

明 細 書

発明の名称：バーナ

技術分野

[0001] 本発明はバーナに関する。

背景技術

[0002] 燃料ガスと支燃性ガスとを用いるバーナが知られている（例えば特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第4 2 6 1 7 5 3号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 金属加熱炉、ガラス溶解炉、アルミ溶解炉等の工業炉においては、燃料を酸化剤で燃焼させるバーナを熱源とすることが一般的である。燃料には、微粉炭等の固体燃料、灯油若しくは重油等の液体燃料、又は天然ガス若しくはL P G等の気体燃料等の様々な化石燃料が用いられる。工業炉では、燃料を燃焼させた火炎の輻射伝熱によって被加熱物を加熱する。

[0005] 化石燃料を用いる場合、燃焼排ガス中に多量のC O₂を含むことになるため、近年では、アンモニアを用いることが提案されてきている。

[0006] アンモニアは燃焼してもC O₂を発生しないといった特徴をもつが、一方で炭素が含まれないために火炎の輻射強度が低くなったり、燃焼速度が遅いために火炎が安定しなかったりする問題がある。

[0007] そこで本発明の目的は、燃料にアンモニアを用い且つ輻射強度と火炎の安定性を確保しつつN O_xの発生を抑制できるバーナを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明の一態様は以下のとおりである。

[0009] [1]

アンモニアを含む燃料ガスを供給し先端の燃料ガス噴出孔から噴出する燃料ガス供給管と、

前記燃料ガス供給管の径方向外側に前記燃料ガス供給管を囲繞するように設けられ、支燃性第1ガスを供給し先端の支燃性第1ガス噴出孔から噴出する支燃性第1ガス供給管と、

支燃性第2ガスを供給し、支燃性第1ガス噴出孔よりも下流側でバーナ火炎に合流するように支燃性第2ガス噴出孔から噴出する支燃性第2ガス供給部とを有し、

前記支燃性第1ガスと前記支燃性第2ガスとを合わせた支燃性ガスの酸素濃度は30%以上であり、

前記支燃性第2ガスの酸素濃度は90%以上であり、

前記支燃性第1ガス噴出孔での酸素の体積流量を V_1 とし、前記支燃性第2ガス噴出孔での酸素の体積流量を V_2 とし、燃料ガス噴出孔でのアンモニアの体積流量を V_3 とした時に $0.38 \leq (V_1 + V_2) / V_3 \leq 1.1$ である、バーナ。

[0010] [2]

前記支燃性第1ガス噴出孔から単位時間当たりに噴出される前記支燃性第1ガスの運動量を q_1 とし、前記支燃性第2ガス噴出孔から単位時間当たりに噴出される前記支燃性第2ガスの運動量を q_2 とした時に $0.1 \leq q_1 / q_2 \leq 2.0$ である、[1]に記載のバーナ。

[0011] [3]

前記燃料ガス供給管と前記支燃性第1ガス供給管とによる2重管構造であるバーナ本体を有する、[1]又は[2]に記載のバーナ。

[0012] [4]

前記燃料ガス噴出孔は前記燃料ガス供給管の前記先端の内周面で形成され、

前記燃料ガス供給管の前記先端での内径を d_1 とし、外径を D_1 とし、先端からの距離が L_1 となる位置での内径を d_2 とした時に、

$5 \times d_1 \leq L_1 \leq 10 \times d_1$ となる位置では $d_1 < d_2$ であり、
 $\{(D_1 - d_1) / D_1\} \times 100 \leq 20$ である、[1] ~ [3] の何れか1
項に記載のバーナ。

[0013] [5]

前記支燃性第1ガス噴出孔は前記支燃性第1ガス供給管の前記先端の内周
面で形成され、

前記支燃性第1ガス供給管の前記先端での内径を d_3 とし、先端からの距離
が L_2 となる位置での内径を d_4 とした時に、

$5 \times d_3 \leq L_2 \leq 10 \times d_3$ となる位置では $d_3 < d_4$ であり、

前記燃料ガス供給管の前記先端は、前記支燃性第1ガス供給管の前記先端
よりも基端側に位置し、

前記燃料ガス供給管の前記先端から前記支燃性第1ガス供給管の前記先端
までの距離を L_3 とした時に、

$L_3 < 5 \times d_3$ である、[1] ~ [4] の何れか1項に記載のバーナ。

[0014] [6]

前記燃料ガス供給管及び前記支燃性第1ガス供給管を有するバーナ本体と
、

前記バーナ本体が配置される開口部を有するバーナブロックとを有し、
前記開口部に配置される部分での前記支燃性第1ガス供給管の最大の外径
を D_4 とし、前記開口部の先端での内径を D_5 とした時に、

$D_4 \leq D_5 \leq 1.1 \times D_4$ であり、

前記支燃性第1ガス供給管の前記先端は、前記開口部の前記先端よりも基
端側に位置し、

前記開口部の前記先端から前記支燃性第1ガス供給管の前記先端までの距
離を L_4 とした時に、

$0.2 \leq \{(D_5 / 2)^2 \times \pi\} \div L_4^2 \leq 0.5$ である、[1] ~ [5] の
何れか1項に記載のバーナ。

[0015] [7]

[1] ~ [6] の何れか 1 項に記載のバーナが、少なくとも 1 基以上設置された加熱炉。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、燃料にアンモニアを用い且つ輻射強度と火炎の安定性を確保しつつ NO_x の発生を抑制できるバーナを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の一実施形態の加熱炉を示す断面図である。

[図2]図 1 に示すバーナの部分拡大図である。

[図3]酸化剤の酸素濃度と断熱理論火炎温度との関係を示すグラフである。

[図4]酸化剤の酸素濃度と燃焼速度との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、図面を参照しつつ本発明の実施形態を例示説明する。

[0019] 図 1 ~ 図 2 に示すように、本発明の一実施形態において加熱炉 7 は、少なくとも 1 基以上のバーナ 1 を有する。加熱炉 7 は、バーナ 1 が設置された炉側壁 7 a を有する。バーナ 1 は、炉側壁 7 a に埋設される。なお、バーナ 1 の加熱炉 7 への配置はこれに限定されない。バーナ 1 は、加熱炉 7 の内部空間 7 b で燃料ガスを燃焼させて被加熱物を加熱し、必要に応じて熔融させる。

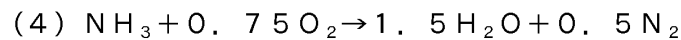
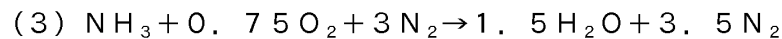
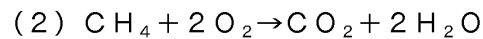
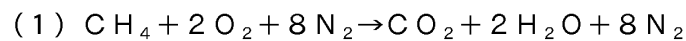
[0020] バーナ 1 は、アンモニアを含む燃料ガスを（好ましくは酸素を予混合せずに）供給し先端の燃料ガス噴出孔 2 b から噴出する燃料ガス供給管 2 a と、燃料ガス供給管 2 a の径方向外側に燃料ガス供給管 2 a（好ましくは図示のように燃料ガス供給管 2 a の先端部）を囲繞するように（好ましくは図示のように、燃料ガス供給管 2 a の外周面と当該外周面から全周に亘って離間する支燃性第 1 ガス供給管 2 b の内周面との間に支燃性第 1 ガスの流路が形成されるように）設けられ、支燃性第 1 ガスを（好ましくは燃料を予混合せずに）供給し先端の支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 から噴出する支燃性第 1 ガス供給管 2 b と、支燃性第 2 ガスを供給し、支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 よりも下流側でバーナ火炎に合流するように支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a から噴出

する支燃性第2ガス供給部6とを有し、支燃性第1ガスと支燃性第2ガスとを合わせた支燃性ガスの酸素濃度は30%以上であり、支燃性第2ガスの酸素濃度は90%以上であり、支燃性第1ガス噴出孔2b1での酸素の体積流量を V_1 とし、支燃性第2ガス噴出孔6aでの酸素の体積流量を V_2 とし、燃料ガス噴出孔2bでのアンモニアの体積流量を V_3 とした時に $0.38 \leq (V_1 + V_2) / V_3 \leq 1.1$ である。

[0021] 上記構成によれば、支燃性第1ガスと支燃性第2ガスとを合わせた支燃性ガスが酸素濃度30%以上であるので、燃料ガスにアンモニアを用い且つ輻射強度と火炎の安定性とを確保できる。また、支燃性ガスが酸素濃度30%以上であり、支燃性第2ガスの酸素濃度が90%以上であり、 $0.38 \leq (V_1 + V_2) / V_3 \leq 1.1$ であることにより、支燃性第1ガスによって、アンモニアが窒素分子と水素分子とに分解($\text{NH}_3 \rightarrow 0.5 \text{N}_2 + 1.5 \text{H}_2$)する還元燃焼状態を作ることによってフューエル NO_x (燃料ガス中のNに由来する NO_x)の発生を抑制し、さらに、支燃性第1ガス噴出孔2b1よりも下流側で支燃性第2ガスをバーナ火炎に合流させることで、サーマル NO_x (支燃性第2ガス中のNに由来する NO_x)の発生を抑制しつつ水素分子を燃焼(好ましくは完全燃焼)させることができる。したがって、燃料ガスにアンモニアを用い且つ輻射強度と火炎の安定性とを確保しつつ NO_x の発生を抑制できるバーナ1を実現できる。燃料ガスは、アンモニアを含む限り特に限定されないが、アンモニアを主成分として含む(すなわちアンモニア成分が50%を超え100%以下である)ことが好ましい。支燃性第1ガスは、上記条件を満たすための酸素濃度を有する限り特に限定されないが、酸素富化空気を用いる構成とすることが好ましい。燃料ガス供給管2aは好ましくは図示のように支燃性第1ガス供給管2bの中心軸線を圍繞し、より好ましくは図示のように支燃性第1ガス供給管2bと同軸に設けられる。燃料ガス供給管2aの先端での燃料ガス供給管2aの内周面及び外周面と、支燃性第1ガス供給管2bの先端での支燃性第1ガス供給管2bの内周面及び外周面とは、本実施形態ではそれぞれ円形であるがこれに限らない。

[0022] バーナ 1 の輻射強度及び火炎の安定性は、火炎温度及び燃焼速度に関係し、火炎温度及び燃焼速度は、支燃性ガスの酸素濃度に関係する。例えば、酸化剤（支燃性ガス）の酸素濃度と化石燃料（メタン）及びアンモニアの断熱理論火炎温度との関係は図 3 に示すとおりであり、酸化剤（支燃性ガス）の酸素濃度と化石燃料（メタン）及びアンモニアの燃焼速度との関係は図 4 に示すとおりである。このように、アンモニアは化石燃料に比べて火炎温度及び燃焼速度が低い。以上に鑑み、支燃性ガスの酸素濃度を 30% 以上とすることで、工業炉での実用に十分な輻射強度と火炎の安定性とを確保できることが分かった。

[0023] 一般的な化石燃料の主成分である CH_4 （メタン）と NH_3 （アンモニア）の燃焼時の化学式を比較すると以下のとおりとなる。



式（1）は、 CH_4 を空气中で燃焼させた場合である。

式（2）は、 CH_4 を酸素中で燃焼させた場合である。

式（3）は、 NH_3 を空气中で燃焼させた場合である。

式（4）は、 NH_3 を酸素中で燃焼させた場合である。

[0024] 各式の右辺に含まれる CO_2 と H_2O は輻射性ガスとして知られ、これらのガスが燃焼火炎の輻射性能に寄与する。各式を比較すると、各輻射性ガスの濃度が以下のとおりであり、酸化剤を空気から酸素に変更することで火炎の輻射性能が向上することが分かる。しかし、式（2）においては、排ガス中の CO_2 濃度が増大してしまう。また、式（3）では CO_2 濃度はゼロであり、輻射性ガスの濃度は式（1）よりも大きい。さらに、酸化剤を空気から酸素に変更した式（4）では、輻射性ガスの濃度がさらに向上する。したがって、火炎温度の低いアンモニアでは、酸化剤の酸素濃度を高めることが有効であることが分かる。

[表1]

	濃度（％）	
	CO ₂	H ₂ O
式（１）：CH ₄ －空気燃焼	9.1	18.2
式（２）：CH ₄ －酸素燃焼	33.3	66.7
式（３）：NH ₃ －空気燃焼	0	30
式（４）：NH ₃ －酸素燃焼	0	75

- [0025] バーナ１は、支燃性第１ガス噴出孔２ｂ１から単位時間当たりには噴出される支燃性第１ガスの運動量を q_1 とし、支燃性第２ガス噴出孔６ａから単位時間当たりには噴出される支燃性第２ガスの運動量を q_2 とした時に $0.1 \leq q_1 / q_2 \leq 2.0$ である。ここで、 q_1 は例えば、支燃性第１ガス噴出孔２ｂ１から単位時間当たりには噴出される支燃性第１ガスの質量を m_1 とし、支燃性第１ガス噴出孔２ｂ１における支燃性第１ガスの流速を v_1 とした時に $q_1 = m_1 v_1$ であり、 q_2 は例えば、支燃性第２ガス噴出孔６ａから単位時間当たりには噴出される支燃性第２ガスの質量を m_2 とし、支燃性第２ガス噴出孔６ａにおける支燃性第２ガスの流速を v_2 とした時に $q_2 = m_2 v_2$ である。上記構成によれば、バーナ火炎に支燃性第２ガスを合流させる時に、外部雰囲気（炉内雰囲気など）を支燃性第２ガスに同伴させることができるため、バーナ火炎の温度が局所的に上昇しすぎることを抑制でき、その結果NO_xの発生を抑制できる。外部雰囲気中の余剰酸素を燃焼に利用することもできる。
- [0026] バーナ１は、燃料ガス供給管２ａと支燃性第１ガス供給管２ｂとによる２重管構造であるバーナ本体２を有する。上記構成によれば、簡単な構造で輻射強度と火炎の安定性とを確保できる。
- [0027] 燃料ガス噴出孔２ｂは燃料ガス供給管２ａの先端の内周面で形成され、燃料ガス供給管２ａの先端での内径を d_1 とし、外径を D_1 とし、先端からの距離が L_1 となる位置での内径を d_2 とした時に、 $5 \times d_1 \leq L_1 \leq 10 \times d_1$ となる位置では $d_1 < d_2$ であり、 $\{(D_1 - d_1) / D_1\} \times 100 \leq 20$ である。上記構成によれば、 $5 \times d_1 \leq L_1 \leq 10 \times d_1$ となる位置では $d_1 < d_2$ であることで、燃料ガス噴出孔２ｂの付近で燃料ガスの流路が燃料ガス噴出孔２ｂ

に向かって狭くなるため、燃料ガスの供給圧力が燃料ガス噴出孔 2 b に向かって大きくなり、その結果、燃料ガス噴出孔 2 b での燃料ガスの供給圧力が均一化されるため、燃料ガス噴出孔 2 b での燃料ガスの噴出量の均一性を向上できる。また、 $\{(D_1 - d_1) / D_1\} \times 100 \leq 20$ であることで、燃料ガス供給管 2 a の先端において、燃料ガスの流路の外周面と支燃性第 1 ガスの流路の内周面との距離が実用上十分に小さくなることで、燃料ガスと支燃性第 1 ガスとの速やかな混合を実現できる。したがって、良好な混合による火炎の良好な安定性を実現できる。

[0028] 支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 は支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端の内周面で形成され、支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端での内径を d_3 とし、先端からの距離が L_2 となる位置での内径を d_4 とした時に、 $5 \times d_3 \leq L_2 \leq 10 \times d_3$ となる位置では $d_3 < d_4$ であり、燃料ガス供給管 2 a の先端は、支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端よりも基端側に位置し、燃料ガス供給管 2 a の先端から支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端までの距離を L_3 とした時に、 $L_3 < 5 \times d_3$ である。上記構成によれば、 $5 \times d_3 \leq L_2 \leq 10 \times d_3$ となる位置では $d_3 < d_4$ であることで、支燃性第 1 ガスの流路が支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 に向かって狭くなるため、支燃性第 1 ガスの供給圧力が支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 に向かって大きくなり、その結果、支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 での支燃性第 1 ガスの供給圧力が均一化されるため、支燃性第 1 ガス噴出孔 2 b 1 での支燃性第 1 ガスの噴出量の均一性を向上できる。また、燃料ガス供給管 2 a の先端が支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端よりも基端側に位置し、 $L_3 < 5 \times d_3$ であることで、逆火が生じる可能性を抑制しつつ混合室 3 を形成できるため、より一層良好な混合による火炎のより一層良好な安定性を実現できる。燃料ガス供給管 2 a 及び支燃性第 1 ガス供給管 2 b はそれぞれ、本実施形態では、少なくとも $0 \leq L_2 \leq 10 \times d_3$ となる範囲において中心軸線に平行に直線状に延びる。

[0029] バーナ 1 は、燃料ガス供給管 2 a 及び支燃性第 1 ガス供給管 2 b を有するバーナ本体 2 と、バーナ本体 2 が（好ましくは図示のように同軸に）配置さ

れる開口部 4 a を有するバーナブロック 4 とを有し、開口部 4 a に配置される部分での支燃性第 1 ガス供給管 2 b の最大の外径を D_4 とし、開口部 4 a の先端での内径を d_5 とした時に、 $D_4 \leq d_5 \leq 1.1 \times D_4$ であり、支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端は、開口部 4 a の先端よりも基端側に位置し、開口部 4 a の先端から支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端までの距離を L_4 とした時に、 $0.2 \leq \{(d_5/2)^2 \times \pi\} \div L_4^2 \leq 0.5$ である。上記構成によれば、 $D_4 \leq d_5 \leq 1.1 \times D_4$ であり、支燃性第 1 ガス供給管 2 b の先端が開口部 4 a の先端よりも基端側に位置し、 $0.2 \leq \{(d_5/2)^2 \times \pi\} \div L_4^2 \leq 0.5$ であることで、バーナブロック 4 の開口部 4 a によって良好な燃焼室 5 を形成しつつ工業炉などの設置環境からの輻射熱からバーナ本体 2 を保護できる。なお、バーナ 1 はバーナブロック 4 を有する構成に限らず、例えば、バーナブロック 4 に代えて、又は加えて、水冷ジャケットを有する構成としてもよい。開口部 4 a は本実施形態では円形の貫通穴で構成されるがこれに限らない。

[0030] 支燃性第 2 ガス供給部 6 はバーナブロック 4 で構成され、バーナブロック 4 は支燃性第 2 ガスを供給する支燃性第 2 ガス供給路 4 b を有し、支燃性第 2 ガス供給路 4 b の先端は支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a を構成する。上記構成によれば、簡単な構造で支燃性第 2 ガス供給部 6 を実現できる。支燃性第 2 ガス供給路 4 b は、本実施形態では、中心軸線に対して傾斜して直線状に延びる。支燃性第 2 ガス供給路 4 b の先端での内周面（支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a）は、本実施形態では円形であるがこれに限らない。支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a は開口部 4 a よりも本実施形態では鉛直下側に位置するがこれに限らない。

[0031] 燃料ガス噴出孔 2 b と、支燃性第 1 ガス供給管 2 b の中心軸線上での支燃性第 2 ガス供給路 4 b の軸心に最も近い点（好ましくは交点）との間の距離を L_5 とした時に、 $(0.06 \times V_3) \times 0.5 \leq L_5 \leq (0.06 \times V_3) \times 1.5$ とする構成としてもよい。上記構成によれば、還元燃焼状態による NO_x 抑制効果を得易くできる。

[0032] 開口部 4 a の先端と支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a とは、バーナブロック 4 の先端面上に並列配置される（つまり、開口部 4 a の先端は支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a に対して径方向外側に設けられ、且つ、支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a は開口部 4 a の先端に対して径方向外側に設けられる）。バーナブロック 4 の先端面上での開口部 4 a の中心軸線と支燃性第 2 ガス噴出孔 6 a の軸線との距離を L_6 とした時に、 L_6 は特に限定されないが、できるだけ大きく設定する方が還元燃焼状態による NO_x 抑制効果を得易くできる。

[0033] 本発明の実施形態について前述したが、本発明は前述した実施形態に限定されず、前述した実施形態は本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変更できる。

符号の説明

- [0034]
- 1 バーナ
 - 2 バーナ本体
 - 2 a 燃料ガス供給管
 - 2 a 1 燃料ガス噴出孔
 - 2 b 支燃性第 1 ガス供給管
 - 2 b 1 支燃性第 1 ガス噴出孔
 - 3 混合室
 - 4 バーナブロック
 - 4 a 開口部
 - 4 b 支燃性第 2 ガス供給路
 - 5 燃焼室
 - 6 支燃性第 2 ガス供給部
 - 6 a 支燃性第 2 ガス噴出孔
 - 7 加熱炉
 - 7 a 炉側壁
 - 7 b 内部空間
 - d_1 内径

d_2 内径
 d_3 内径
 d_4 内径
 d_5 内径
 D_1 外径
 D_2 外径
 D_3 外径
 D_4 外径
 L_1 距離
 L_2 距離
 L_3 距離
 L_4 距離
 L_5 距離
 L_6 距離
O 中心軸線
P 軸心

請求の範囲

- [請求項1] アンモニアを含む燃料ガスを供給し先端の燃料ガス噴出孔から噴出する燃料ガス供給管と、
- 前記燃料ガス供給管の径方向外側に前記燃料ガス供給管を囲繞するように設けられ、支燃性第1ガスを供給し先端の支燃性第1ガス噴出孔から噴出する支燃性第1ガス供給管と、
- 支燃性第2ガスを供給し、支燃性第1ガス噴出孔よりも下流側でバーナ火炎に合流するように支燃性第2ガス噴出孔から噴出する支燃性第2ガス供給部とを有し、
- 前記支燃性第1ガスと前記支燃性第2ガスとを合わせた支燃性ガスの酸素濃度は30%以上であり、
- 前記支燃性第2ガスの酸素濃度は90%以上であり、
- 前記支燃性第1ガス噴出孔での酸素の体積流量を V_1 とし、前記支燃性第2ガス噴出孔での酸素の体積流量を V_2 とし、燃料ガス噴出孔でのアンモニアの体積流量を V_3 とした時に $0.38 \leq (V_1 + V_2) / V_3 \leq 1.1$ である、バーナ。
- [請求項2] 前記支燃性第1ガス噴出孔から単位時間あたりに噴出される前記支燃性第1ガスの運動量を q_1 とし、前記支燃性第2ガス噴出孔から単位時間あたりに噴出される前記支燃性第2ガスの運動量を q_2 とした時に $0.1 \leq q_1 / q_2 \leq 2.0$ である、請求項1に記載のバーナ。
- [請求項3] 前記燃料ガス供給管と前記支燃性第1ガス供給管とによる2重管構造であるバーナ本体を有する、請求項1に記載のバーナ。
- [請求項4] 前記燃料ガス噴出孔は前記燃料ガス供給管の前記先端の内周面で形成され、
- 前記燃料ガス供給管の前記先端での内径を d_1 とし、外径を D_1 とし、先端からの距離が L_1 となる位置での内径を d_2 とした時に、
- $5 \times d_1 \leq L_1 \leq 10 \times d_1$ となる位置では $d_1 < d_2$ であり、
- $\{(D_1 - d_1) / D_1\} \times 100 \leq 20$ である、請求項1に記載の

バーナ。

[請求項5] 前記支燃性第1ガス噴出孔は前記支燃性第1ガス供給管の前記先端の内周面で形成され、

前記支燃性第1ガス供給管の前記先端での内径を d_3 とし、先端からの距離が L_2 となる位置での内径を d_4 とした時に、

$5 \times d_3 \leq L_2 \leq 10 \times d_3$ となる位置では $d_3 < d_4$ であり、

前記燃料ガス供給管の前記先端は、前記支燃性第1ガス供給管の前記先端よりも基端側に位置し、

前記燃料ガス供給管の前記先端から前記支燃性第1ガス供給管の前記先端までの距離を L_3 とした時に、

$L_3 < 5 \times d_3$ である、請求項1に記載のバーナ。

[請求項6] 前記燃料ガス供給管及び前記支燃性第1ガス供給管を有するバーナ本体と、

前記バーナ本体が配置される開口部を有するバーナブロックとを有し、

前記開口部に配置される部分での前記支燃性第1ガス供給管の最大の外径を D_4 とし、前記開口部の先端での内径を D_5 とした時に、

$D_4 \leq D_5 \leq 1.1 \times D_4$ であり、

前記支燃性第1ガス供給管の前記先端は、前記開口部の前記先端よりも基端側に位置し、

前記開口部の前記先端から前記支燃性第1ガス供給管の前記先端までの距離を L_4 とした時に、

$0.2 \leq \{(D_5/2)^2 \times \pi\} \div L_4^2 \leq 0.5$ である、請求項1に記載のバーナ。

[請求項7] 請求項1～6の何れか1項に記載のバーナが、少なくとも1基以上設置された加熱炉。