

パイプライン搾乳機における配管内の 真空度低下に関する研究

笹島 克己*

真空配管として水道用亜鉛めっき鋼管呼び径20A, 25A, 32A および硬質塩化ビニル管25Aを用いた結果、直状配管における摩擦係数は各々0.017, 0.015, 0.014, 0.016であった。牛乳配管内径を2.9, 3.4, 4.2cm ϕ とした30~50頭搾乳設備において、配管勾配を変えた結果、管内径および勾配が大きい程配管内の真空度低下は小さく、4.2cm ϕ で水の流量が20 l/minの時、水平で2.0cmHgの低下があったが、5/1000, 10/1000では低下は無かった。また、配管の両側に落差40cmのアーチ形配管を設けると水の流量が約15 l/minまでは2.1~2.6cmHgの低下であり、片側のみでは、流量20 l/minの時、アーチ形配管の無い場合に比し0.5~1 cmHg低下が大きかった。真空ポンプ排気量を大きくするとミルクタップからの空気流入時の真空度低下は少なく、市販11機種では流入時間1~2秒間で3~5 cmHgの低下であった。市販搾乳部1台当りの空気消費量は23~48 l/minであった。

I 緒 言

我が国で普及率が高いつなぎ飼い牛舎用パイプライン搾乳機には、牛乳配管が搾乳真空圧の伝達と送乳の機能を兼ね、かつ、配管が長くなることなどから、作業能率ならびに乳房衛生に悪影響を及ぼす搾乳真空度の低下や変動が多くみられる。

最近、北海道では乳質改善運動の一環として、搾乳設備の点検整備事業を推進しようとしている。この場合、現場は経時的な各部機能低下、同時使用搾乳部数の過多、異機種部品の組み合わせ使用など多様な使用状況にあるのが実態であり、搾乳真空度の過大な低下や、変動の発生が推測される機器が設備されている例も少なくない。点検整備事業を円滑に推進するためには、第1に改善や整備のための指標作りが要望される。

欧米の酪農先進国では、安定した搾乳真空圧の確保を主なねらいとして、搾乳機の各部機能、全体の構成および設置方法などに関する規格や基準

を設けている。しかし、これらの規格においても違いが見られる^{1,2)}ので、そのままでは我が国の使用設備への適用はし難い面がある。

また、我が国における設備容量の過小、あるいは過大といった多様な実態を生むようになっている一因として、配管方法や真空ポンプ排気量など基本的な設備要因と、搾乳真空度の低下や変動との関係が必ずしも明らかにされていないことが挙げられる。

そこで、本研究は、真空配管および牛乳配管の各配管方法、ならびに真空ポンプ排気量と搾乳真空度の低下との関係を明らかにし、指標作成の参考に供しようとしたものである。

真空配管については接続部を含む実際の圧力損失を明らかにし、牛乳配管については、既往の報告^{3,5)}と内容を異にし、配管の勾配を要因とみなし、この測定を行ったものである。また、真空ポンプ排気量に関しては、必要排気量の概要を知るため、市販機種搾乳部の空気消費量の把握と、ティートカップを乳頭に装着する際に発生する空気流入を想定した試験を行った。

なお、本研究の遂行に際し、中央農業試験場農業機械部長（現天北農業試験場長）斉藤亘博士に

1985年8月20日受理

* 北海道立根釧農業試験場、086-11 標津郡中標津町

は常に指導と助言を賜った。また、根釧農業試験場長長田辺安一氏、中央農業試験場農業機械部長村井信仁博士および根釧農業試験場酪農施設科長島田実幸博士には本稿の御校閲を戴いた。記して、厚く感謝の意を表する。

II 試験方法

1. 真空配管

供試した管材は単管の長さが5.5mの水道用亜鉛めっき鋼管 (JIS, SGPW) で呼び径3種 (20A, 25A, 32A) と単管の長さが4 mの硬質塩化ビニル管 (JIS, VP) で呼び径25A およびそれぞれ専用のソケットである。これらを図1に示すように直状に配管し、一方の配管端に真空ポンプ、他端に空気流量測定器 (差圧型, AFM3000)、中間に3個の負圧校正した圧力トランスデューサ (ストレンゲージ型, PG-2 KU) を接続した。なお、真空ポンプは3種を供試し、一部回転数の調節を行い、排気量を360~880 l/minの間で3~4段階に変えて使用した。空気流量の測定は空気流量測定器における真空度を37.5cmHgとして行った。また、配管内の真空度測定については、空気流量を更に細かく分けるため、空気流入側の単管を1本毎、2~4本まではずした場合についても行った。ただし、管端のソケットははずした。

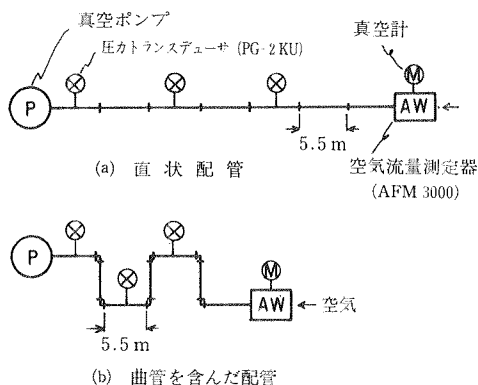


図1 供試配管方 と測定位置

更に、SGPW20A用、同25A用、同32A用の市販エルボと呼び径25A用のSGP製試作ベンド (図2) のそれぞれについて、直管相当長さを知るため、同呼び径のSGPW直管 (5.5m) と交互に接続配管し、空気流量と配管内真空度を測定し

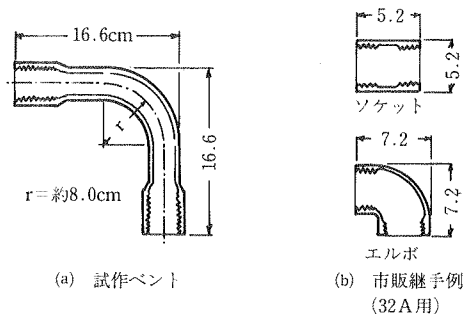


図2 供試管継手

た (図1)。なお、いずれも両端は直管で、配管の中には曲管を6個含んでいる。

2. 牛乳配管

硬質ガラス管で内径3種 ($D=2.9\text{cm}$, 3.4cm , 4.2cm) のそれぞれを牛乳配管とする搾乳設備 (図3, 表1) と試作模擬乳房 (図4) を供試し、2, 4, 6台の搾乳部を介して、水および空気を牛乳配管内へ流入させ、受乳容器内およびこの容器から最も遠い位置の牛乳配管内の真空度を測定した。牛乳配管の勾配は水平、5/1,000, 10/1,000の3段階に変えた。また、搾乳部を接続するミルクタップを受乳装置からの配管距離により、最も近い部分、中央部分、最も遠い部分の3群に分け、それぞれの群位置から水および空気を牛乳配管中へ供給した。なお、給水流量は各模擬乳房へ分岐する前で浮子式流量計により測定した。

更に、配管の中央付近に上向き流れの垂直管部と同落差の下向き流れの垂直管部を有するアーチ形の配管 (アーチ形配管と呼称することとした) を設けた場合についても測定を行った。位置は図3に示したが、落差は40cm、垂直管の間隔は1.7m

表1 供試搾乳設備の概要

機 器	仕様内容
ミルクロー容積	83 m ^l
同上気孔空気流入量	6 l/min
パルセータ形式	気圧式
同上空気消費量	23 l/min
受乳容器容量	44 l
真空ポンプ排気量	880 l/min
真空タンク容積	36 l
サニタリトラップ容積	70 l
真空調節器	スプリング式

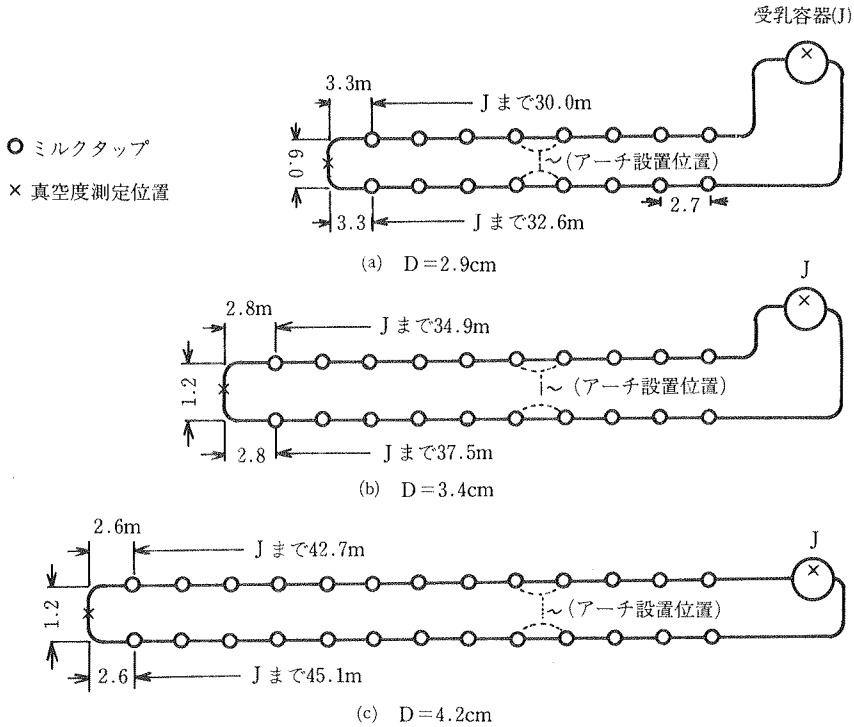


図3 供試牛乳配管の構成と長さ

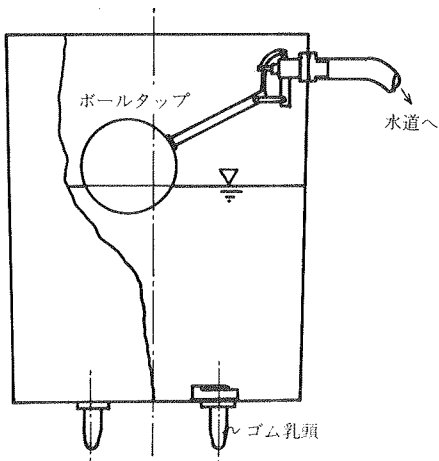


図4 誠作模擬乳房

とした。なお、垂直管を除く配管の勾配は $5/1,000$ とした。

3. 真空ポンプ排気量

表1に示した機種を含む市販の代表的な約50頭搾乳規模のつなぎ飼い牛舎用パイプライン搾乳機

11機種を供試した。

まず、短時間の空気流入時における真空度低下に関する試験であるが、牛乳配管中央部のミルクタップに長さ10cmのミルクチューブを介して電磁弁(呼び径25A管用)を接続し、弁を写真現像用タイマーで制御して空気を配管内へ流入させた時の配管内(最上流部)の真空度を記録測定した。なお、表1に示した設備については牛乳配管の径を2.9cmおよび4.2cmとした場合のそれぞれについて、真空ポンプ排気量を325, 590, 880 l/minの3段階に変えて測定を行った。

また、搾乳部の空気消費量測定はティートカップに乳頭状の栓をした4～6頭の搾乳部を配管に接続すると共に真空調節器の代りに空気流入量測定器を接続して行った。すなわち、搾乳部をはずした時と接続した時の空気流入量の差が搾乳部の空気消費量である。ただし、空気流入量測定器部における真空度は37.5cmHgとした。なお、パルセータおよびミルクロー気孔からの空気流入量を知るため、ミルクロー気孔を塞いだ時および

パルセータのみをはずした時についても測定を行った。

III 試験結果および考察

1. 真空配管における圧力損失

試験時の室温は15~21°C(平均15.8°C)、大気圧は993~1,016mbar(平均1,006mbar)であったが、以下の空気流量は標準大気条件(20°C, 1,013 mbar)に補正した。

図5~図8は直状配管について、配管長さおよび空気流量と真空度差との関係の測定結果を示したものである。

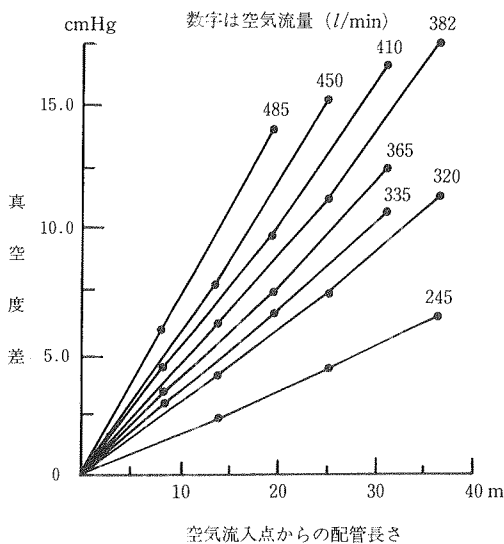


図5 SGPW20A 配管における圧力損失

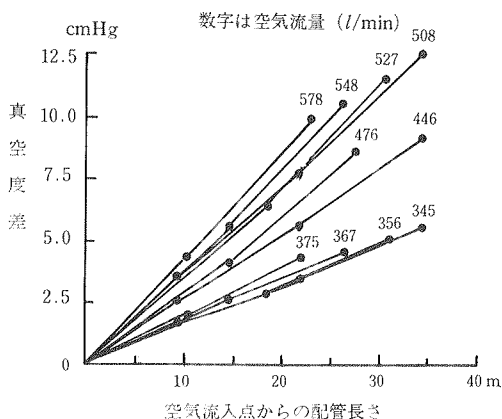


図6 SGPW25A 配管における圧力損失

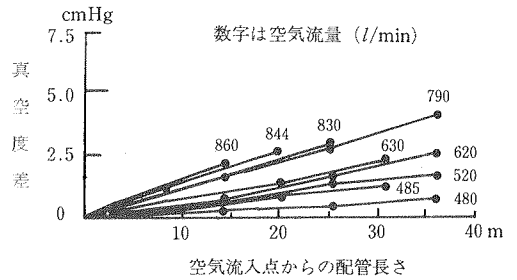


図7 SGPW32A 配管における圧力損失

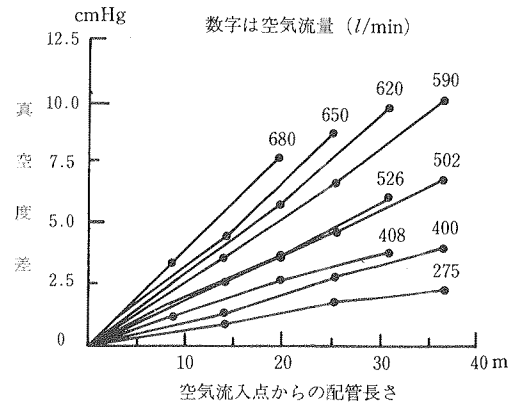


図8 VP25A 配管における圧力損失

一般に管材の単品ごとの圧力差については摩擦係数もしくは表面粗さという形で示されている。本試験はソケットという接続部を含めた配管の空気摩擦抵抗による真空度差を確認したものである。概略は図5~図8にて把握できようが、更に配管長さや空気流量が異なった場合の真空度差の推定と一般に示されている摩擦係数との相違を見るため、以下に本試験で供試した配管の空気摩擦係数を求めた経過および結果を示す。

円管内の流れにおける圧力差については、Fanningの式が知られており、この式における摩擦係数はレイノルズ数との関係で表わされることが明らかにされている。

ただし、Fanningの式は

$$\Delta p = 4 f \left(\frac{g_c \cdot \rho \cdot \bar{u}^2}{2} \right) \left(\frac{L}{D} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Δp : 圧力差 (g/cm²)

ρ : 流体の比重; 20°Cの空気の場合は
1.17×10⁻³ (g/cm³)

$\bar{u}$: 流体の管内平均流速 (cm/sec)

L : 管 長 (cm)

g_c : 重力換算係数; 980.7 ($\text{g} \cdot \text{cm} / \text{gf} \cdot \text{sec}^2$)

f : 摩擦係数

D : 管 内 径 (cm)

であり, レイノルズ数 (Re) を求める式は

$$\text{Re} = \frac{\rho \cdot \bar{u} \cdot D}{\mu} \quad \dots\dots\dots(2)$$

μ : 流体粘性係数; 20°C の空気の場合
 1.84×10^{-5} ($\text{g} / \text{cm} \cdot \text{sec}$)

である。ここで, 流体流量を Q (cm^3 / sec) とすれば, $\bar{u} = 4 Q / \pi D^2$ となるから, (1)式および(2)式は次のようになる。

$$\Delta p = 32f \frac{\rho \cdot Q^2 \cdot L}{\pi^2 \cdot g_c \cdot D^5} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\text{Re} = 4 \frac{\rho \cdot Q}{\pi \cdot \mu \cdot D} \quad \dots\dots\dots(4)$$

1 cmHg を $13.6 \text{g} / \text{cm}^2$ として試験結果を(3)式および(4)式に代入し, f および Re を求めて, この関係を図示すると図9のようとなった。試験結果から求めた値は乱流域に位置する。そこで, 乱流域においては次式が示されており, f 値はレイノルズ数すなわち流量に関係なく管材ごとに一定となる。

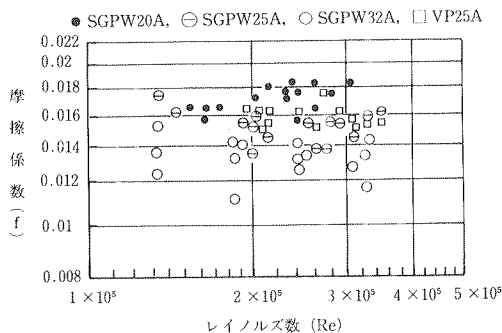


図9 供試配管の摩擦係数とレイノルズ数

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2.28 - 4 \log \left(\frac{e}{D} \right)$$

e : 表面粗さ (cm)

故に, f 値の平均をとると表2のようになった。これらの値は一般に示されている単管の場合の f 値²⁾に比し, 若干高い値となったが, 接続部を含む実際配管の値のためと判断される。

次に曲管についてであるが, 曲管を含む配管における真空度の測定結果と, 同じ配管長さ, 空気

表2 供試配管の摩擦係数

配管種類	直径内径 (cm)	摩擦係数
SGPW20A	2.17	0.017
SGPW25A	2.76	0.015
SGPW32A	3.57	0.014
VP25A	2.50	0.016

流量での直状配管における真空度計算値との真空度差から曲管1個当りの真空度差を求めた結果, 図10のようになった。また曲管1個当たりの真空度差と(3)式から直管相当長さを求めるとエルボが1.0~1.7mであるのに対し, 試作ベントでは約0.4mであった。(表3)。したがって, 管長が短かく, 流量の多い配管ではベントは有効であるものとする。

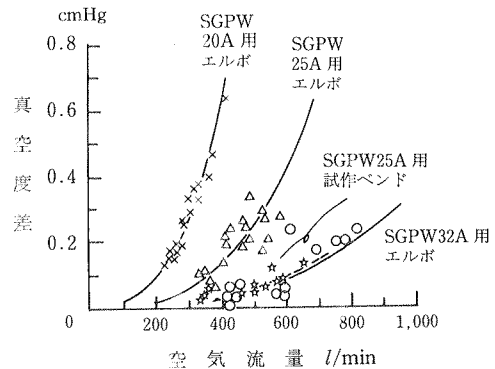


図10 曲管1個当りの真空度差

表3 供試曲管相当長さ

曲管の種類	曲率半径 (cm)	直管相当長さ (m)
市販エルボ		
SGPW20A 用	約1.9	1.0
SGPW25A 用	2.54 ¹⁾	1.2
SGPW32A 用	3.18 ²⁾	1.7
試作ベント		
25A 用	8.0	0.4

1), 2) : JIS による。

2. 牛乳配管における真空度低下

アーチ形配管のような垂直な立ち管の無い場合の試験結果を図11および図12に示す。

図11は受乳容器から1番遠いミルクタップ群から水および空気を牛乳配管中へ入れた場合で, 勾

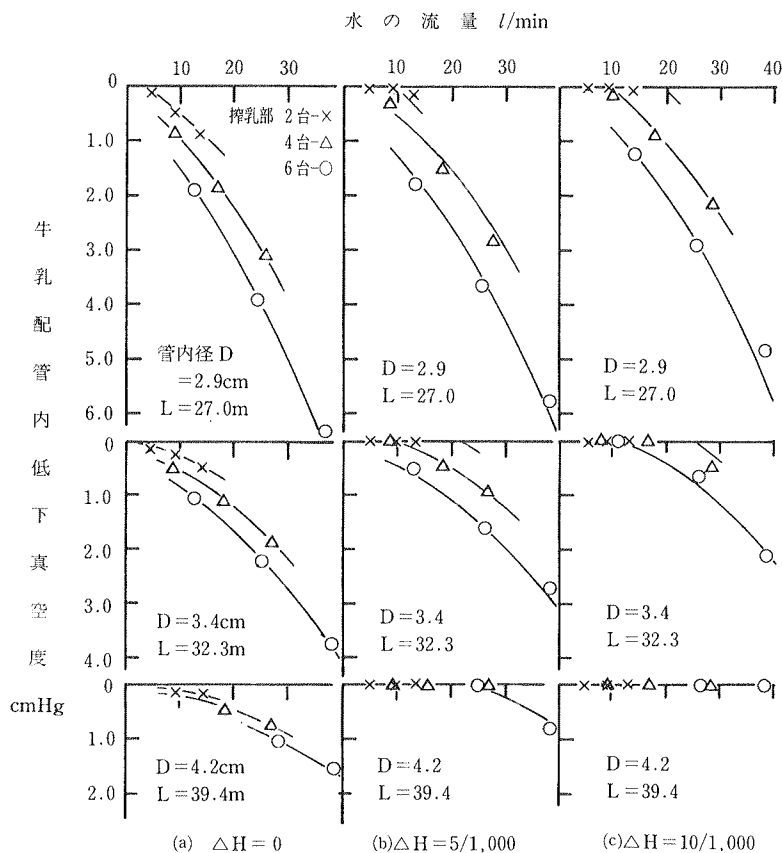


図11 牛乳配管の勾配と真空度低下

(L: 使用ミルクタップから受乳容器までの平均管長さ)

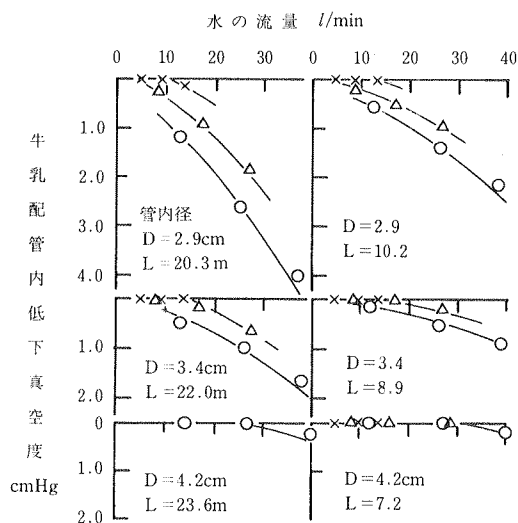


図12 牛乳配管の長ささと真空度低下

(L: 使用ミルクタップから受乳容器までの平均配管長さ)

配を変えて行った試験の結果である。

内径4.2cmにおいても勾配を水平とすると水の流量が20 l/min の時には約0.4cmHgの真空度低下が発生している。勾配を5/1,000とすると、低下はなくなる。したがって、勾配の効果は少ない。ただし、勾配を過大とすると、ミルクタップへの搾乳部の接続作業に支障をきたす恐れがあるので、おのずと上限があろう。

また、図12は受乳容器に近いミルクタップ群から水および空気を牛乳配管へ入れた場合の結果である。ミルクタップから受乳容器までの平均配管距離が短いと、牛乳管中の真空度低下は少なくなっている。なお、この真空度低下は、その時の受乳容器から一番遠い使用ミルクタップから、更に遠い牛乳配管内の値である。そして、この部分の牛乳配管の長さが長くとも配管内の真空度は等しい。したがって、図12は図3に示した配管にお

いて、使用ミルクタップ群の位置を変えて行ったものであるが、配管長さを変えて行ったと同等とみることができる。すなわち、受乳容器から一番遠い使用ミルクタップまでの配管距離プラス若干の配管距離が、実際の配管長さとなる。

次に、アーチ形配管を含む配管における測定結果を図13に示す。水および空気の吸入位置は受乳装置から最も遠いミルクタップ群である。

並列する配管の両側にアーチ形配管がある場合、水の流量が約15 l/min までは、内径2.9, 3.4, 4.2cmの配管のいずれにおいてもほぼ一定の真空度低下となった。これはアーチ形配管の上向き管における水頭損失のためと判断される。落差は40cmであり、水柱40cmは水銀柱で2.88cmHgとなるが、ここまで低下しないのは、空気が気泡となって上向き管中に存在するためと考えられる。

並列する配管の片側のみにアーチ形配管を設けた場合については、本試験においてアーチ形配管の最も高い部位が、配管の受乳容器から最も遠い

部位よりも高かった。水の流量の少ないうちは、アーチと配管末端の間から入り込んだ水および空気は配管末端側を通り、アーチのない傾斜管へと流れた。しかし、水の流量が多くなるとアーチ側からも流れるようになった。これはアーチのない方の真空度低下がアーチにおける落差による圧力損失よりも大きくなったためと考えられる。いずれにしてもアーチのない場合よりも真空度低下は大きくなっており（流量20 l/minで0.5~1.0 cmHg）、特に配管長さの長い内径3.4cmおよび4.2cmの配管においてこの傾向は著しくなっている。

なお、本試験は牛乳の代りに水（約5℃）を用いて行った。5℃の水の粘度は1.5cPである⁹⁾。一方、牛乳の粘度は水を1とすると30℃では1.6とされている⁹⁾。30℃の水の粘度は0.8cPであるから、30℃の牛乳の粘度は約1.3cPとなる。したがって、実際の生乳における粘度の変動と比重を考慮すれば、本試験の結果は牛乳の場合にも適用できるものと判断される。

3. 真空ポンプ排気量と真空度低下との関係および必要排気量

表1に示した搾乳設備について、真空ポンプ排気量を変えた場合の空気流入時間と、牛乳配管内の真空度低下を図14に、市販機種についての空気流入時間と牛乳配管内の真空度低下を図15に示す。

ミルクタップからの空気流入による牛乳配管内の真空度低下にかかわる要因として考えられるの

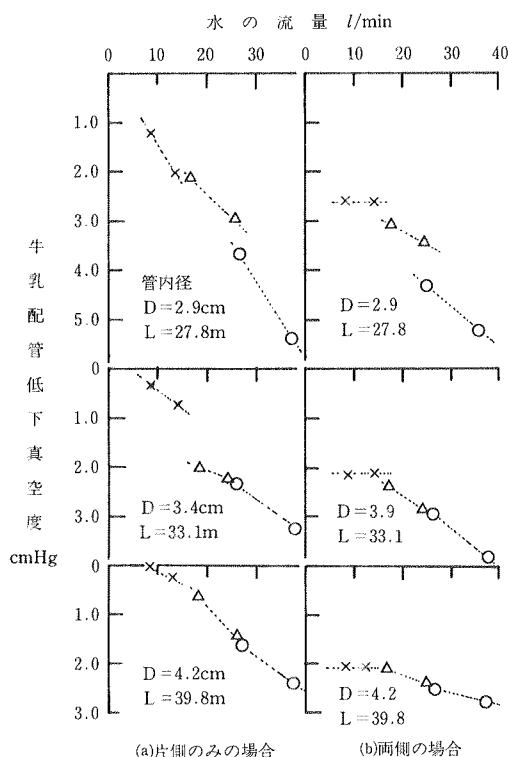


図13 アーチ形配管を含む牛乳配管の真空度低下
(アーチ落差40cm, 幅1 m70cm, 全体勾配5/1000)

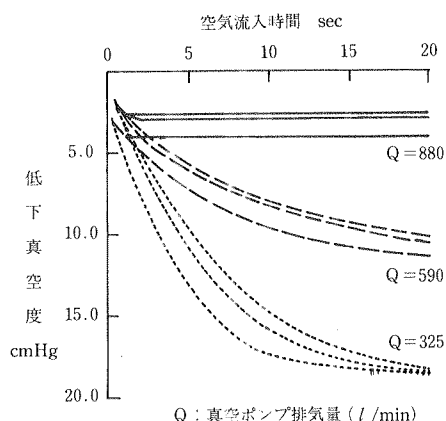


図14 ミルクタップからの空気流入時における牛乳配管内の真空度低下

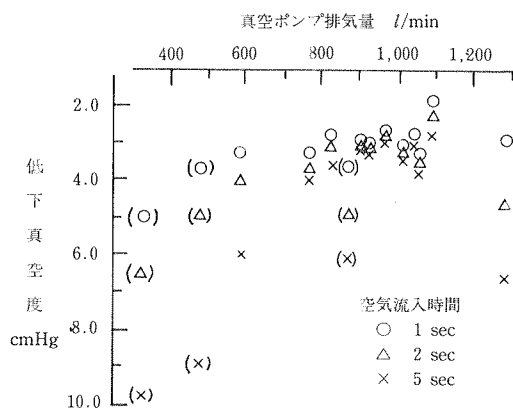


図15 ミルクタップからの空気流入時における牛乳配管内の真空度低下—市販11機種—
注：() 内は表1の設備で真空ポンプ排気量を変えた場合

は、真空ポンプ排気量は空気流入時間の他に真空調節器の感度やミルクタップ部の最小孔径などである。これらと真空度低下との関係は、今回は明らかにできなかった。いずれにせよ、市販機種では空気流入時間が2秒程度でも3～5 cmHgの真空度低下が発生している。実際の搾乳では搾乳部の作動その他により、空気や牛乳が真空装置内へ流れ込むので、真空度低下はもっと大きくなる

表4 市販機種の搾乳部1台当りの空気流入量 (l/min)

機種	パルセータ	ミルクロー気孔	合計
1	23	11	34
2	35	13	48
3	27	7	34
4	20	8	28
5	14	9	23
6	23	6	29
7	21	10	31
8	23	6	29
9	25	19	44
10	17	15	32
11	25	7	32
平均	23.0	10.1	33.1

と予想される。すなわち、図14に示したように同一設備では、真空ポンプ排気量が小さければ真空度の低下が大きくなるからである。

また、表4は市販機種の搾乳部1台当りの空気消費量を示したものである。パルセータ、ミルクロー気孔および合計の平均はそれぞれ23.0, 10.1, 33.1 l/minであったが、多い機種と少ない機種では2倍程度の開きがあった。

なお、搾乳部1台当りの空気消費量の最も多い機種は48 l/minであった。搾乳部6台では最低約300 l/minの真空ポンプ排気量が必要となる。

ティートカップ装着時におけるような空気流入があるので、余裕排気量を見積っておく必要がある。

引用文献

- 1) International Organization for Standardization. "Milking machine installations - construction and performance". 1983. (ISO 5707).
- 2) International Association of Milk, Food, and Environmental Sanitarians, United States Public Health Service and The Dairy Industry Committee. "3-A accepted practices for the design, fabrication and installation of milking and milk handling equipment". 1977. (Number 606-02).
- 3) Kerkhof, J.A. "Drop of vacuum in milklines". Institute of Agricultural Engineering and Rationalization Research Report, 2. 1972.
- 4) 畜産大事典編集委員会編, "畜産大事典", 養賢堂, 1978, p.954.
- 5) 農林水産技術会議事務局編, "搾乳作業の省力化に関する研究", 1979, p.74-92. (研究成果114).
- 6) 佐野新三郎, 有江幹男, "新版水力学および水力機械", 工学図書出版, 1972, p.3.
- 7) 頼美正弘, 河村祐治, 藤縄勝彦, 中井 資, "化学工学", 1974, p.192, p.500.

Vacuum Drop in Lines in Pipeline Milking Systems

Katsumi SASAJIMA

Summary

The effects of line layout and vacuum pump capacity to the vacuum drop in lines were investigated.

Four kind of pipes was used for straight vacuum line, their sizes were 20A-, 25A- and 32A of galvanized steel pipes for water service and 25A of unplasticized polyvinyl chloride pipes. Each friction coefficient was 0.017, 0.015, 0.014, and 0.016 respectively.

The drop of vacuum in milk line was decreased by widening the diameter of pipes tested in three kind of diameter, 2.9cm ϕ , 3.4cm ϕ and 4.2cm ϕ and also by increasing the angles of inclination in line on the condition of 30 to 50 herds milking system. 2.0cmHg vacuum drop using 4.2cm ϕ pipe with 20litter/min. of water flow was observed in level line, on the other hand any drop was not detected in milk line with a slope of 5/1000 or 10/1000.

Besides, vacuum drop in milkline recorded 2.1 to 2.6cmHg when 40cm head arched line installed to both side of lines, while the line with one side arch showed more vacuum drop compared to the line without any arched installation by 0.5 to 1.0cmHg.

The amount of vacuum drop in milk line caused by air inflow via milk tap diminished when connected with vacuum pump of large capacity. The vacuum drop ranged between 3 to 4cmHg recorded in one to two seconds of air inflow to milk line examined in the commercially available 11 milking systems.

Concurrently their inflow rate by one milking unit varied from 23 to 48 litter/min. range.