Technical Paper

Novel Application of Atomization Technology to a City Gas Calorific Value Adjustment System

Kanetoshi HAYASHI^{*1†}, Keiji YARIMIZU^{*1}, Kazuo ITO^{*2}, and Yoshikazu IWASE^{*2}

(Received November 15, 2017)

都市ガス熱量調整装置における微粒化技術の適用

林 謙年^{*1†}, 鎌水桂二^{*1}, 伊藤和男^{*2}, 岩瀬義和^{*2}

In Japan, the main feedstock for city gas is imported natural gas. In a city gas production process, the calorific value of natural gas is adjusted upward to regulated value of city gas by addition of LPG. In recent years, the method of adding LPG directly in the liquid phase has become the main stream in calorific value adjustment, where all of the added LPG must be securely vaporized. Otherwise, the LPG that does not contribute to increasing the calorific value flows out to the downstream side of the calorific value adjustment system, where the system is not functioning properly. Atomization of added LPG is the KEY for stable calorific value adjustment. In addition, demand for city gas varies greatly depending on the season and time of day, where a turndown, operating flow rate / rated flow rate, of natural gas reaches as small as 1/20, and that of LPG becomes even less than 1/500. The newly developed calorific value adjustment system realized complete and reliable atomization of added LPG over such a wide flow rate range without increasing pressure loss, resulting in a wide possible operating range and excellent calorific value controllability.

Key Words

Atomization, Vaporization, Natural gas, City gas, Calorific value adjustment

日本では、輸入天然ガスを原料に都市ガスを製造している。都市ガス製造工程では、天然ガスにLPGを添加することにより増熱し、規定の都市ガス熱量に調整している。近年、LPGを液のまま直接添加する方法が主流となっており、添加したLPGを全量確実に蒸発させることが求められる。全量蒸発しない場合、増熱に寄与しないLPGが下流側に流出し、熱量調整が機能しない状態となる。LPGの微粒化が熱量調整の鍵となる。さらに、都市ガス需要は季節や時間帯で大きく変化し、ターndown（運転流量/定格流量）は天然ガスでは1/20、LPGに至っては1/500にも達する。今回、そのような広い流量範囲において圧力損失を増大することなく完全かつ確実なLPG微粒化技術を開発し、広い運転可能範囲と良好な制御性を有する熱量調整装置を実現した。

キーワード

微粒化, 気化, 天然ガス, 都市ガス, 熱量調整

1. 緒言

近年の環境意識の高まりを背景に、クリーンな液化天然ガス(LNG)を主原料とする都市ガスの需要が年々増加している^{1) 2)}。都市ガスは、LNGの気化、熱量調整、付臭といっ

た工程を経て製造されている(Fig. 1)。

LNGは組成の違いによって密度や熱量が異なるが、都市ガスは供給業者から需要家に供給される熱量の範囲に規定がある³⁾。そのため、都市ガスの製造には、熱量のばらつき

^{*1} JFE Engineering Corporation
2-1, Suehiro-cho, Tsurumi-ku, Yokohama-shi, Kanagawa
230-8611, Japan

^{*2} Toho Gas Company Limited
19-18, Sakurada-cho, Atsuta-ku, Nagoya-shi, Aichi 456-8511,
Japan

† Corresponding author: hayashi-kanetoshi@jfe-eng.co.jp

^{*1} JFE エンジニアリング株式会社
〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目1番地

^{*2} 東邦ガス株式会社
〒456-8511 愛知県名古屋市中熱田区桜田町19番18号

Fig. 1 Typical Process for Producing City Gas

のあるLNGを規定の熱量範囲に調整する工程が必要となる。日本の都市ガスの場合、規定の熱量よりもLNGの熱量の方が低いことが多いため、高熱量の液化石油ガス(LPG)を増熱剤として添加している²⁾。

熱量調整において、LNGを気化させたガス(NG)に液体のLPGを直接添加する方式が主流となっている。本方式はLPGを気化させるための高温熱源が不要となるメリットがある一方、添加したLPGを確実に蒸発させる必要がある。液のまま残存するLPGは増熱に寄与しないので、万一LPGが蒸発しきらないと、熱量調整がうまく機能しないことになる。LPGはNGの顕熱を利用して蒸発させるため、添加するLPGを微粒化してNGとの接触面積を増やし、蒸発を促進することが重要となる。

また、都市ガス需要は季節間・昼夜間で大きく変動し、そのターンダウン比(最小流量:最大流量)は1:20以上になる。LPG添加量の変動幅には、さらに原料LNG熱量のばらつきも加わるため、ターンダウン比は1:500にも達する。したがって、最大流量での圧力損失を抑制しつつ、最小流量でも微粒化性能を維持できる技術が必要であった。

今回、このような熱量調整用途に向け、低圧損と高い微粒化性能の両立が可能な独自の微粒化ノズルを開発した。このノズルを適用することにより、広い流量範囲において安定して機能する熱量調整設備を実現した。

2. 熱量調整技術

2.1 従来技術

従来の熱量調整は、NGを絞り流路(ベンチュリ)を用いて高速化し、そこに添加されるLPGをNG高速流のせん断効果で微粒化する方式が主流であった(Fig. 2)。しかし、都

市ガス需要が減少してベンチュリ部のNG流速が低下するとLPG微粒化効果が得られなくなる。経験的に、ターンダウン(=運転流量/定格流量)が1/5～1/7を下回ると、ベンチュリ部下流側に気化しないLPGが残留し熱量調整が機能しなくなる。そのため、都市ガス需要の大きなターンダウン比に対応するためには、大・小2系列のベンチュリを組み合わせで設置し、運転流量に応じて切り替えていた。

2.2 開発技術

今回、都市ガス需要の広い流量範囲を1系列で対応可能とする熱量調整設備を目指した。そのためには、NG流量が減少した条件でも確実にLPGを微粒化できるようにし、熱量調整運転可能なターンダウンを従来技術に比べて大幅に拡大する必要がある。

そこで、LPG供給部で積極的にLPGを微粒化することを目的に、LPGに加えてNGの一部も同時に供給する二流体型の微粒化ノズル構造とした(Fig. 2)。さらに、ノズルへのNG供給量を可変制御することで、添加したLPGを能動かつ安定的に微粒化するようにした。ただし、二流体ノズルをNGとLPGに適用し、低圧損を維持しながら広い流量範囲でLPGを安定的に微粒化するという試みは初めてであったため、ノズル構造から決める必要があった。

3. 実験と考察

3.1 ラボスケール実験

実機の約1/100スケールの小型ノズルを20種類以上試作し、気相に空気、液相に水を用いた性能試験により、寸法形状の影響を調査した(Fig. 3)。パラメータとして、気相流量、液相流量を変化させ、それぞれのノズルの微粒化特性

Fig. 2 Schematics of Conventional System and Developed System

Fig. 3 Evaluation of Atomization Performance at Lab-Scale Test

(液滴径), 圧力損失を評価した。液滴径の計測は痕跡法⁴⁾⁵⁾によって行い、ノズルから噴出される液滴を、ノズル先端から所定の距離にて感水紙を用いてサンプリングした。都市ガス熱量調整の要求仕様を満たすべく、微粒化性能と低圧力損失の両立を追求した結果、ノズル内部形状は独自のプレフィルミング型流路構造となった。

最終的に、実機サイズにスケールアップしたノズルの実流体 (NG, LPG) における性能を評価する必要があるため、ラボスケール実験結果の無次元数整理を試みた。無次元数として、ウエーバ数, レイノルズ数, 気液密度比などを用いて評価式を導出し、実験結果と良好な一致を得た。導出した無次元評価式により実機条件での微粒化性能を推定した結果、十分な微粒化が達成できるとの判断に至った。なお、判断に際しては、実機条件における LPG 液滴と NG との気液界面での伝熱速度を推算し、熱量調整設備にて LPG が添加されてから当該設備を流出するまでの間に LPG 液滴が蒸発し終えることを条件とした。

3.2 実証実験

ラボスケール実験結果を受け、実機化の準備ステップとして実流体 (NG, LPG) による実証試験を実施した。試験設備ではあるが、その設計流量は $14,000 \text{ m}^3/\text{h}$ と小型の実機規模であり、ガス事業法に基づく製造設備として都市ガス製

造工場内に建設し、試験運転で熱量調整したガスは品質を確認した上で実際に都市ガスとして供給した。実証試験設備のフローを Fig. 4 に示す。

実証試験では、今回開発した独自ノズル (開発技術) の他、比較用として従来方式の LPG 供給ノズル (従来技術) も試作し、それぞれの性能を評価した。ターndダウン比 (NG 流量), 増熱幅 (LPG 添加比率), 独自ノズルへの NG 供給量を試験パラメータに振った水準を組み合わせ、それぞれの試験水準において熱量調整性能, および、圧力損失の大きさを評価した。なお、熱量調整性能は、熱量調整設備出口における、ガス熱量, ガス温度, 配管底面温度, LPG 液残留有無 (サイトグラスでの目視観察) から総合的に判断した。評価結果を Fig. 5, Fig. 6 に示す。

各図において、横軸は NG ターンダウンであり、軸の右側に行くほど NG 流量が小さい状態を示す。また、左の縦軸は LPG 添加比率, 右の縦軸は、熱量 $45 \text{ MJ}/\text{m}^3$ の都市ガスを製造する場合の LPG 添加比率から換算した原料 LNG 熱量を示す。すなわち、縦軸の上側ほど低熱量の原料 LNG を熱量調整するために LPG を多量に添加することを示す。したがって、右上の領域ほど原料 LNG 熱量が低くターndダウンも小さいため、熱量調整設備にとって厳しい条件となる。図中、丸プロットは熱量調整が機能した水準, 三角プロットは熱量調整が機能しなかった水準を表している。

Fig. 4 Schematic of Pilot-scale Test Plant

Fig. 5 Results of Pilot-scale Test (Conventional System)

Fig. 6 Results of Pilot-scale Test (Developed System)

Fig. 7 The First Commercial Plant

従来技術 (Fig. 5) では、ターンダウンが小さくなる (横軸の右方向) と熱量調整が機能しない結果となった。例えば、ターンダウン 1/10 では LPG 添加比率 (左縦軸) 0.04 程度までしか添加できない。これは、対応可能な NG 熱量に下限があるということであり、熱量 45 MJ/m³_N の都市ガスを製造する場合、NG 熱量 (右縦軸) が 42.7 MJ/m³_N 以下の原料の場合は熱量調整できないことを意味する。従来技術で運転可能なターンダウンは経験的に 1/5 ~ 1/7 程度とされており、本結果はそれと合致する。

一方、開発技術 (Fig. 6) では、ノズルへの NG 供給量を適切に制御することにより、ターンダウンが小さくなっても熱量調整が機能した。NG ターンダウン≡都市ガスターンダウンであるので、都市ガスの広い流量範囲を十分にカバーできる性能が得られており、これは開発ノズルの LPG 微粒化効果の発現によるものと考えられる。この結果、従来技術では 2 系統必要であったところを、1 系統で対応可能となった。なお、実適用条件で想定される NG の熱量範囲から、LPG 添加比率 (左縦軸) は 0 ~ 0.08 の範囲について重点的に評価している。添加する LPG が十分に微粒化されていることから、熱量制御応答も良好であった。また、圧力損失についても従来技術と同等以下に抑制できていることを確認した。

この実証試験の結果を受け、本開発技術が都市ガス用熱

量調整設備として正式に採用され、商用初号機が 2013 年に運用開始した (Fig. 7)。要求性能を満足する能力を発揮して順調に稼働中であり、その実績が認められ、これまでに 3 ヶ所の都市ガス製造工場で採用されるに至っている。

4. 結 言

低圧損と高い微粒化性能を両立可能な独自構造の微粒化ノズルを開発した。開発ノズルを都市ガス製造工程の熱量調整プロセスに適用することにより、熱量調整運転可能なターンダウンを従来技術に比べて大幅に拡大することができ、従来は大・小 2 系列必要であった流量範囲でも 1 系列で対応可能となった。

文 献 : Reference

- 1) The Japan Institute of Energy Ed., State of the Art of Natural Gas Energy, 1ed., Corona Publishing Co. Ltd., 2008 : 日本エネルギー学会編, 天然ガスのすべて, 初版, コロナ社, 2008
- 2) The Japan Gas Association, Environmentally Friendly City Gas, 2017 : 日本ガス協会, 都市ガス事業の現況, 2017
- 3) The Institute of Energy Economics, Japan, <http://>

- eneken.iej.or.jp/data/2978.pdf, (Last access: 2018.2.6):
日本エネルギー経済研究所, <http://eneken.iej.or.jp/data/2978.pdf>, (Last access: 2018.2.6)
- 4) Ushiki, K.; Iinoya, K., *Journal of Research Association of Powder Technology, Japan*, **13**, 315-333 (1976): 宇敷建一,
井伊谷銅一, 粉体工学研究会誌, **13**, 315-333 (1976)
- 5) Institute for Liquid Atomization and Spray Systems
-Japan Ed, Atomization Technology, 1ed, Morikita
Publishing Co., Ltd., 2001: 日本液体微粒化学会編, アト
マイゼーション・テクノロジー, 初版, 森北出版, 2001
-