

一定差圧式 油比例制御ユニット

1. 緒言

近年、水道直圧式石油給湯機はガンタイプバーナを搭載した比例制御タイプが主流となっております。現在、上市されている当該機器の多くは圧力均衡式の油比例弁が搭載されておりますが、適用されるリターンノズルの特性と相性も相俟って若干不安定要因が存在するものと思われま

す。如様な状況を鑑み、弊社では先に一定差圧式比例制御の概要を紹介しておりますが、改めて市場の現状の調査と理論的検証を行なうと共にコスト分析も実施し、ここにその理論的根拠と弊社のコンセプトの概要を添えて提案するものです。

2. 一定差圧式油比例制御の説明

油比例弁制御ユニットはリターンノズルを用いて、その戻り流路の戻り圧力 (P_2) を可変することによってノズルの噴射量 (Q_n) を可変することは周知の通りです。

ノズルの噴射量 (Q_n) は前記の戻り圧力 (P_2) のほか、供給圧力 (P_s) にも影響を受けるため、双方の安定性・再現性が重要となる事は当然のこと、供給圧力 (P_s) が変化した場合のノズルの噴射量 (Q_n) に与える影響度の大きさを少なくする設計が極めて重要です。

次に一定差圧式油比例制御の作動についてご説明します。

構成は図 1 の通りであり、定差圧ポンプは吐出し圧力が一定の電磁ポンプ、制御ポンプは吐出し圧力を入力信号で可変する電磁ポンプです。

リターンノズルの選定は、供給圧力 (P_s) と戻り圧力 (P_2) の差が常に一定となりますからこの点を考慮して選ぶことが必要です。

図 1 において、供給圧力 (P_s) は定差圧ポンプの吐出し圧力 (P_1) と制御ポンプの吐出し圧力 (P_2) を加えたものになります。又、戻り圧力は制御ポンプの吐出し圧力 $P_r = P_2$ です。リターンノズルの噴射量 (Q_n) は制御ポンプの吐出し圧力 (P_2) を可変することで制御します。

この時、供給圧力 (P_s) と戻り圧力 (P_2) との差は常に一定となり、その値は定差圧ポンプの吐出し圧力 (P_1) となります。

$$P_s = P_1 + P_2, \quad P_1 = \text{一定と表されます。}$$

言換えますとリターンノズルのディストリビュータの圧力損失と、その供給流量が釣り合ったかたちで運転されますから、このことは定差圧ポンプとノズルのディレクトリビュータで構成される閉回路内の循環流は常に一定でノズルの噴射量 (Q_n) は制御ポンプの吐出し量と等しくなります(図 2 参照)。この点が他の方式と大きく異なるところです。

次に実施例としてノズル特性曲線でご説明します。

リターンノズル BN 5.4-80(EVERLOY)
 最大噴射量 5.5L/H, 最小噴射量 1.0L/H
 を条件として添付の図 2 のノズル特性曲線において作動点は A ~ B ~ C ~ D ~ E ~ F となります。

作動点の求め方は次の通りです。

リターンノズルの供給圧力をパラメータとした流量 - 戻り圧力を表すノズル特性曲線を準備します(図 3(最終ページ)参照)。

のノズル特性曲線の流量目盛から必要と

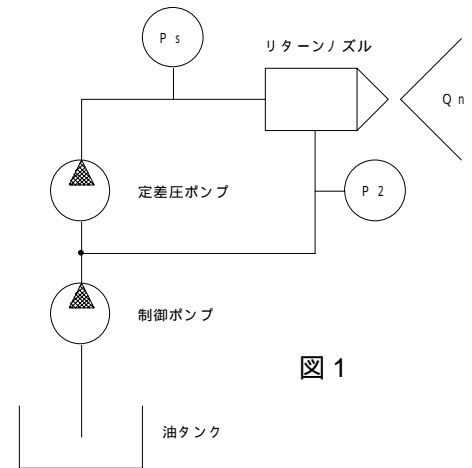


図 1

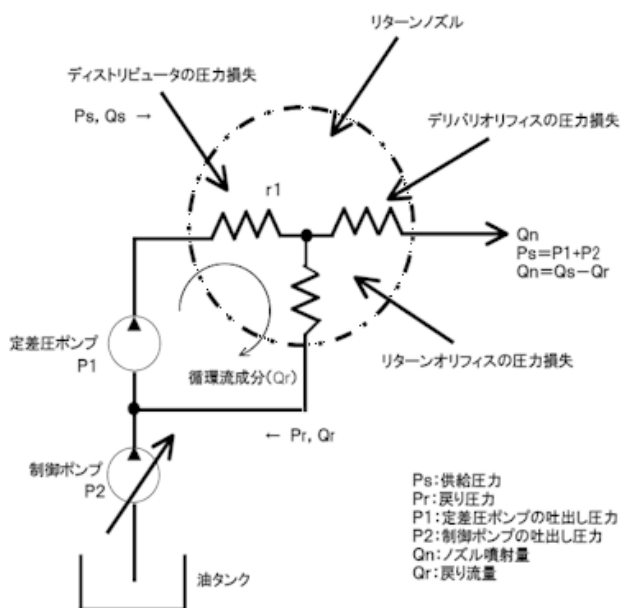


図 2: リターンノズルの等価回路

する定格最大流量($Q_n \text{ max}$)と定格最小流量($Q_n \text{ min}$)のポイントから水平線を引き、ノズル特性の噴射流量曲線との交点が作動点になります。

次に 項で得られた交点から垂直線を引き、戻り圧力($Pr=P_2$)の目盛との交点が夫々の戻り圧力になります。このとき、戻り圧力の可変幅を過少にとりますと、制御特性がクリティカルになりすぎ、運転が不安定になる他、温度補償等難しくなりますので注意が必要です。

一定差圧制御では前述のように供給圧力(Ps)=戻り圧力($Pr=P_2$)+定差圧力($P_1=Ps-Pr$)ですから、次の事項を考慮して供給圧力(Ps)と戻り圧力($Pr=P_2$)を定めます。

- 定差圧力($P_1=Ps-Pr$)は通常 0.7MPa(7Kgf/cm²)とします。
一般的には 0.5MPa(5Kgf/cm²) ~ 0.8MPa(8Kgf/cm²)が良いとされます。
この理由は耐久性とコストパフォーマンスによります。
- 制御ポンプの吐出し圧力($P_2=Pr$)の可変幅は通常 0.1MPa(1Kgf/cm²) ~ 0.5MPa(5Kgf/cm²)としますが、前述のように最小値は 0.1MPa(1Kgf/cm²)より低くしないことが良策です。
- a の定差圧力($P_1=Ps-Pr$)と b 制御ポンプの吐出し圧力($P_2=Pr$)を加算した圧力が供給圧力(Ps)になります。
- 各供給圧力から定差圧力を差引いた数値が各作動点の戻り圧力になります。

このように求めた実施例が図 3(最終ページ)の A~B~C~D~E~F となります。

定差圧ポンプの吐出し圧力(P_1) 5.5Kgf/cm²(一定)

制御ポンプの吐出し圧力(P_2) 1.5~6.5Kgf/cm²(可変)

ノズル 噴射量

$Q_n = 5.5\text{L/H}$ の時 供給圧力($Ps = P_1 + P_2$) 12Kgf/cm²
戻り圧力(P_2) 6.5Kgf/cm²

$Q_n = 1.0\text{L/H}$ の時 供給圧力($Ps = P_1 + P_2$) 7Kgf/cm²
戻り圧力(P_2) 1.5Kgf/cm²

ここでシミュレーションとして D 点($Ps = 10\text{Kgf/cm}^2$, $P_1 = 5.5\text{Kgf/cm}^2$, $P_2 = 4.5\text{Kgf/cm}^2$)において P_1 が 10%低下した場合の Q_n の変化量を求めると

$$P_1' = 0.9P_1 = 0.9 \times 5.5 = 4.95\text{Kgf/cm}^2$$

$$P_2 = 4.5\text{Kgf/cm}^2 \text{ 不変とすると } Ps = P_1' + P_2 = 4.95 + 4.5 = 9.45\text{Kgf/cm}^2$$

この点を図 2 上に印すと、その作動点は D となり Q_n は 3.87L/H から 4.07L/H に増加(+約 5.16%)することになります。

この値は油比例弁の場合に較べると約 1/3 弱となります。

以上は添付の図 3(最終ページ)のノズル特性曲線が定差圧ポンプの圧力 - 流量特性を考慮しておりませんので実際にはノズル噴射量(Q_n)の多い領域では供給圧力(Ps)が若干低下します。具体的にはリターンノズルの戻り圧力(Pr) - ノズル噴射量(Q_n)特性の傾きがパラメータとなります(図 2 の r_1 と r_2 の比率です)。

(油比例弁のシミュレーションは後述します)

3. コンセプト

概要は添付の組立図を参照願います。この図は主として油流路を示すものとご理解下さい。

油流路系は図 4 の通りです。弊社が提案させていただくのは図 3(最終ページ)の と のユニットです。

定差圧ポンプ

構成: 電磁弁、アキュムレータ、減圧弁を内蔵する
圧力形電磁ポンプ(弊社 VSG63 相当)

電源: AC100V, 50/60Hz

駆動: 上記商用電源の半波整流

制御ポンプ

構成: 電磁弁、逆止弁、アキュムレータを内蔵する
圧力形電磁ポンプ(弊社 VC63 相当)

電源: DC24V(仮定)

駆動: PMW

商用電源同期、必要に応じて定電流パルス、
逆起電圧処理機能付は必須です。

4. 解決を必要とする問題点とその対応

弊社は埼玉県技術改善補助事業として、一定差圧式油比例ユニットの研究に取り組んで参りました。

当該事業における研究では圧力センサの排除をはじめとするコスト低減に係わる各種の試作要素の評価を主目的としておりました。

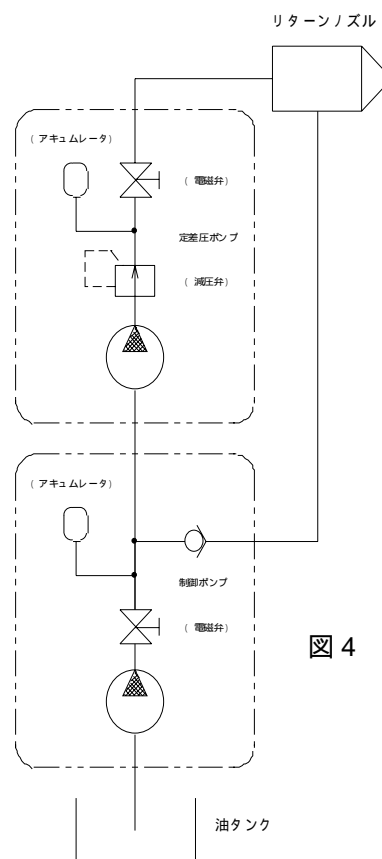


図 4

ます

ここでは実用上の問題点について説明することとします。

(1) ノズル噴射量の過渡特性(燃費変動)

始動時及び出力急変時のオーバーシュート及びアンダーシュートは制御ポンプのソレノイドコイルの温度上昇に起因するところが大きく、ソレノイドコイルの設計パラメータの一つです。ソレノイドコイルの温度上昇の過渡特性を無くす事は出来ませんが、前記の戻り圧力(P_r)の条件設定等の段階において適切なノズルを選択することによって制御ポンプへの駆動入力が高減可能であります。もし、実用機器において支障が生じる場合にはパルス幅を帰還制御によって自動的に可変する定電流制御(平均電流制御)が有効です。又、PWM 駆動パルス電圧の立下り時に発生する逆起電圧処理回路の適用は不可欠で、制御ポンプの効率を増すとともに、そのコイルの温度上昇も低減する効果があります。

(2) リターンノズル、定差圧ポンプ、制御ポンプの仕様

2 項では弊社手持ちの資料の関係でリターンノズル BN-5.4-80 でご説明しましたが、実用機器に対してはリターンノズルの空気巻き込み限界、噴射量(Q_n) ~ 戻り圧力($P_r=P_2$) 特性の傾き、定差圧ポンプの吐出し圧力(P_1)、制御ポンプの吐出し圧力($P_2=P_r$)とその可変幅等を適切に決定する事が必要です。

リターンノズルの空気巻き込み限界

リターンノズルは渦巻状に生じる空洞の為に、戻り圧力を下げていくとある領域以下でリターン流路に空気が混入しはじめて極めて不安定な状態になります。

戻り圧力($P_r=P_2$)は前記の事項を考慮し、0.1MPa(1Kgf/cm²)以上に設定する事が望ましく、この近傍で所要の最小噴射量が得られるノズルを選定することが必要です。

噴射量(Q_n) ~ 戻り圧力($P_r=P_2$) 特性の傾き

この特性の傾きは戻り圧力の変化に対する噴射量の変化の度合いを表しており、傾きが急峻であると僅か稀かな戻り圧力の変化で噴射量が大きく変化することになり実用上で扱い難いものとなってしまいます。

このパラメータは前記図 2 のディストリビュータの圧力損失(r_1)であり、噴射の微粒子化特性に影響を与えます。当該特性の傾きからすると低傾斜の方が望ましいのであるが、バーナの燃焼特性は悪化する方向となります。又、リターンオリフィスの圧力損失(r_2)はリターン流路の圧力損失の一部である為、制御性に影響があります。

定差圧ポンプの吐出し圧力($P_1=P_s-P_r$)

制御ポンプの吐出し圧力($P_2=P_r$)とその可変幅

前記 2 項の作動点の求め方に印した通りです。

5. 他方式による制御のシュミレーション(参考)

前記 2 項において、一定差圧方式の説明とシュミレーションについて述べましたがご参考までに油比例弁とインジェクタについてご説明致します。

(1) 油比例弁による比例制御

構成の概要は図 5 の通りです。油比例弁は多くの場合定電流で駆動され、駆動電流を i 、戻り圧力を P_2 とすると、その作動は次式で表されます。

$$P_2=ai^2+b$$

次に実施例としてノズル特性曲線上でご説明します。

リターンノズル BN - 5.4-80

最大噴射量: 5.4L/H

最小噴射量: 1.1L/H

以上を条件として添付の図 3(最終ページ)のノズル特性曲線において作動点は A ~ B ~ C ~ D ~ E ~ F ~ G ~ H ~ I 上となります。

供給圧力(電磁ポンプの吐出し圧力 P_1) 10Kgf/cm²

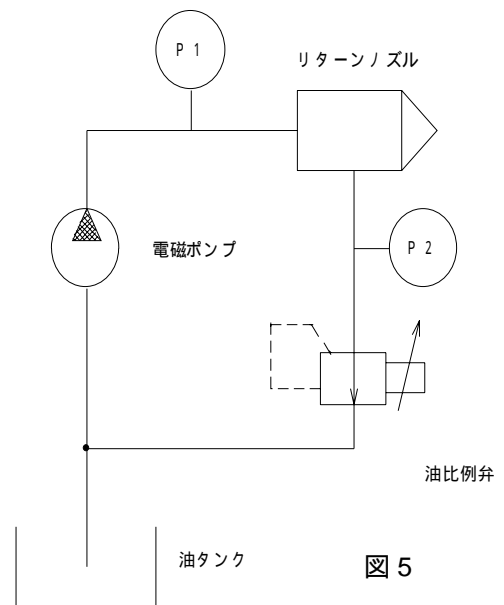
戻り圧力(P_2) 2.5 ~ 6Kgf/cm²

$Q_n=5.4L/H$ の時

$P_1=10Kgf/cm^2$ $P_2=6Kgf/cm^2$

$Q_n=1.1L/H$ の時

$P_1=10Kgf/cm^2$ $P_2=2.5Kgf/cm^2$



ここでシュミレーションとして F 点($P_1=10Kgf/cm^2$, $P_2=4Kgf/cm^2$)において P_1 が 10%低下した場合の Q_n を求めると

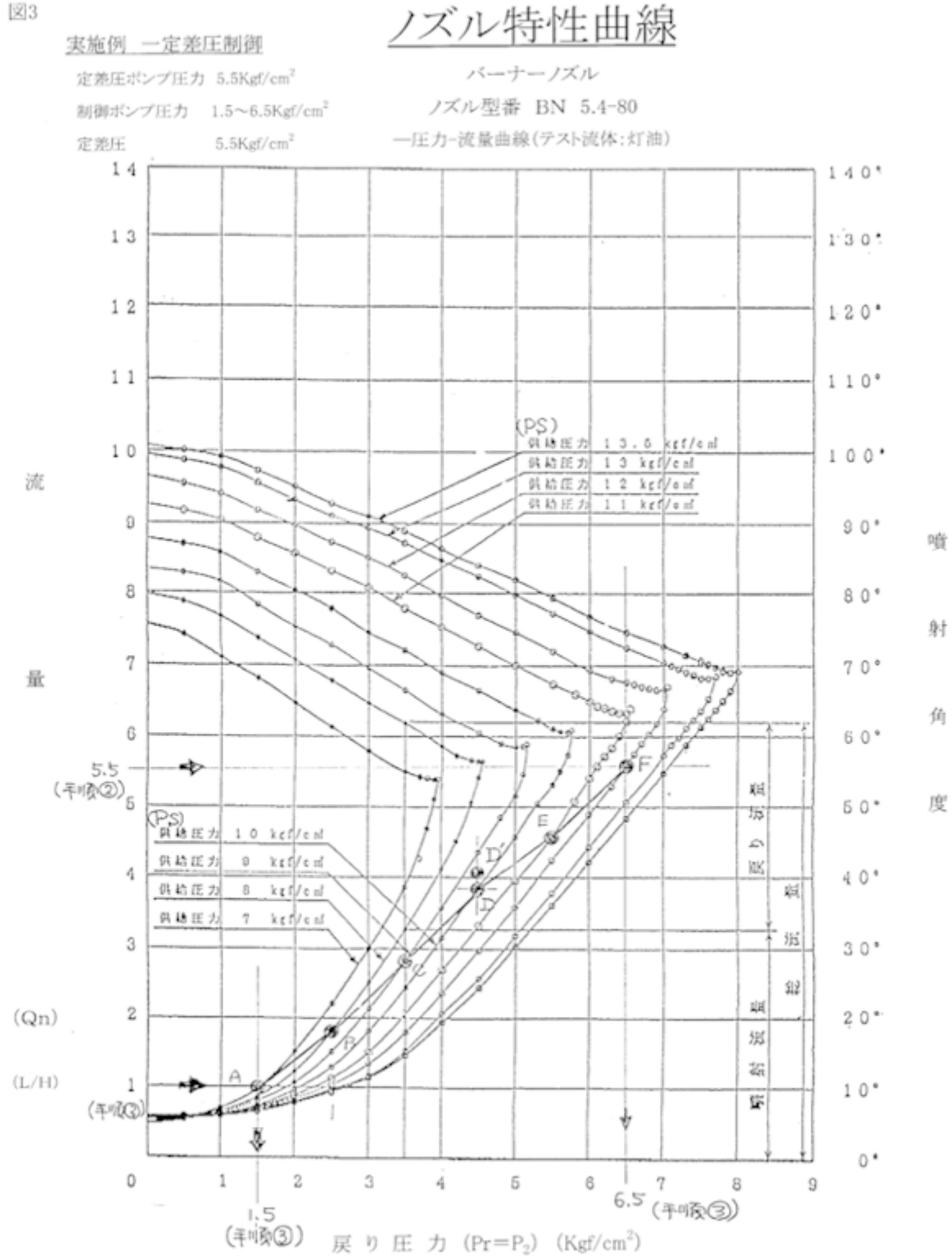
$$P_1' = 0.9 \times 10 = 9Kgf/cm^2$$

リターンノズル BN-5.4-80 は比較的ディストリビュータの圧力損失(r_1)が大きく、油比例弁の圧力損失(r_3)が $r_1 \gg r_3$ の関係にあるため、この程度の P_1 の低下に対し P_2 は殆ど変化しないことが確かめられています。

P_1 が P_1' (10Kgf/cm² → 9Kgf/cm²)に低下した場合の Q_n は図3(最終ページ)においてF点がF'点に移行することになって Q_n は4L/Hから4.6L/Hとなり、約15%増加します。この変化量は各作動点によって大きく変化します。

以上

図3



日本コントロール工業株式会社

図3