

アンモニア燃焼時における計測技術の紹介

山岡 俊行^{*1} 西原 賢志^{*2} 塩谷 颯大^{*3}
Yamaoka Toshiyuki Nishihara Satoshi Shiotani Sota

地球温暖化による気候変動を抑制するため、世界中でカーボンニュートラルの実現に向けたさまざまな研究開発が進められている。その中でアンモニアを燃料とした発電は、二酸化炭素 (CO₂) を排出しないため、電力の脱炭素化を実現するものとして注目されている。

アンモニアを燃料とした発電の一つに、石炭とアンモニアを混ぜて燃焼させる「混焼方式」があり、当社では石炭とアンモニア混焼時に排出される排ガス成分やダスト・未燃分濃度などの計測をしている。本稿では排ガス成分として窒素酸化物 (NO_x)、未燃アンモニア (NH₃)、一酸化二窒素 (N₂O)、水素 (H₂)、およびダスト濃度の計測方法を紹介する。

キーワード:カーボンニュートラル、脱炭素化、アンモニア、一酸化二窒素、水素、ガス組成、ダスト濃度、ガス採取管、アンモニア混焼、排ガス計測

1. はじめに

アンモニアは分子内に炭素 (C) を含まないため、燃焼時に CO₂ が発生しないことが最大の特徴である。そこで、火力発電の CO₂ 排出量を低減させるため、石炭とアンモニアの混焼が着目されている。しかしアンモニア由来の環境汚染や悪臭などの問題や、燃焼効率向上の課題がある。そのため燃焼時に発生するガス組成を分析し、窒素酸化物、未燃アンモニア、ダスト (ガス中の粒子状物質)、未燃分などの発生状況、および燃焼状態を把握することが求められている。

アンモニア混焼時の主な計測箇所は、火炉内へ供給された燃料により火炎が形成している「炉内」と、燃焼後の排ガスが流れている「火炉出口」である (図 1)。炉内計測では、燃焼や熱分解により発

生するガス成分 (表 1 ①) を対象とし、炉内におけるガス成分の濃度分布を把握する。また火炉出口計測では、採取したばいじんから求めるダスト濃度や、未燃のアンモニア濃度によって燃焼状態を評価している。

本稿では、アンモニア混焼におけるガス計測について紹介する。

2. 炉内計測

燃焼中の炉内排ガス温度は 1100 ~ 1400℃ になる。一般の排ガス計測で使用するステンレス製のガス採取管では高温に耐えられず、使用できない。そこで炉内の計測は、図 2 に示す水冷式のガス採取管を使用する。水冷式ガス採取管は図 3 に示すように火炉内部に挿入し、ここから採取したガスに対して表 1 ①の項目を計測する。また表 1

*1: 計測事業部 化学・材料部 相生グループ 主査
*2: 計測事業部 化学・材料部 相生グループ 主任
*3: 計測事業部 化学・材料部 化学グループ

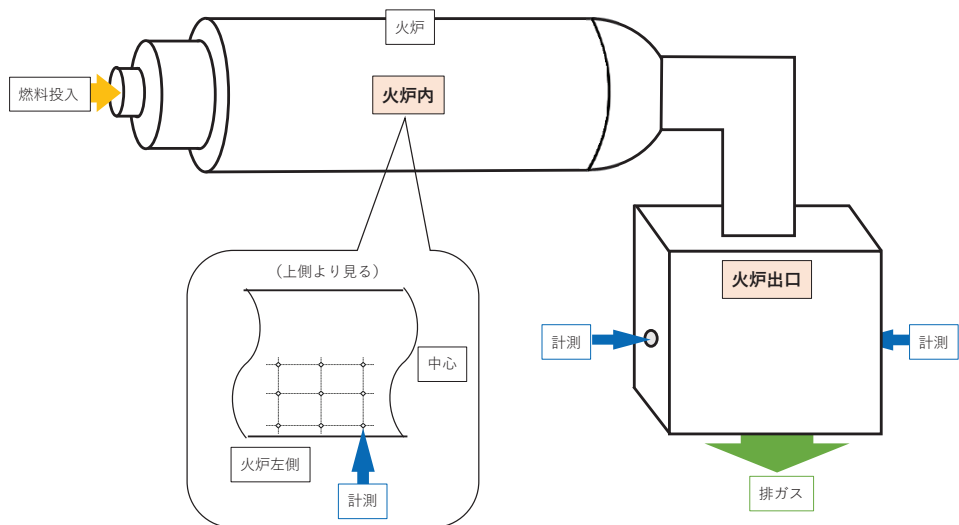


図1 計測位置

表1 アンモニア燃焼時作業内容

計測箇所	計測項目
炉内	① ガス成分：NH ₃ ・NO _x ・O ₂ ・H ₂ ・CO・CO ₂ ・SO ₂ ② 排ガス温度
炉炉出口	③ ばいじん未燃分・NH ₃ ・N ₂ O



図2 水冷式ガス採取管

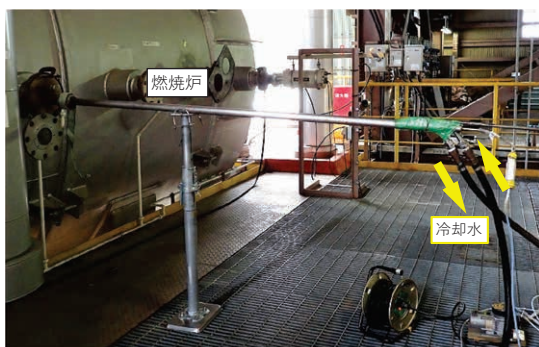


図3 燃焼炉内部への水冷管挿入図

②に示す排ガス温度は熱電対を用い計測する。

2.1 炉内排ガス成分計測

計測時の採取状況を図4に示す。窒素酸化物(NO_x)は、挿入した水冷式ガス採取管と排ガス分析計(図5)をつなぎ、計測する。またその他の成分も同時に計測している。炉内の複数箇所を計測することで、図6にNO_xに対して示したようなガス成分の分布状態が確認できる。



図4 炉内排ガス成分計測

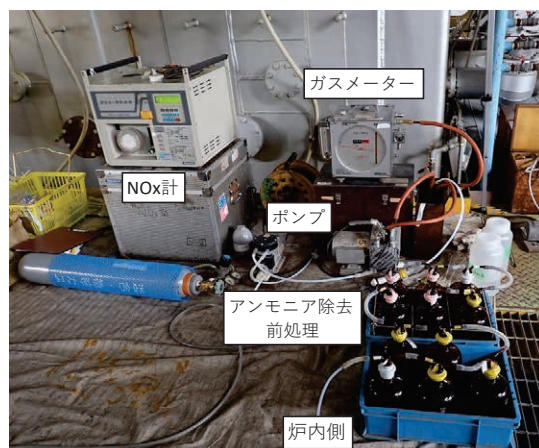


図5 排ガス分析計全体

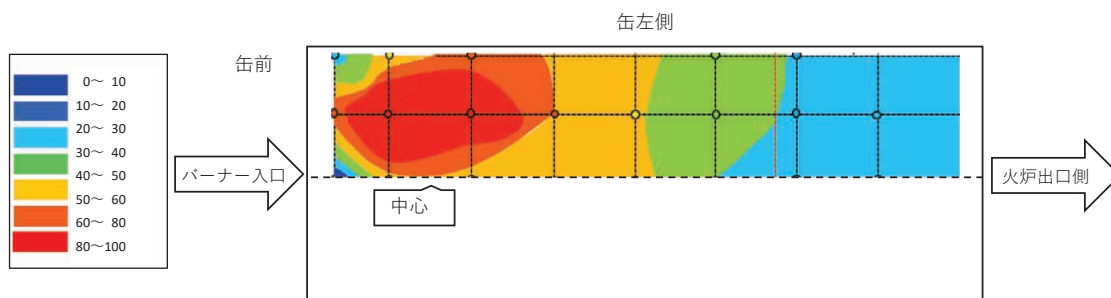


図6 炉内 NO_x 分布結果

2.2 炉内水素計測

アンモニアの分子式は NH₃ であり水素(H)を含んでいるため、熱分解により発生する水素(H₂)も計測項目の一つである。H₂量は、採取したガスをガスクロマトグラフ分析⁽¹⁾にかけて求める。H₂計測用のガス採取方法の概略図を図7、採取状況写真を図8に示す。ガス採取には水冷式採取管を使用し、ダイヤフラムポンプで吸引、塩化カルシウムで水分を除去しガス採取袋に採取する。ガス採取袋にはH₂透過のないアルミニウムバッグを使用し、採取時は3回以上ガス置換をしてバッグ内のガス純度を高める。

真を図8に示す。ガス採取には水冷式採取管を使用し、ダイヤフラムポンプで吸引、塩化カルシウムで水分を除去しガス採取袋に採取する。ガス採取袋にはH₂透過のないアルミニウムバッグを使用し、採取時は3回以上ガス置換をしてバッグ内のガス純度を高める。

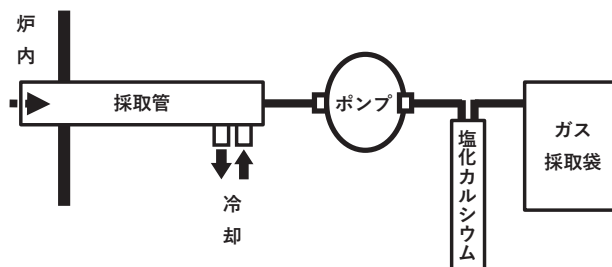


図7 H₂ サンプリング系統図

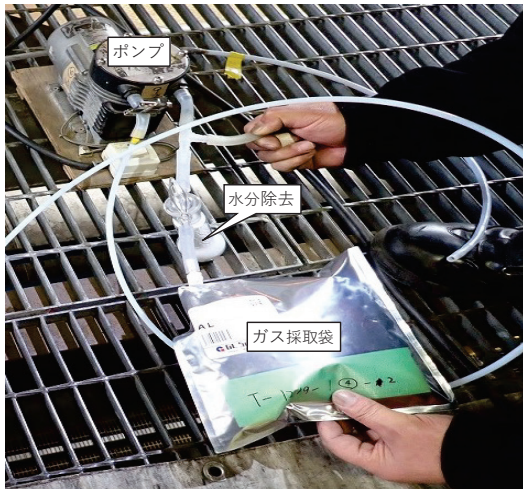


図8 現場H₂ サンプルング

2.3 炉内アンモニア計測⁽²⁾

アンモニアはインドフェノール青吸光光度法⁽²⁾で求める。採取の様子を図9に示す。

アンモニア採取用の吸収瓶を水冷式採取管につ

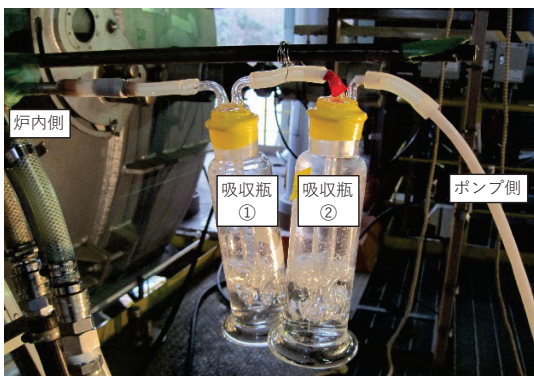


図9 アンモニア採取の様子

なぎ、図10に示すようにポンプでガスを吸引し採取する。その際に水冷式採取管内部にアンモニアが吸着するので、分析データが実際の値より低くなる。そこで図11に示すように吸収瓶につないだ長いフッ素樹脂パイプを水冷管内部に挿入することで、フッ素樹脂パイプ内にアンモニアを吸着させ採取管内部への吸着を防ぐ。そしてフッ素樹脂パイプ内に残るアンモニアも合わせて分析することで正確な結果が得られる。分析後の発色状況を図12、分析結果より炉内濃度分布図を図13に示す。

3. 火炉出口計測

火炉出口部では燃焼後の排ガス計測を行う。排ガス温度が炉内排ガスより低いいため、一般的なステンレス製の採取管を使用する。主な計測項目を表1③に示す。

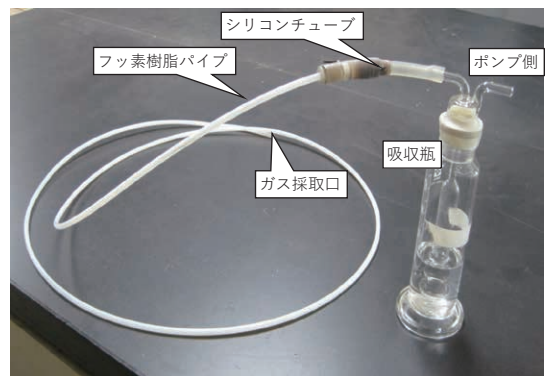


図11 吸着防止フッ素樹脂パイプと吸収瓶

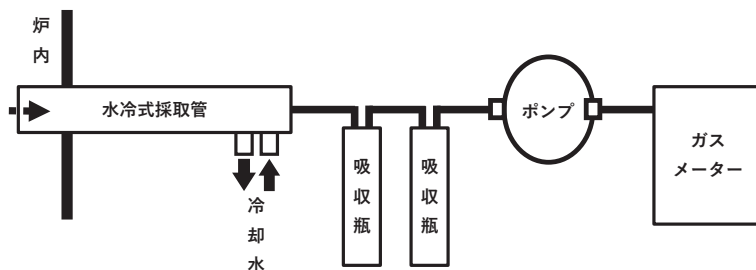


図10 炉内アンモニア計測系統図

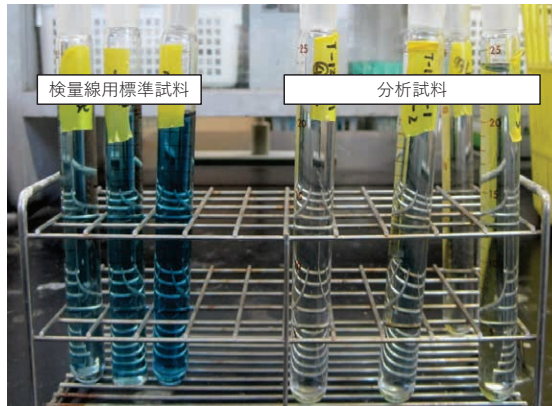


図 12 発色後のアンモニアサンプル

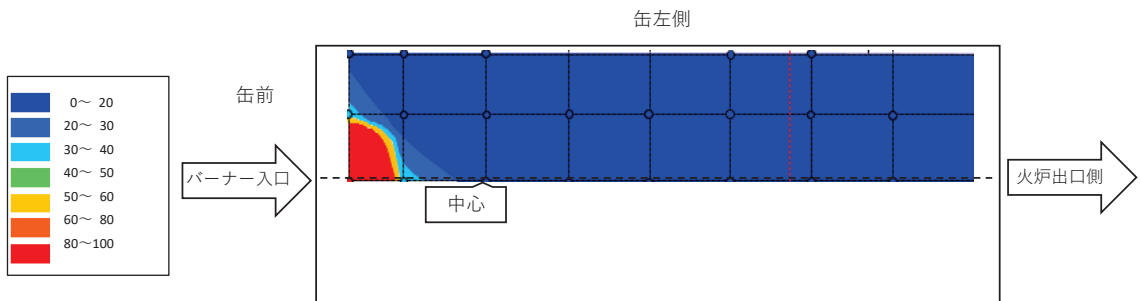


図 13 炉内アンモニア分布

3.1 火炉出口排ガス中のダスト濃度計測⁽³⁾⁽⁴⁾

燃焼炉で燃え残ったばいじんを、排ガスの等速吸引により採取し、ダスト濃度、未燃分を計測する。計測結果からは燃焼状態を推定できるため、燃焼効率向上の検討に寄与する。

計測状況を図 14 に示す。

排ガスからばいじんを採取したろ紙を 107℃で乾燥させて水分を除去し、ダスト濃度を算出する。その後、電気炉で 815±10℃に加熱する。未燃分、すなわち燃料として供給されながら燃焼しなかったものは、この加熱で燃え、除去される。したがって加熱により減少した質量からダスト中の未燃分を算出する。

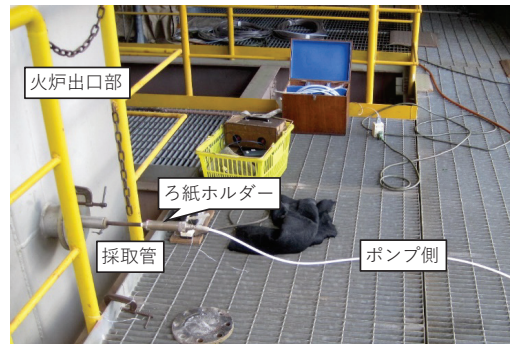


図 14 火炉出口ばいじん未燃分計測

3.2 火炉出口アンモニア計測⁽²⁾

燃焼後に未燃アンモニアの有無を確認するた

め、火炉出口でもアンモニアを計測する。図 15 に示すように一般のガス採取管を使用し、ポンプでガスを吸引し採取する。炉内計測と同様、採取管内にフッ素樹脂パイプを挿入し、吸収瓶とフッ素樹脂パイプ内に残るアンモニアを合わせて分析する。

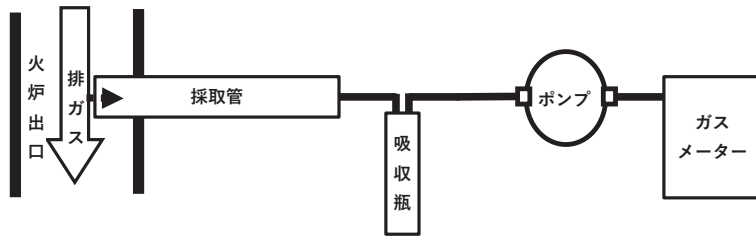


図 15 火炉出口アンモニア計測系統図

3.3 火炉出口一酸化二窒素 (N₂O) 計測⁽⁵⁾

CO₂と同様 N₂O も温室効果ガスであり、その温室効果計数は CO₂ の約 300 倍と高い。アンモニアの分子式 NH₃ には窒素 (N) が含まれ、燃焼時に酸化して NO_x が排出されるため、N₂O 計測も重要で

ある。計測の様子を図 16 に示す。

採取ガス中に一酸化窒素 (NO)、二酸化硫黄 (SO₂)、水分 (H₂O) があると、時間経過とともに二酸化窒素 (NO₂) が N₂O に変化し、分析結果に影響を及ぼす。表 2 に水分除去の有無、2 時間経過

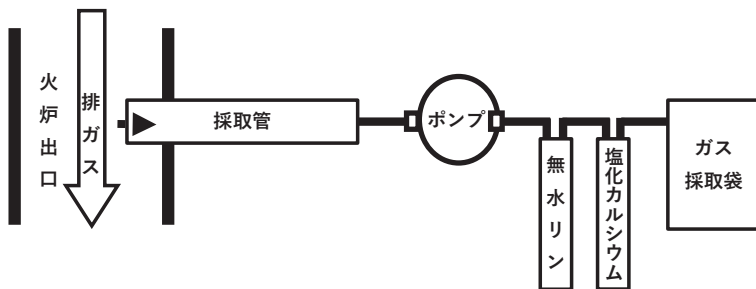


図 16 火炉出口 N₂O 計測系統図

表 2 N₂O 濃度に対する水分除去の影響

(a) N₂O 濃度：採取後 30 分以内の分析

	N ₂ O 濃度 (ppm)	
	水分除去なし (生ガス)	水分除去あり
1	14	< 5
2	10	< 5
3	14	< 5

(b) N₂O 濃度：時間経過の比較

	N ₂ O 濃度 (ppm)			
	水分除去なし (生ガス)		水分除去あり	
1	20	2 時間後 → 50	< 5	2 時間後 → 6
2	16	2 時間後 → 32	< 5	2 時間後 → 5
3	< 5	2 時間後 → 13	< 5	2 時間後 → 5
4	25	2 時間後 → 30	< 5	2 時間後 → 5

後の N₂O 分析結果を示す。表 2 (a) に示す通り、水分を除去しないと、30 分以内の分析でも N₂O 濃度が高くなる。また表 2 (b) に示す通り、水分を除去すると 2 時間経過後も値はほぼ変化がないが、水分を除去しない場合は時間経過とともに N₂O 濃度が増していることがわかる。そこでサンプリング時は確実に水分を除去し、ガス採取から 30 分以内に分析を開始する。

また、2023 年度より、図 17 に示すポータブルの N₂O 計を導入し、迅速な計測と多くのデータ取得を可能とした。

4. おわりに

本稿ではアンモニアを燃料として使用する混焼方式の発電に対して実施している計測項目と、計測方法について紹介した。

脱炭素社会の実現に向け、アンモニア燃料の利用拡大は国内のみならず世界的にも注目されている分野であり、当社が取得した計測データはアンモニア燃焼の今後に大きく影響する。そのため計測方法は常に見直し、最新設備を積極的に導入し計測や分析の効率を上げ、一つでも多くのデータを取得することで地球環境問題の改善に貢献する。

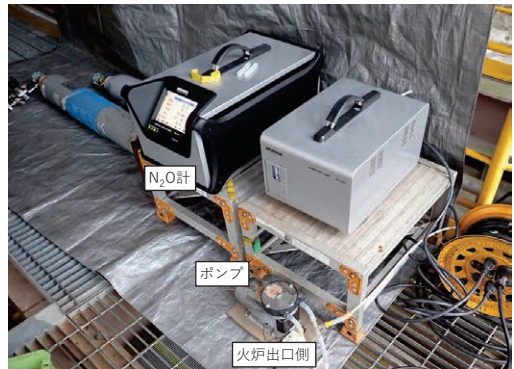


図 17 ポータブル N₂O 計

参考文献

- (1) JIS K 0114:2012：ガスクロマトグラフィー通則、一般財団法人日本規格協会
- (2) JIS K 0099:2020：排ガス中のアンモニア分析方法、一般財団法人日本規格協会
- (3) JIS Z 8808:2013：排ガス中のダスト濃度の測定方法、一般財団法人日本規格協会
- (4) JIS M 8815:1976：石炭灰及びコークス灰の分析方法、日本規格協会
- (5) JIS K 0110:2018：排ガス中の一酸化二窒素分析方法、一般財団法人日本規格協会



計測事業部 化学・材料部
相生グループ
主査
山岡 俊行
TEL. 0791-24-2673
FAX. 0791-24-2798



計測事業部 化学・材料部
相生グループ
主任
西原 賢志
TEL. 0791-24-2673
FAX. 0791-24-2798



計測事業部 化学・材料部
化学グループ
塩谷 颯大
TEL. 045-791-3516
FAX. 045-791-3542