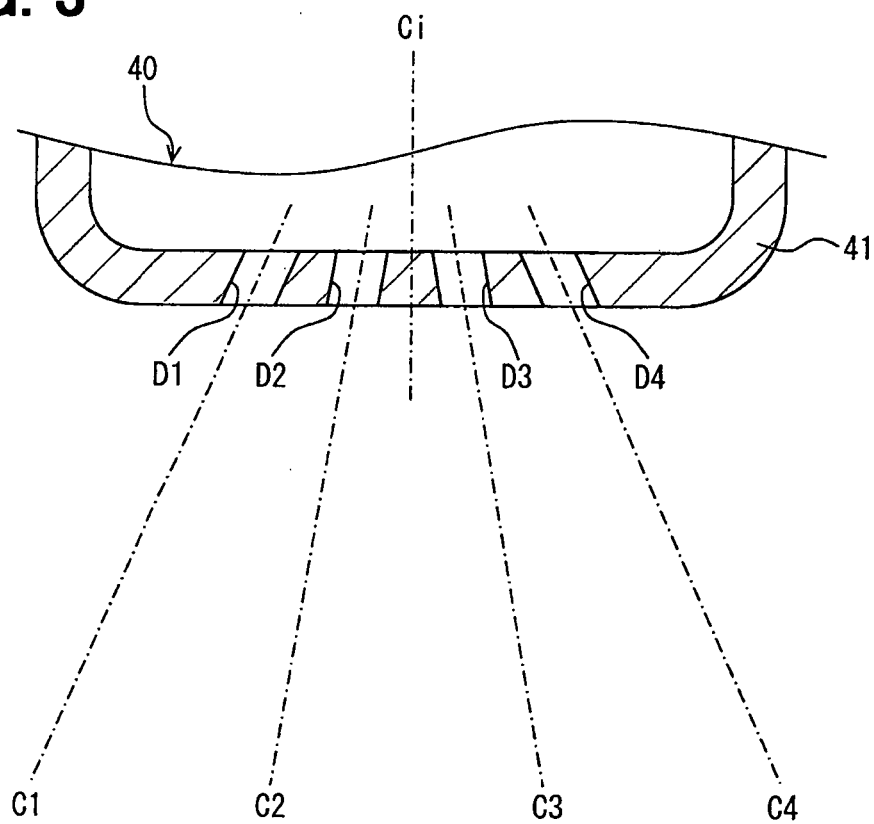


FIG. 4

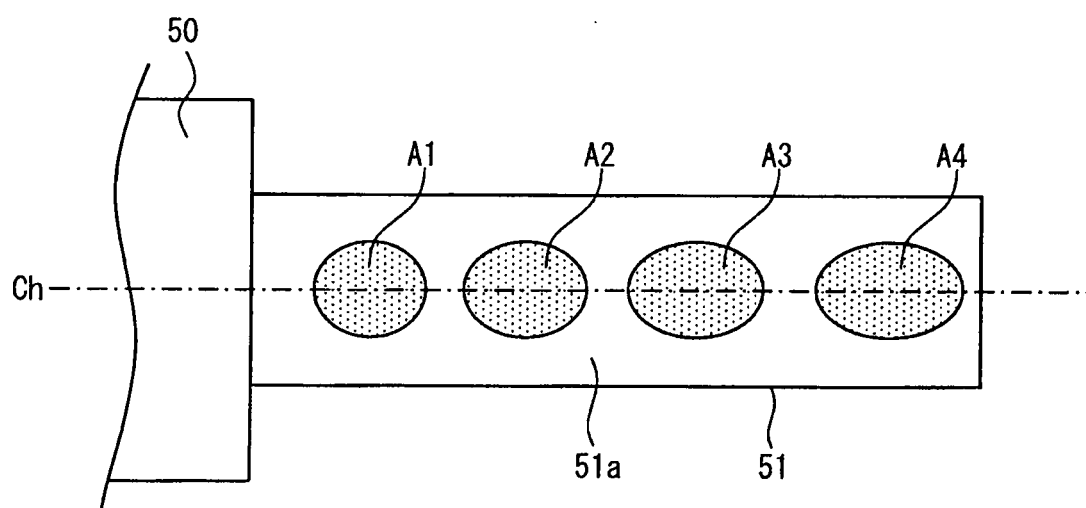


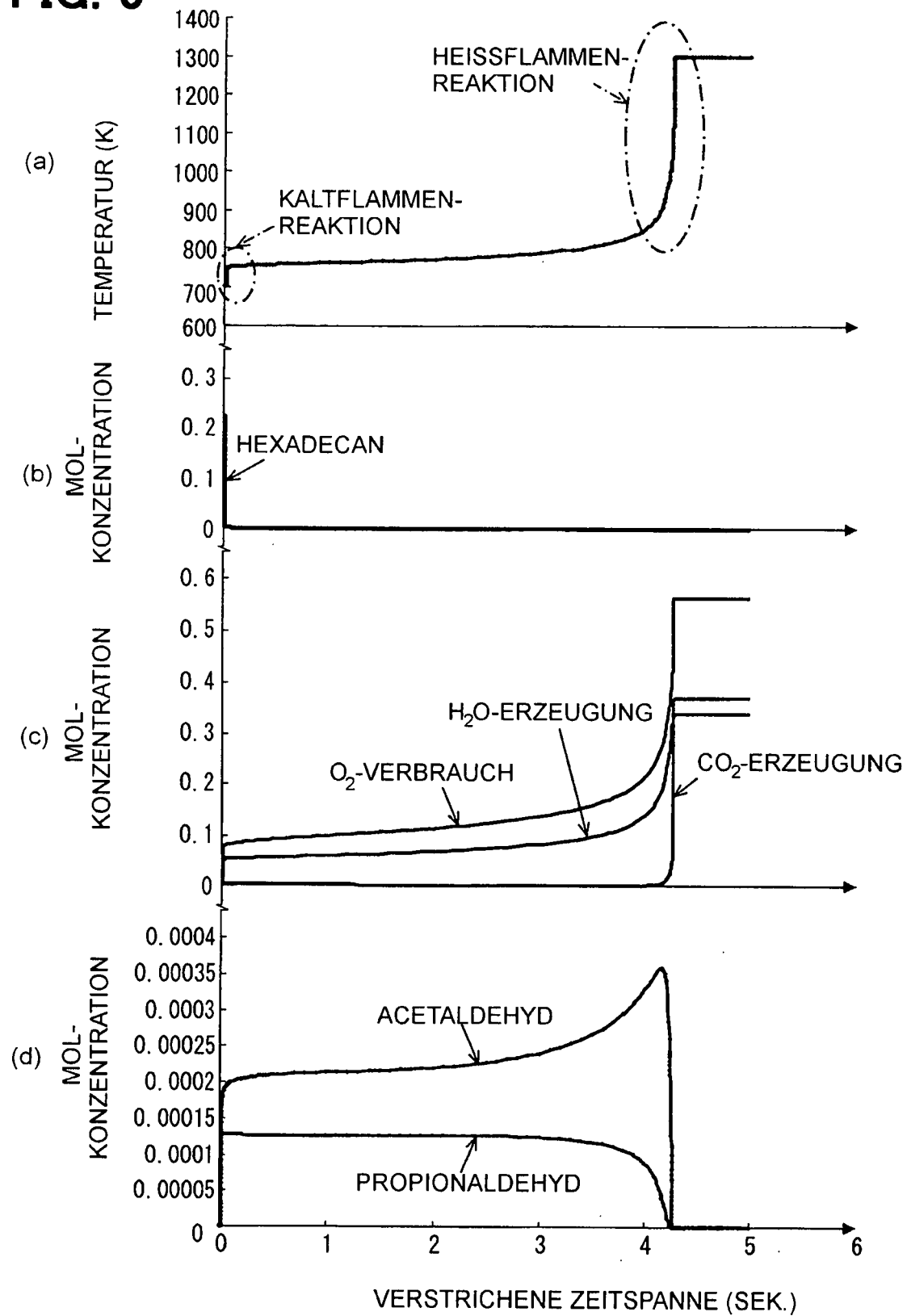
FIG. 5

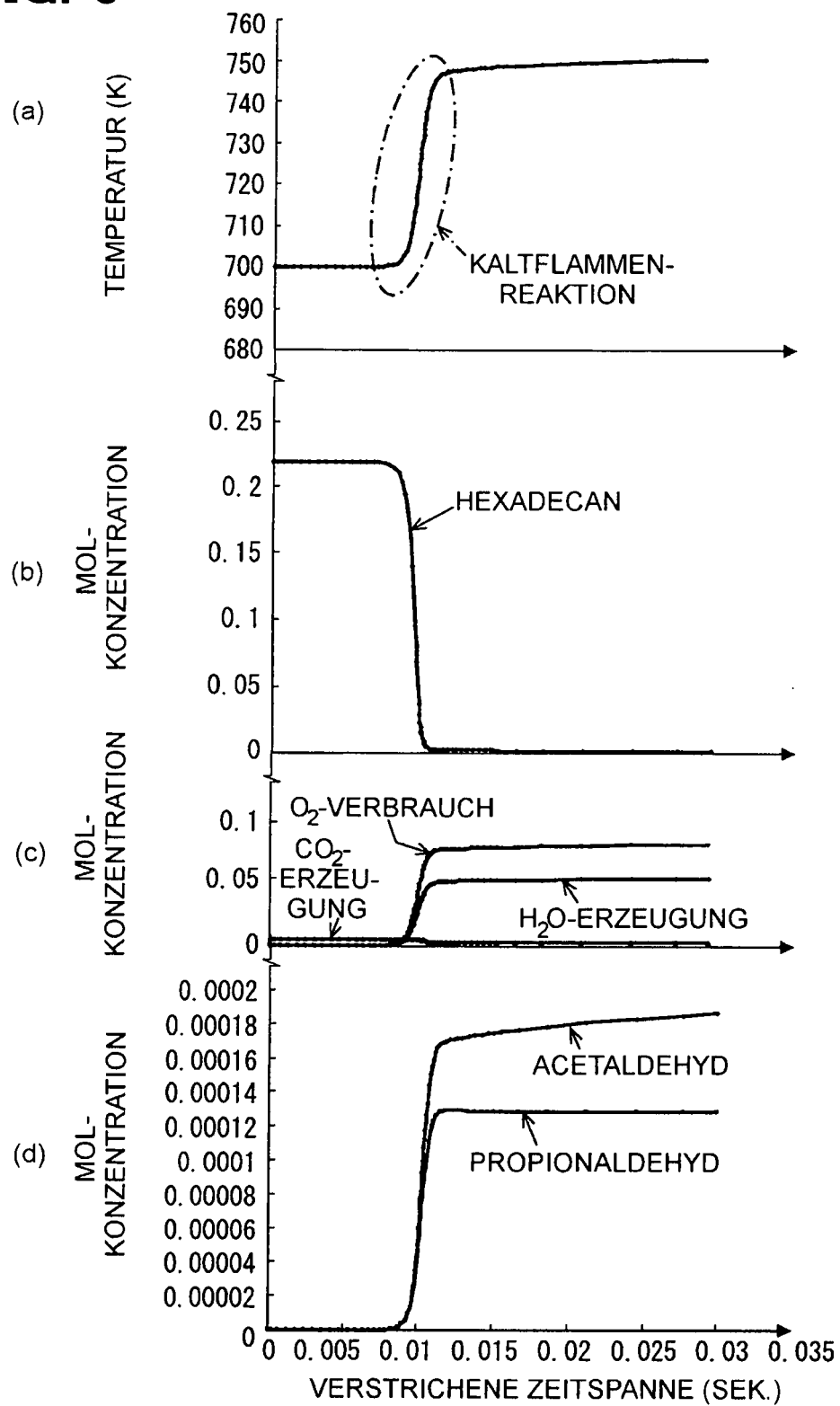
FIG. 6

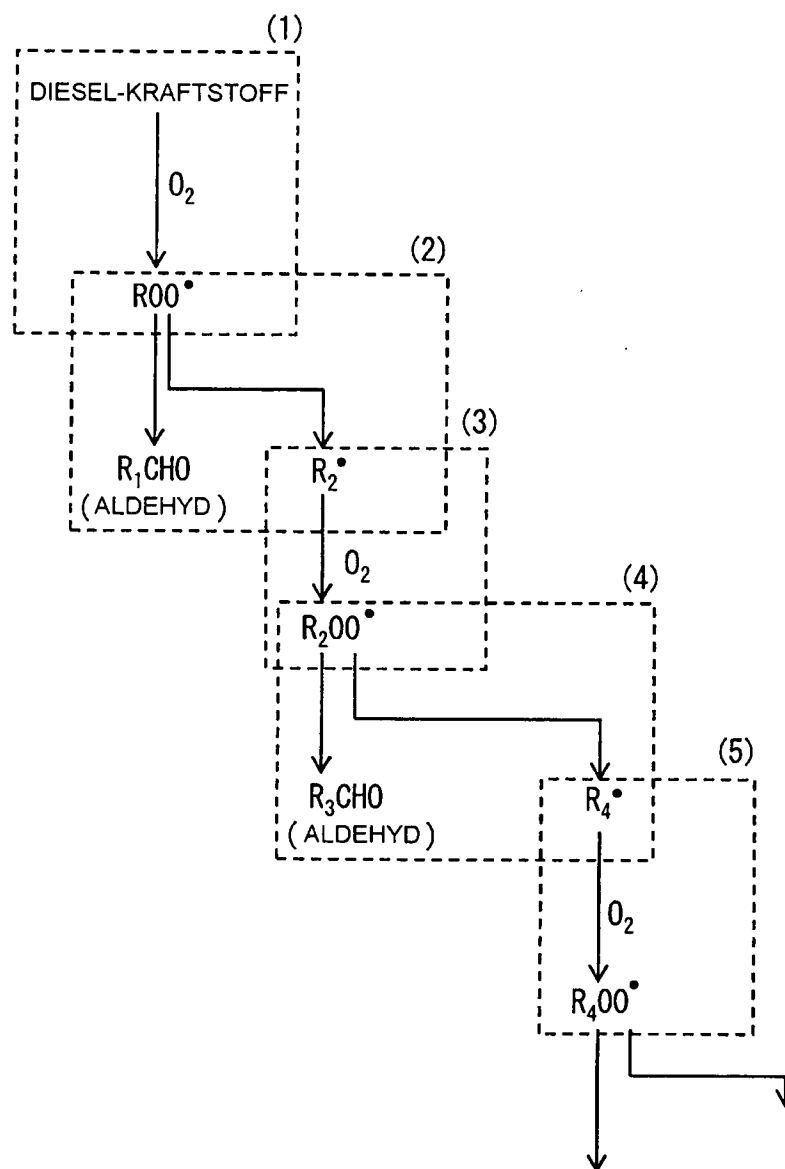
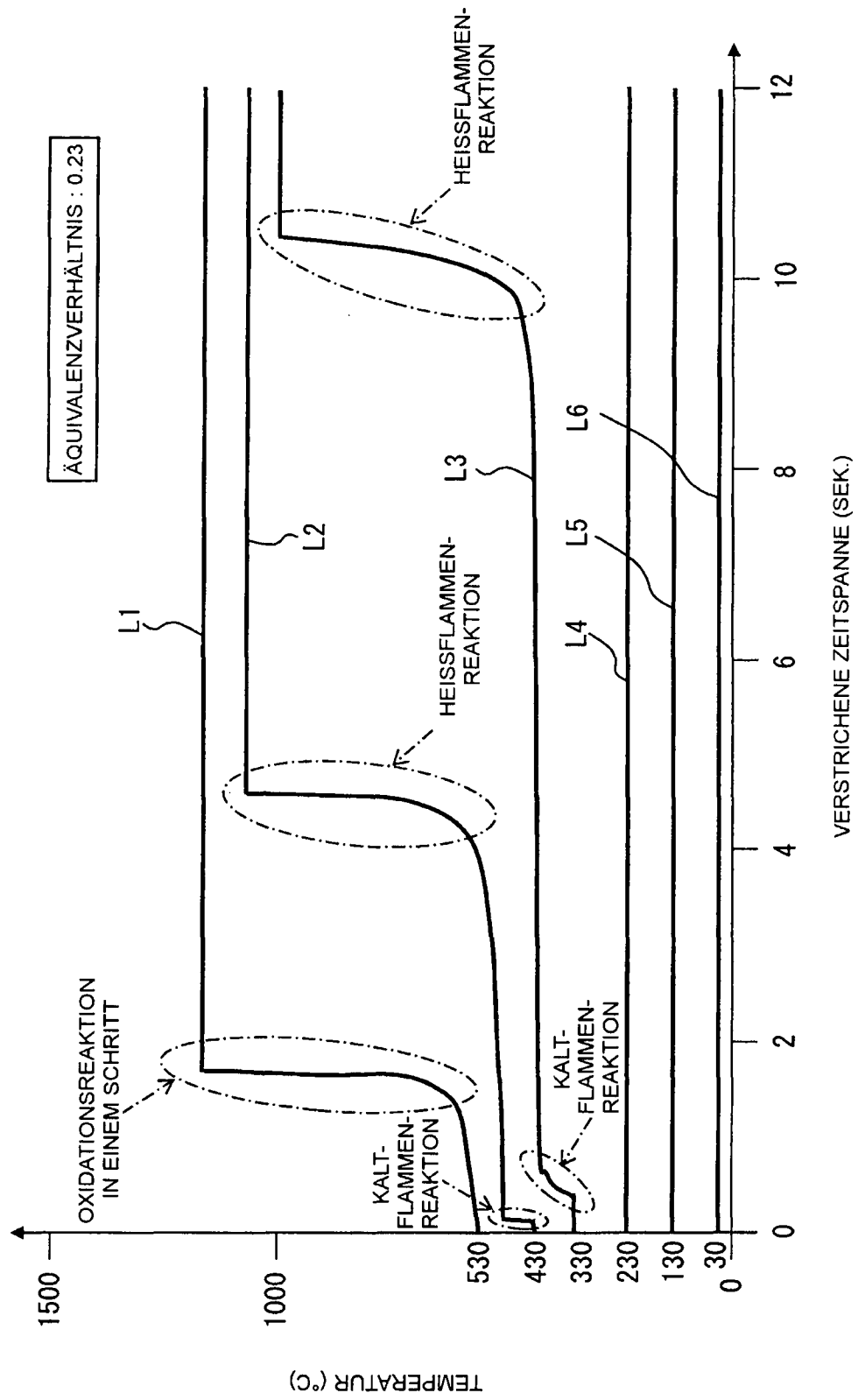
FIG. 7

FIG. 8

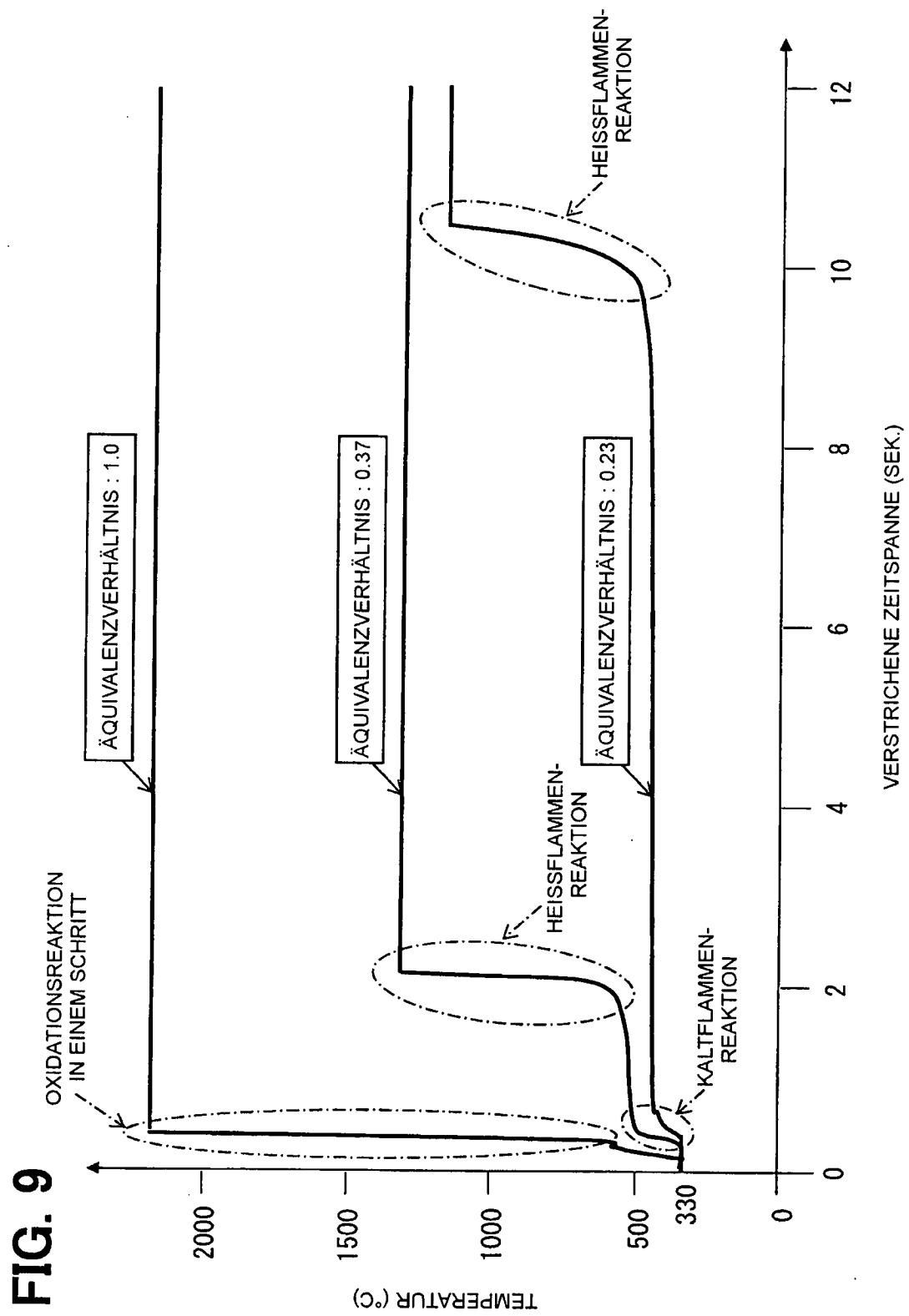


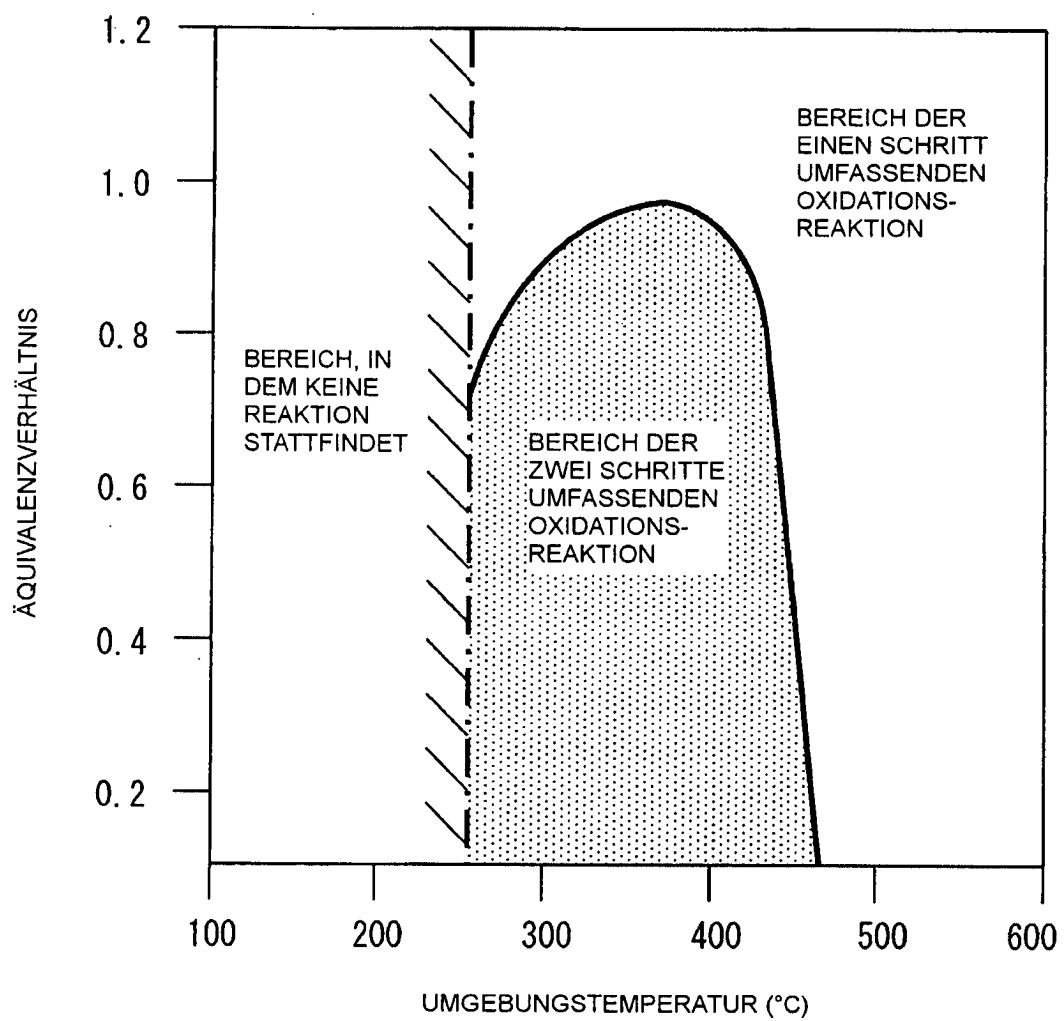
FIG. 10

FIG. 11

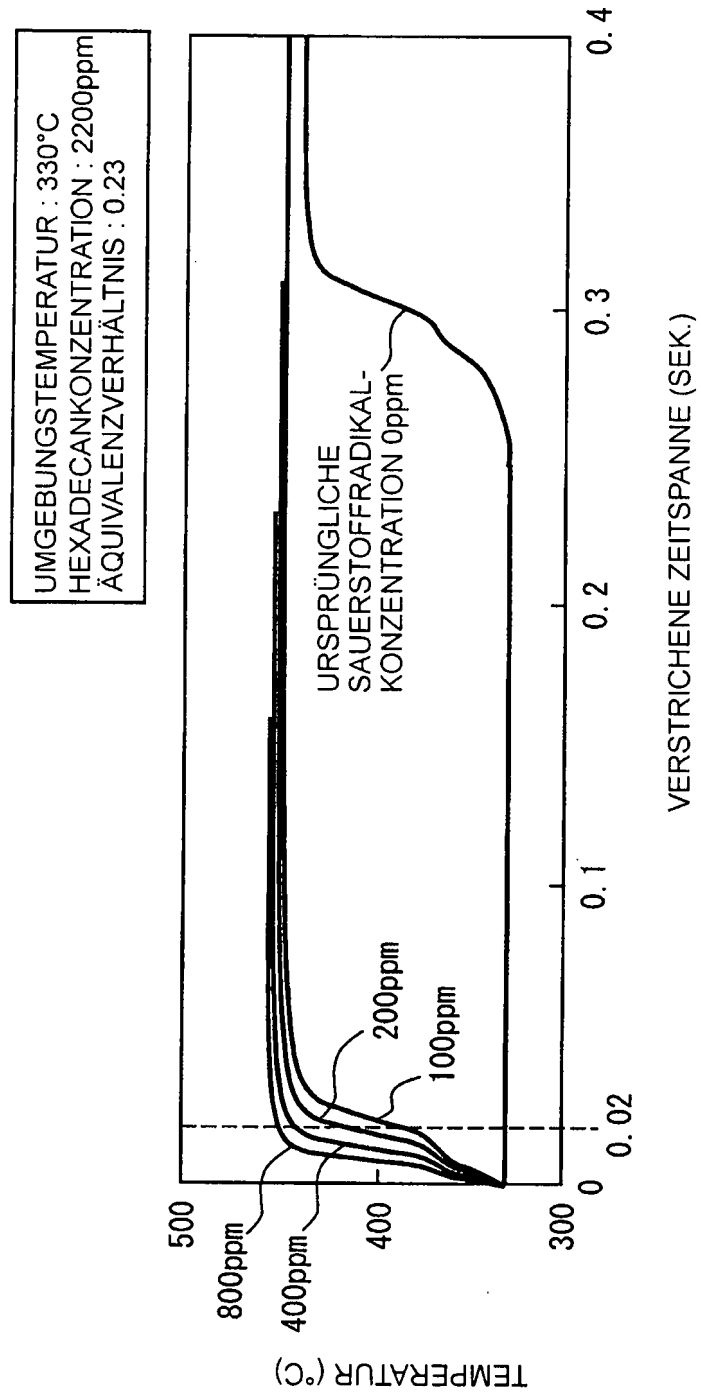


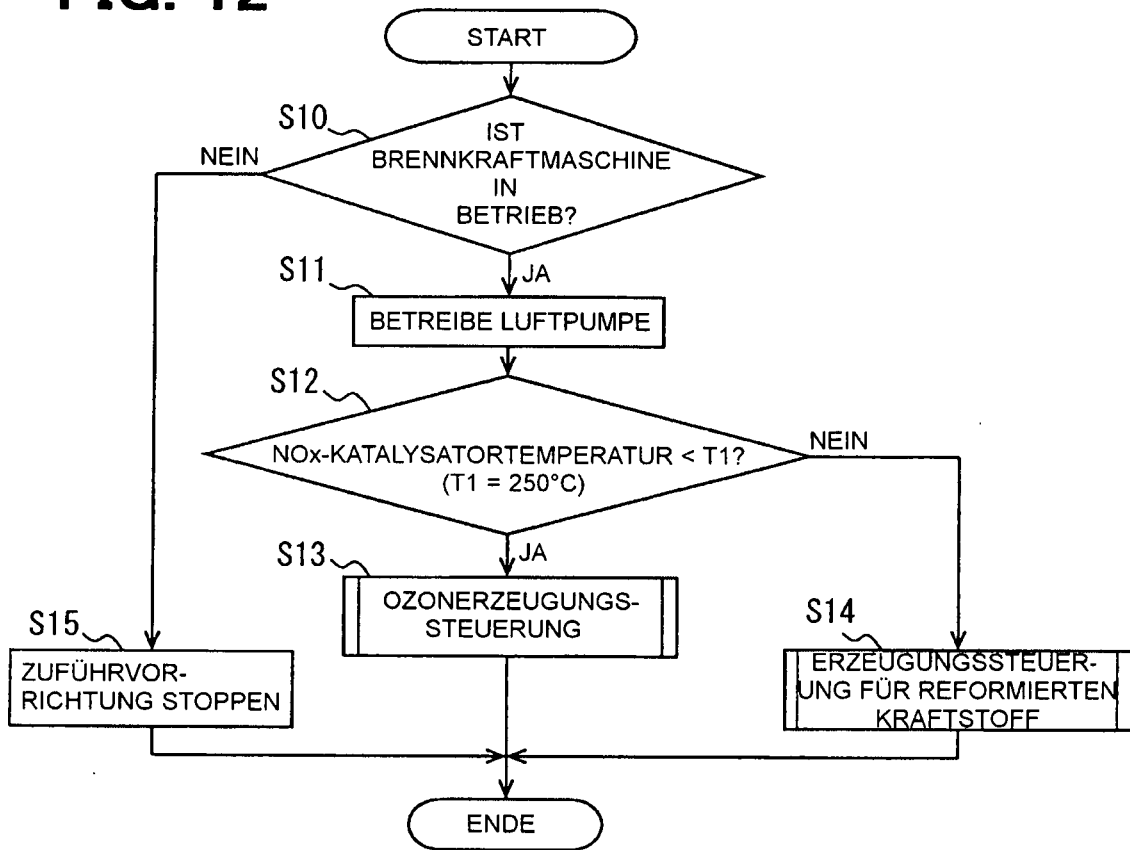
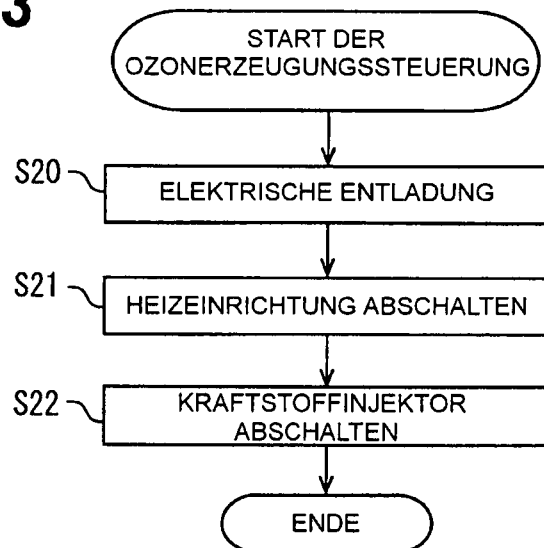
FIG. 12**FIG. 13**

FIG. 14

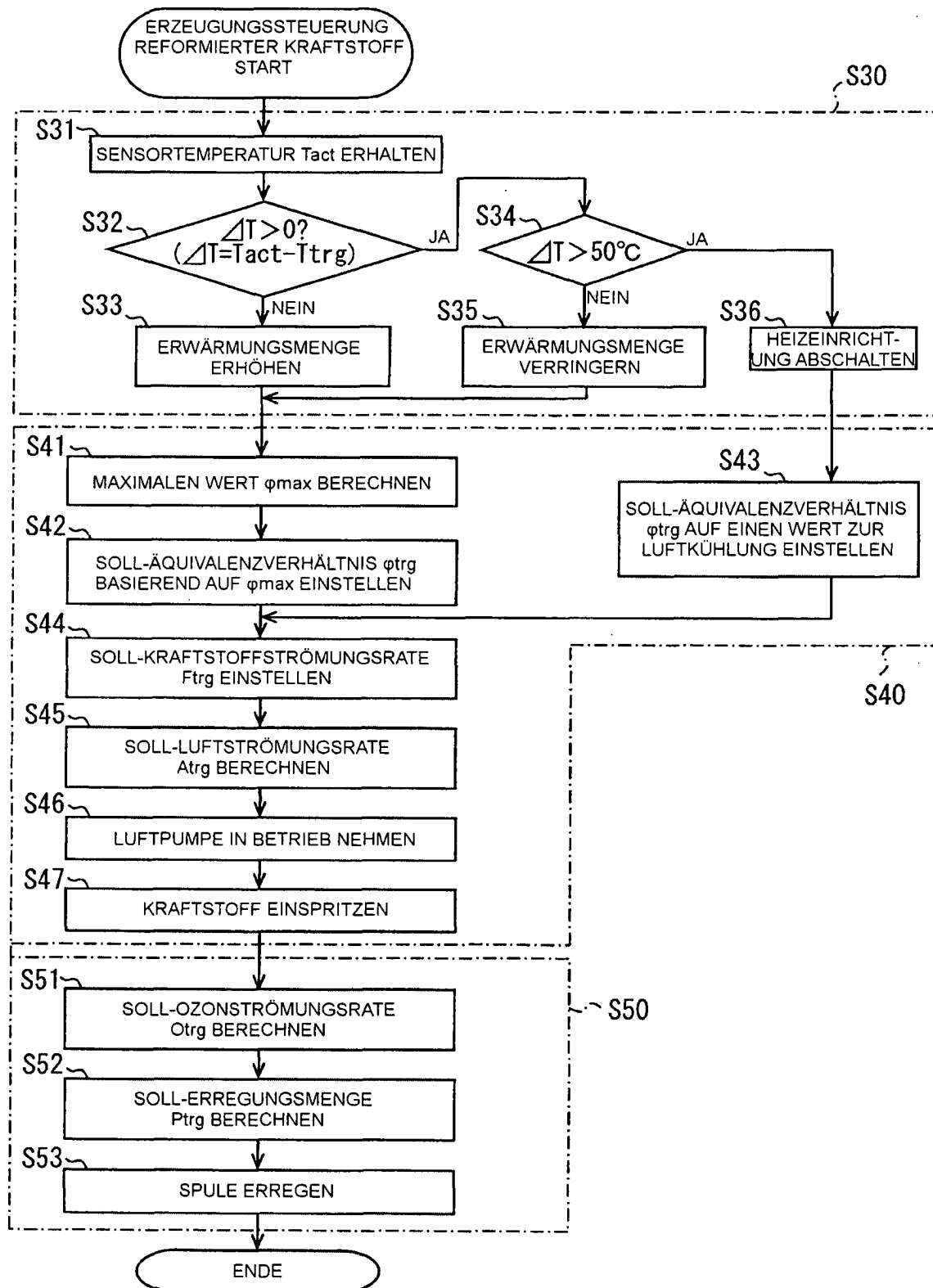


FIG. 15

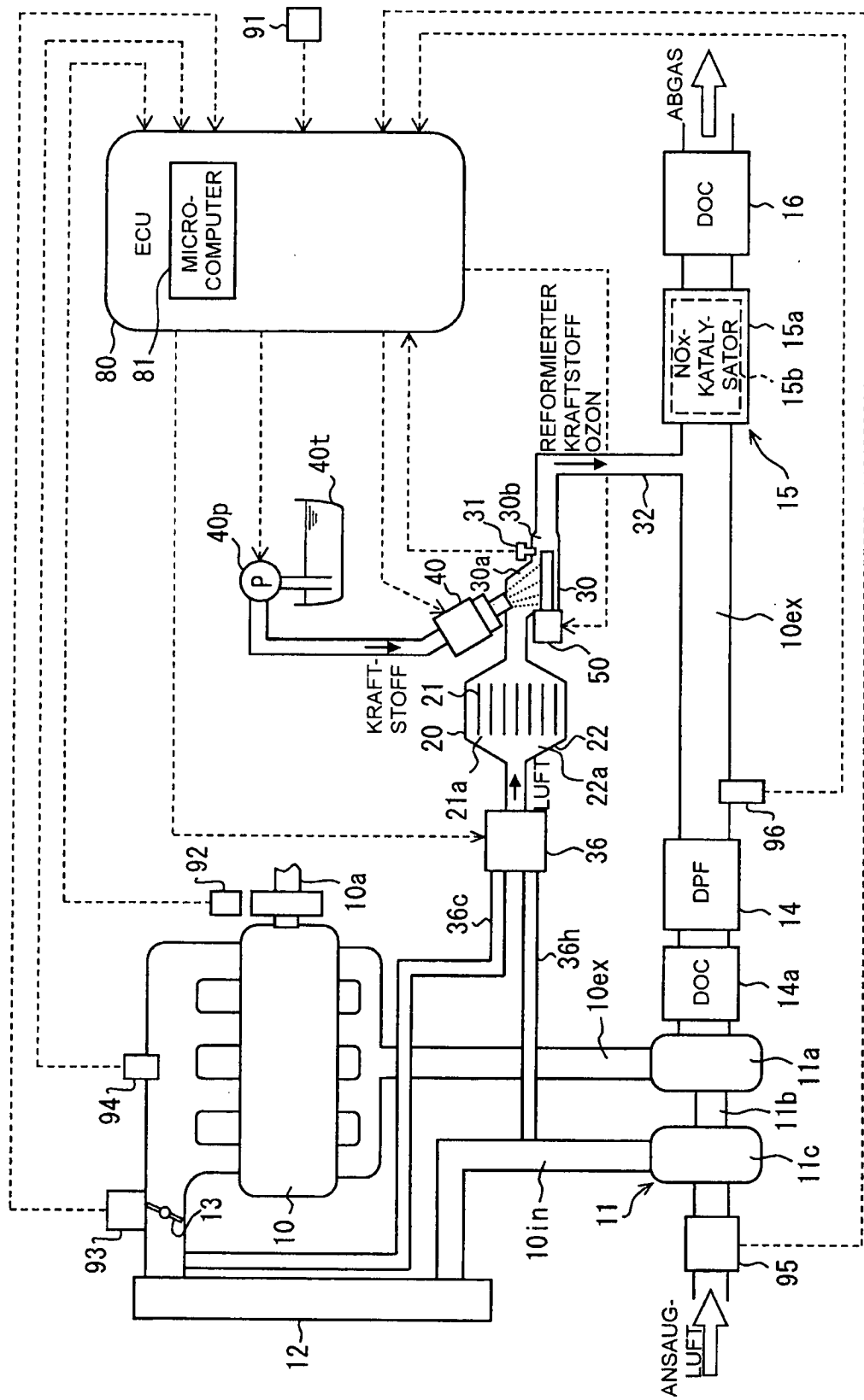


FIG. 16

