

PETボトル詰飲料の充填条件による 微生物汚染のシミュレーション

久延 義弘, 中野 和子, 樋口 香織, 末松 伸一

Effect of Filling Conditions on Simulated Microbial Contamination in Hot-filled PET Bottled Drinks

Yoshihiro Hisanobu, Kazuko Nakano,
Kaori Higuchi and Shinichi Suematsu

Falling behavior of air-born microorganisms into PET bottle during filling process of hot-filled drinks was simulated. From the simulation test using mist particles instead of microorganisms on the hot filling process of PET bottled drinks, following results were obtained.

- ① Before filling, degree of mist particle contamination in PET bottle was higher at vertically transferring than at stopping of the bottle. Especially, at the inner front of transferring bottle nozzle, contamination was the most remarkable.
- ② Before and after filling, the higher the rate of bottle transfer, the lower the degree of contamination.
- ③ Degree of mist particle contamination in PET bottle was higher at the bottle with 38mm nozzle diameter than at the bottle with 28mm nozzle diameter.
- ④ During filling, in case a Reynolds number of fluid from nozzle top was under 2,100 (region of laminar flow), mist never entered into the bottle.
- ⑤ After filling, the higher the filling temperature of liquid, the lower the degree of contamination. In case a filling temperature of liquid was above 90°C, mist never entered into the bottle.

Key words : PET bottle, diameter of bottle nozzle, hot-fill, filling temperature, filling rate, transfer rate, mist particle, microorganism, variation of contamination.

ホットパック仕様でのPETボトル詰飲料の充填工程において、密栓するまでは雰囲気中にボトルノズル部が開放された状態にさらされる。この間、雰囲気中に微生物が存在すると落下菌としてボトル内へ侵入することが予想されるが、充填工程での微生物の侵入率を実測した例がなく、充填温度・充填速度・移動速度などとの関係を把握しておく必要がある。

そこで、充填工程をシミュレーションして、落下菌のモデルとして超音波で発生させた霧粒子を用いて、その侵入量からボトル内への微生物の侵入状態を推定した。さらに、充填の前工程として空ボトルの水平移動と、充填後の水平移動による侵入状態も併せて調べた。

実験方法

1. 使用容器

ボトルノズル外径28mmと38mmの角型2ℓ耐熱PETボトル（28φおよび38φと略す）とプラスチック製キャップを使用した。

ただし、試料を採取する操作においてキャップで密栓した場合、ボトル頂部に付着した水滴が開栓中にボトル内に侵入すると、測定値が変動し再現性が悪くなるので、ボトル頂部をキャップライナーで押さえ込んだ状態のままボトル内の試料が取り出せるように、プラスチック製キャップの中心軸付近に直径約8mmの穴を開け、ゴム栓で開閉できるようにした（サンプリングキャップと略す）。

また、ボトルノズルを内径30mmのプラスチック製円筒に置き換えたPETボトル（30φ円筒と略す）も一部使用した。

2. 充填ノズル

外径13mm, 15mm, 17mmのステンレスパイプを使用し、充填中はセンタリングカップの代用として、プラスチック製カップを充填ノズルに取り付けた（Fig. 1）ものも使用した。

3. 実験装置

透明なプラスチック製風洞実験装置（風洞装置と略す）を製作し（Fig. 2）、ボトルを縦置き正立状態としてボトルの移動方向から風を送り、ボトルが水平に移動する状態を再現した（ここでは、ボトルの移動速度を風速に置き換えて表した）。

霧の発生には超音波吸入器（松下電工製EW622W）を使用し、無風状態の時にボトルの真上

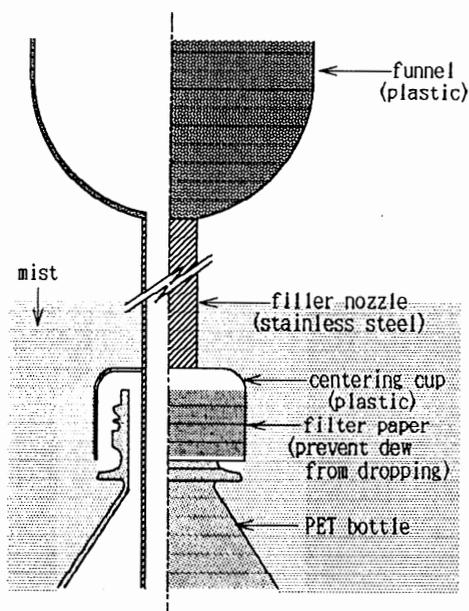


Fig. 1. Outline of filler nozzle

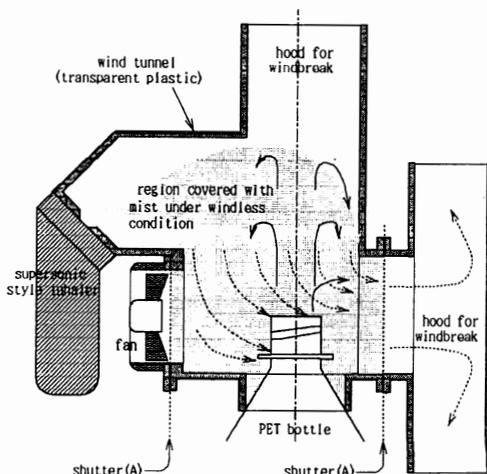


Fig. 2. Outline of device for wind tunnel experiment

→, image of stream of mist during filling.

----->, image of stream of mist during horizontal transfer.

から粒子径約20 μm (\geq)の霧が降りてくるようにし、ノズル頂部に水滴が形成する直前の時間として、最大で20秒間の噴霧を確保した。

ただし、無風状態で実験する場合は風洞装置の両端を閉じて (Fig. 2Aの部分)、装置外すなわち実験室の雰囲気の影響をほとんど受けないようにした。

また、すべての操作は室温 (20~25 $^{\circ}\text{C}$) 雰囲気中で行った。

4. 霧の侵入状態の確認方法

空ボトルの内面各部位にヨウ化カリウムデンプン紙を両面粘着テープで張り付け、約100ppmの塩素酸イオンを含む高度さらし粉水溶液 (塩素酸と略す) の霧を噴霧し、ボトル内に侵入した塩素酸をヨウ化カリウムデンプン紙の変色状態で確認した。

この場合、変色状態を数値化するため、ヨウ化カリウムデンプン紙について幅5mmで測定間隔2.5mmとした場合の色調のL値を色差計 (ミノルタ製CR-200) で測定し、塩素酸で完全に変色させた場合のL値を100%、まったく変色させない場合のL値を0%として、空ボトルの内面各部位への霧粒子の付着すなわち侵入状態を調べた。

5. 霧の侵入量の定量方法

5.0%の塩化ナトリウム水溶液 (塩化ナトリウムと略す) の霧を噴霧し、ボトル内に侵入した塩化ナトリウムをモール法¹⁾で定量した。

充填中および充填前後の工程をシミュレーションした操作と、ボトル内へ侵入した塩化ナトリウムの定量方法は Table 1 に示した。

6. 霧の流れ方の目視方法

充填工程の再現操作において、目標部分に対して風洞装置の後方下部から約40~45 $^{\circ}$ の角度でスポットライトを照射し、風洞装置前方部正面から接写レンズを透して等倍画面を目視した。

この場合、流れている霧の写真撮影を試みたが、写し込むことはできなかったため、目視した状態を図示した。

結果と考察

ホットバック仕様でのPETボトル詰飲料の製造工程において、雰囲気中の微生物がボトル内に侵入する領域は、充填中とその前後すなわち Fig. 3で塗りつぶしたように、キャップで密栓するまでの区間で、かつボトルノズル部が開放され縦置き正立状態にある時だけと考えられる。

また、Fig. 3で塗りつぶしたように、ボトルの洗浄工程前も侵入の可能性はあるが、倒立状態で洗浄・水切りを行うため、ボトル内に微生物が残留することはほとんどないと考えられるので、実験対象から省いた。

1. 充填前のボトルノズル部内面への霧粒子の付着状態

移動速度0m/分と36m/分の水平移動を想定し、塩素酸を含む霧を20秒間噴霧して、28 ϕ と38 ϕ および30 ϕ 円筒のボトルノズル部内面 (ノズル内面と略す) への霧粒子の付着状態を、ヨウ化カリウムデンプン反応を利用して定性的に調べた (Fig. 4)。

無風状態の場合、30 ϕ 円筒のノズル内面には霧が付着しにくいことを認めた。これは、ボトルノズル部の断面をみると (Fig. 5)、30 ϕ 円筒のノズル内面には凹凸がないのに対し、28 ϕ および38 ϕ のノズル内面には凹凸があり、この部分に霧粒子が集中して付着することから、ノズル内

Table 1. Simulation of filling process and quantitative analysis of sodium chloride

Order	Procedure	A	B	C
1,	Put a PET bottle in a wind tunnel.	●	●	●
2,	Put a filling nozzle into the PET bottle.		●	●
3,	Fill up the PET bottle with water or hot water (2kg).			●
4,	Pull the filling nozzle out from the PET bottle.			●
5,	Turn on a fan.	●	●	●
6,	Spray with sodium chloride solution.	●		●
7,	Fill up the PET bottle with water or hot water (2kg). (Spray with sodium chloride solution at the same time)		●	
8,	Pull the PET bottle out from a wind tunnel.	●	●	●
9,	Seal the PET bottle with rubber plug.	●	●	●
10,	Cool the PET bottle with tap water below 25°C.		●	●
11,	Stand the PET bottle for five minutes.	●		
12,	Pull rubber plug out from the PET bottle.	●		
13,	Fill up the PET bottle with water (1kg).		●	
14,	Reseal the PET bottle with rubber plug.	●		
15,	Shake up for two minutes.	●	●	●
16,	Pull rubber plug out from the PET bottle.	●	●	●
17,	Sampling (100g).	●	●	●
18,	Concentrate(to 20g).	●	●	●
19,	Add 0.5ml of 5% Potassium chromate solution to the concentrate.	●	●	●
20,	Titrate with 0.01mol/ℓ Silver nitrate solution.	●	●	●
21,	Test blank.	●	●	●

A, Before filling, B, During filling. C, After filling. ●, Practiced.

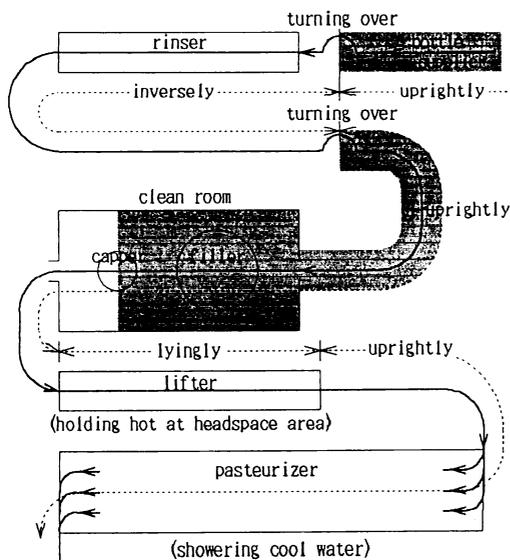


Fig. 3. Production line of PET bottle drinks (hot-filling line)
 //, contaminated region (air-borne microorganisms to be able to fall into bottle).

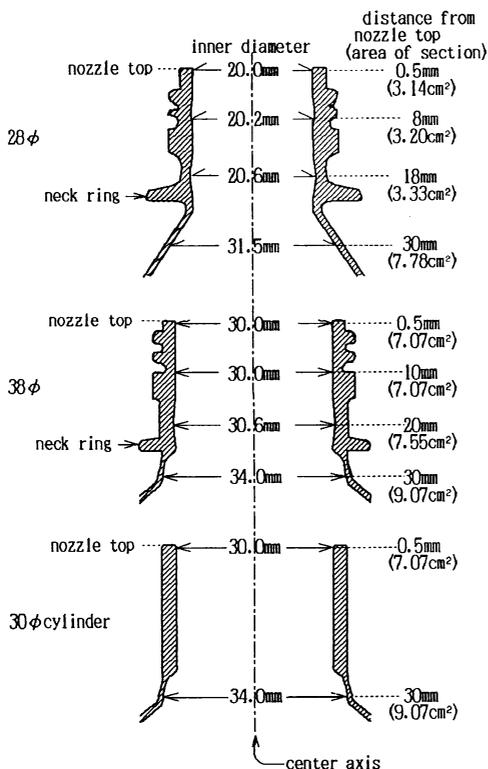


Fig. 5. Vertical cross section of bottle nozzle

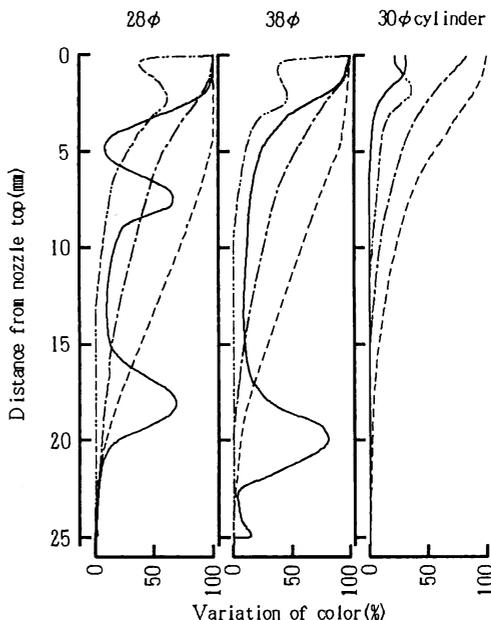


Fig. 4. Effect of bottle transfer rate and inner diameter of bottle nozzle on contamination with mist particle around inner surface of bottle nozzle (before filling)

- , all around inner surface, at a stop.
-, inner front surface, at the rate of 36m/minute.
- , inner rear surface, at the rate of 36m/minute.
- , inner both side, at the rate of 36m/minute.

面に凹凸があると、無風状態では侵入した微生物がこの部分に着しやすくと推定した。

移動速度36m/分で水平移動させた場合は、28φ、38φ、30φ円筒ともノズル内面への霧粒子の附着状態が類似しており、進行方向前方部のノズル内面に多く附着し、次に進行方向後方部のノズル内面が附着しやすく、進行方向と平行なノズル内面には附着しにくいことを認めた。

また、ヨウ化カリウムデンプン紙の変色度と目視による色の変化の度合いはほぼ一致しており、定量性は低いに変色度すなわち霧粒子の附着量をみると、無風状態の時ほどではないがノズル内面に凹凸のない30φ円筒は28φや38φに比べて、若干ではあるが附着しに

くい傾向を認めた。

ただし、総体的にみると空ボトルが水平移動すると、ボトルノズルの口径やノズル内面の状態などにほとんど関係なくノズル内面に霧粒子が付着することから、充填前の空ボトルが水平移動することによって微生物がボトル内へ侵入し、ノズル内面に付着すると推定した。

2. 充填前のボトル底部内面への霧粒子の付着状態

ボトル底部内面について、無風状態と移動速度36m/分での霧粒子の付着状態を調べた結果、いずれの場合もボトルの中心軸を中心にボトルノズル部内径とほぼ同じか、わずかに大きい程度の範囲内に霧粒子が付着することを認めた。

すなわち、ボトルノズル部から侵入した霧粒子がボトル内で真下に落下していることから、空ボトルが水平移動している時もボトル内は無風状態にあると推定した。

3. 充填前のボトル胴部・肩部内面への霧粒子の付着状態

ボトル胴部および肩部内面について、無風状態と移動速度36m/分での霧粒子の付着状態を調べた結果、いずれの位置にも霧粒子の付着は認められなかった。すなわち、ボトル内へ侵入した霧粒子は途中で拡散することなく底部まで落下すると考えた。

また、目視方法でも侵入した霧が帯状となって、ボトル内をゆっくり降下する様子が見られ、移動中でもボトル内が無風状態にあることを確認した。

4. 充填前の移動速度とボトル内への霧粒子の侵入率との関係

移動速度 0 m/分～36m/分の水平移動を想定し、塩化ナトリウムを含む霧を20秒間噴霧して、28φと38φのボトル内へ侵入した塩化ナトリウムをモル法で定量した。この場合、38φの無風状態での侵入量が最も多かったので、この値を基準値すなわち100%として、移動速度による侵入率の変化を28φと38φについて調べた (Fig. 6)。

ボトルの移動速度が大きくなるほど、28φおよび38φとも侵入率は低くなり、24m/分を越えると侵入率の低下が鈍化する傾向を認めた。

また、24m/分を基準に相対比を求めてみると (Fig. 7)、停止状態での侵入率は移動中の約2倍になることを認めた。

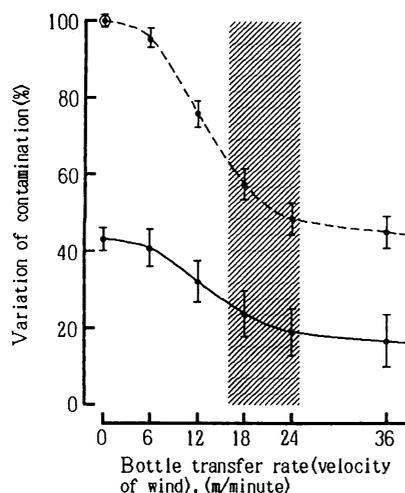


Fig. 6. Effect of bottle transfer rate on contamination with mist particle (before filling)

- ⊙, control (degree of contamination, 38φ, 2ℓ square shape PET bottle, at a stop).
- , (degree of contamination, 28φ, 2ℓ square shape PET bottle/control) ×100.
- ⋯, (degree of contamination, 38φ, 2ℓ square shape PET bottle/control) ×100.
- ⊥, mean value and standard deviation of 5 determinations.
- ▨, range of bottle transfer rate at production line.

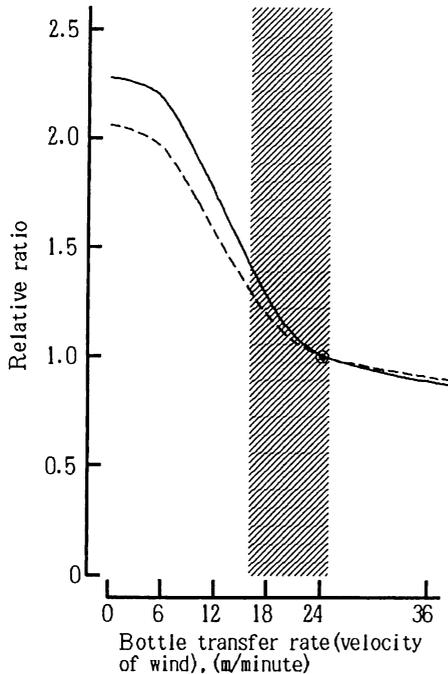


Fig. 7. Relative ratio of the degree of contamination at each bottle transfer rate to that at bottle transfer rate of 24m/minute (before filling)

- ⊙, control.
- , 28φ, 2l square shape PET bottle.
- - - - - , 38φ, 2l square shape PET bottle.
- ///, range of bottle transfer rate at production line.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{一定} \quad \text{..... (1)}$$

書き換えると

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 = P_0 \quad \text{..... (2)}$$

このように、28φおよび38φとも無風状態にある時の侵入率が最も高くなるので、実際の製造ラインの充填前において、ラインが停止状態にある時の微生物侵入率が最も高くなると推定した。

5. 充填前の移動速度による霧粒子の侵入率低下の要因

ボトル内が無風状態でノズル頂部を空気が流れている状態にあることから、流体の運動におけるベルヌーイの定理(式2)が働いたと考えた。

すなわち下記の式2から、無風状態にあるボトル内の圧力(P_0)に対し、空気が流れているノズル頂部の圧力(P)は左辺の $1/2 \cdot \rho v^2$ を差し引いたぶん低くなり、ノズル頂部を挟んで圧力差が生じるため、ボトル内へ侵入した霧の一部がボトル外へ吸い出されたと考えた。

ゆえに、空気の流れが速くなるほど圧力差も大きくなるので、移動速度が大きくなると侵入率も低くなると推定した。

P : 流体のある点の圧力

P_0 : 流体が静止している時のある点の圧力

ρ : 流体の密度

v : 流体の流速

6. 充填前の移動速度が24m/分を越えると霧粒子の侵入率低下が鈍化する要因

今回使用した超音波で発生させた霧の粒子径にあると考えた。

すなわち、霧の粒子径が公称 $20 \mu\text{m}$ (\geq)ではあるが、実際にはこれより細かい粒子も多数含まれており、粒子の大きさによって重量に差があり、ベルヌーイの定理が働いたとしても、36m/分(0.6m/秒)程度の流速で生じる圧力差はわずかであり、軽い粒子の多くがボトル外へ吸い出され、重い粒子は主として付着し、ボトル外に出にくいと考えた。

そこで、付着した霧粒子とボトル外に吸い出されたと考えられる霧粒子の比率をFig. 6の結果から求めると、約1 : 1と推定され、36m/分の流速で生じる圧力差に影響されにくい重い粒子が、主としてボトル内に残るため、侵入率の低下が鈍化したと考えた。

7. 充填前における28φと38φの霧粒子の侵入率の比較

ボトルノズル内径が小さいとノズル頂部の内径断面積も当然狭くなり、38φより28φの方が侵入率は低くなる。また、ノズル頂部付近の内径（ノズル頂部から0.5mm下、ノズル部内径と略す）断面積は28φが約3.14cm²、38φが約7.07cm²で、38φに対して28φの断面積比は約0.44となり、理論的には断面積の比と侵入率の比は一致すると考えた。

しかし、移動速度毎に38φを基準として28φの侵入率の相対比を比較すると（Fig. 8）、無風状態ではほぼ一致するものの、移動速度が大きくなるほど28φの相対比が低下することを認めた。

このことから、移動速度が大きくなるほど微生物の侵入率が低くなることに加えて、28φは38φ以上に侵入しにくくなると推定した。

8. 充填前の移動速度により28φの相対比が低下する要因

結果と考察1.から、移動速度が大きくなるとノズル内面に付着する霧粒子が増加し、特に進行方向前方部のノズル内面に多く付着する。この場合、ノズル内面の面積が広いほど付着する面積も広くなり、一旦付着すると結果と考察4.のように、ノズル頂部を挟んで圧力差が生じて、吸い出されることがなくノズル内面に留まる量が多くなり、ノズル内面の面積が約24cm²の38φの方が、約16cm²の28φよりも多く付着すると考えた。すなわち、ノズル内面の面積の差が38φに対する28φの侵入率の相対比低下の要因と推定した。

9. 充填中の移動速度とボトル内への霧粒子の侵入率との関係

移動速度0m/分～36m/分の水平移動を想定し、28φと38φのボトルノズル部に外径13mm、15mm、17mmの充填ノズルを挿入した状態で、60℃～90℃の熱水2kgを10秒～30秒間で充填し、充填と同時に塩化ナトリウムを含む霧を20秒間噴霧し、ボトル内へ侵入した塩化ナトリウムをモール法で定量したが、28φおよび38φとも無風状態さらには36m/分までの移動速度でも、充填中に霧粒子の侵入は認められなかった。

そこで、熱水に代えて各充填速度に見合った空気をボトル内へ送気し、結果と考察1.2.と同様、ヨウ化カリウムデンプン反応を利用して、ボトル内への霧粒子の侵入状態を定性的に調べたが、いずれの条件下でも充填中の侵入は認められなかった。

このことから、従来使用している38φでの充填を28φに変更しても、充填中に微生物がボトル内へ侵入することはないと推定した。

10. 充填中のボトルノズル部付近の霧の流れ方

充填中の巻き込みによる霧の侵入が認められなかったことから、この巻き込み現象が起こらなかった要因を考えてみた。

まず、ボトルノズル部から吹き出る流体により、生じるボトルノズル部周辺の霧の流れ方を、目視方法で調べた。この場合、吹き出る流体の流速が最も大きい条件として、28φに外径17mmの充填ノズルを挿入し、熱水2kgを10秒で充填した時の充填速度で空気をボトル内へ送気して、結果と考察9.と同じ操作を行った（Fig. 9）。

ボトルノズル部から吹き出る部分に霧の見えない領域があり、そのすぐ脇に渦が生じることを確認した。また、その霧の見えない領域の形状がかなり安定していたことから、ボトルノズル部から吹き出る流体の性状は、流れの安定した層流と考えた。

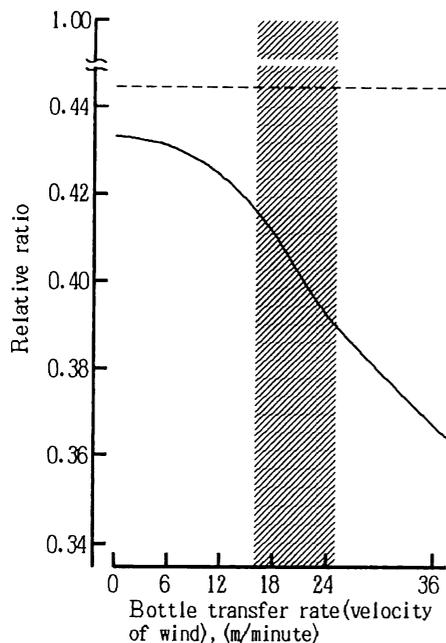


Fig. 8. Relative ratio of the degree of contamination in 28φ bottle to that in 38φ bottle (before filling)
 -----, area of horizontal cross section in 28φ PET bottle nozzle/area of the section in 38φ PET bottle nozzle.
 //, range of bottle transfer rate at production line.

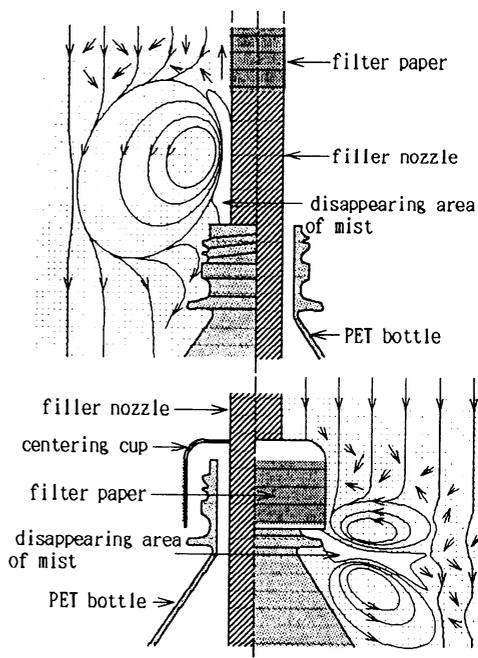


Fig. 9. Visual stream of mist around bottle nozzle during filling

11. 充填中に吹き出る流体の性状

流体力学では流体の種類に関係なく、レイノルズ数が2,100以下では層流、2,100を越えて4,000未満までは臨界域、4,000以上になると乱流になることが知られている。

すなわち、流れの安定した層流ではボトル内への巻き込みは起こらず、流れの不安定な臨界域では状況によって巻き込みもあり、乱流では常に巻き込みが起こると考えた。

レイノルズ数を式3から求める場合、流体が通る管内径 (D) を求める必要がある。

$$Re = D\bar{u}\rho / \mu \dots\dots\dots (3)$$

D : 円管の内径 (相当直径), m

\bar{u} : 平均流速, m/秒

ρ : 流体の密度, kg/m³

μ : 流体の粘度, kg/m・秒

ノズル部内径の断面積から充填ノズル外径の断面積を差し引いた有効断面積を求め、相当直径 (D) を算出した。また、有効断面積と体積流量から平均流速 (\bar{u}) を算出した (Fig. 10)。流体の密度 (ρ) と粘度 (μ) は化学工業便覧²⁾から引用した。

Fig. 10にみられるように、38φでは充填ノズルの外径が異なっても、平均流速にはほとんど差がなく、充填速度の影響の方が大きいのに対し、28φでは充填速度と共に充填ノズル外径の影響も大きくなった。

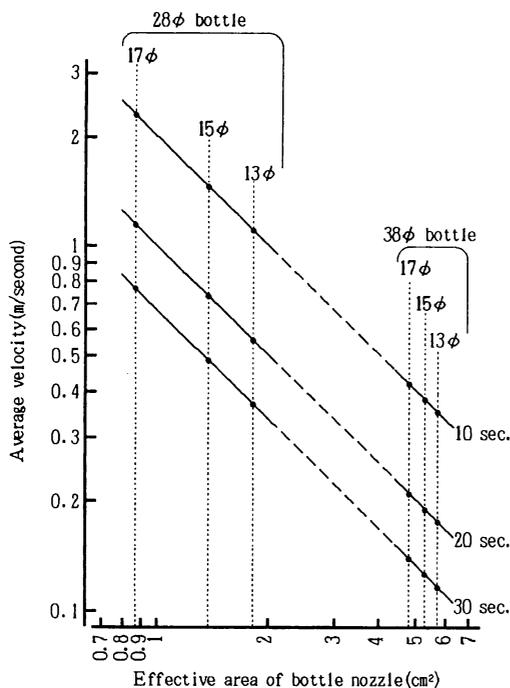


Fig. 10 Average velocity of fluid spouting out from bottle nozzle during filling

numerical value of 13φ, 15φ or 17φ showed an outer diameter of filler nozzle (mm) respectively.

numerical value of 10 sec., 20sec. or 30 sec. showed time for filling a bottle respectively.

container, 28φ, 2ℓ square shape PET bottle, 38φ, 2ℓ square shape PET bottle.

effective area of bottle nozzle, (area of section in bottle nozzle)-(area of section in filler nozzle).

そこで、28φと38φのボトル内に外径13mm, 15mm, 17mmの充填ノズルを挿入し、60℃～100℃の熱水2kgを10秒、20秒、30秒で充填したと仮定し、ボトルノズル部から吹き出る流体を空気または飽和水蒸気としてレイノルズ数を求めた (Fig. 11).

ただし、充填中に吹き出る流体は空気と水蒸気の混合気体であるが、算出が難しいので個々に算出し、得られた値の範囲内に実際の値があると考えた。

今回の実験での充填条件では何れもレイノルズ数は2,100以下で、すべて層流域にあることを確認した。また、ボトルノズル内の各部位を流れる流体について、実用的な充填温度でレイノルズ数が大きくなる70℃の空気と、90℃の飽和水蒸気についても算出した (Fig. 12).

いずれの部位でも2,100以下で、流れの安定した層流であることから、ボトル内への巻き込み現象が起こらなかつたと推定した。

そこで、吹き出る流体が臨界域に達する充填条件を算出してみた (Fig. 13).

38φでは2kgの熱水を2秒～3秒、28φでは4秒～6秒で充填すると、吹き出る流体のレイノルズ数が2,100を越えることを確認した。

すなわち、実際の充填ラインで充填速度を大きくした場合、吹き出る流体による巻き込み現象が起こりうる可能性があり、特に28φは吹き出る流体の流速が大きいため、充填ノズルの外径を細くするなどボトルノズル部の有効断面積を広くする工夫が必要になる。

12. 充填後における霧の噴霧時間とボトル内への侵入率との関係

28φと38φのボトル内に60℃～90℃の熱水2kgを充填した後、塩化ナトリウムを含む霧を10秒～20秒間噴霧し、ボトル内へ侵入する塩化ナトリウムをモール法で定量した (Fig. 14).

この場合、霧を20秒間噴霧した38φの無風状態での侵入量の値を基準値すなわち100%とした。噴霧時間とボトル内への霧粒子の侵入率は、28φおよび38φ共ほぼ直線関係にあり、侵入率が

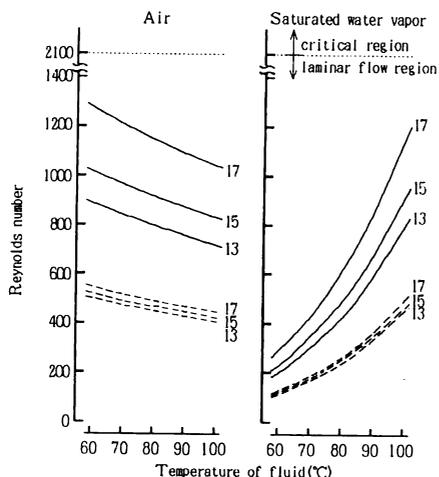


Fig. 11. Effect of outer diameter of filler nozzle and temperature of fluid on Reynolds number
 numerical value showed outer diameter of filler nozzle (mm),
 —, 28 φ, 2 l square shape PET bottle.
 - - - - , 38 φ, 2 l square shape PET bottle.
 filling rate, 200ml/second.

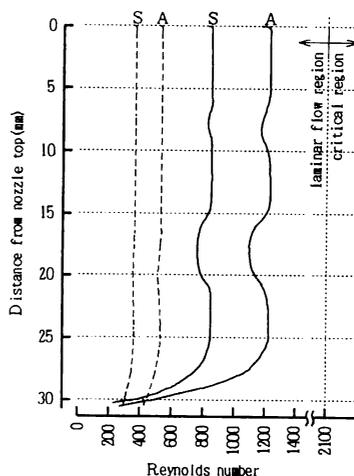


Fig. 12 Change of Reynolds number at different inside positions of bottle nozzle
 A, Fluid was air at 70°C
 S, Fluid was saturated water vapor at 90°C.
 —, 28 φ, 2 l square shape PET bottle.
 - - - - , 38 φ, 2 l square shape PET bottle.
 outer diameter of filler nozzle, 17mm.
 filling rate, 200ml/second.

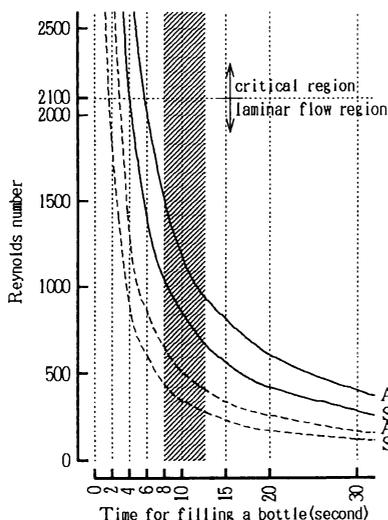


Fig. 13 Effect of filling rate on Reynolds number
 A, Fluid was air at 70°C
 S, Fluid was saturated water vapor at 90°C.
 —, 28 φ, 2 l square shape PET bottle.
 - - - - , 38 φ, 2 l square shape PET bottle.
 outer diameter of filler nozzle, 17mm.
 filling rate, 200ml/second.
 // // // , range of production line.

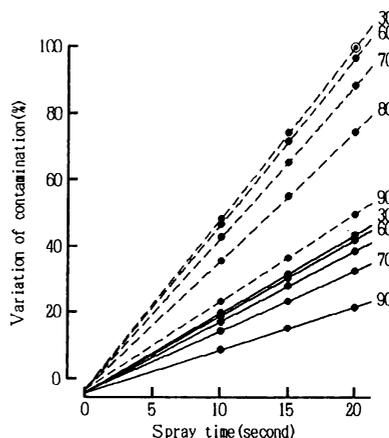


Fig. 14 Effect of temperature of liquid and time of spraying on contamination with mist particle (after filling)
 numerical value showed temperature of liquid (°C).
 ⊙, control (degree of contamination, 38 φ, 2 l square shape PET bottle, temperature of product, 30°C, spray time, 20 seconds).
 ●, (degree of contamination, 28 φ, 2 l square shape PET bottle/control) × 100.
 ●-●, (degree of contamination, 38 φ, 2 l square shape PET bottle/control) × 100.

噴霧時間に比例することを認めた。

ただし、直線を延長すると原点に収斂せず、若干のタイムラグが認められ、これは超音波吸入器の立ち上がりの遅れと、風洞装置内に霧が充満するまでの時間の影響と考えた。

また、充填温度が高くなるほど侵入率が低くなることを認めた。これは、温度により生じる上昇気流によって、ボトル内へ侵入しようとする霧が押し返されるため、温度が高いほど上昇気流の速度が大きくなるためと考えた。

別途、充填前の空ボトルに霧を噴霧した結果も、Fig. 14の結果のうち30℃(水)充填とほとんど同じ値と変化であった。さらに、ボトルの水平移動を想定した場合も、噴霧時間と霧粒子の侵入率の変化は噴霧時間にほぼ比例することを認めた。

13. 充填後の液温と移動速度による霧粒子の侵入率の変化

移動速度 0 m/分～36m/分の水平移動を想定し、28φと38φのボトルに30℃～90℃の熱水 2 kg を約20秒で充填した後、塩化ナトリウムを含む霧を20秒間噴霧して、ボトル内へ侵入する塩化ナトリウムをモル法で定量した (Fig. 15)。この場合も、霧を20秒間噴霧し、30℃充填した38φの無風状態での侵入量の値を基準値すなわち100%とした。

結果と考察4.の充填前と同じ傾向を示し、ノズル部内径断面積の狭い28φの方が38φより侵入率が低く、移動速度が速くなるほど侵入率も低下することを認めた。また、その要因も結果と考察5.6.同様、ベルヌーイの定理や霧の粒子径の差が影響したと考えた。

充填温度については、温度が高くなるほど28φおよび38φとも侵入率が低くなり、移動速度の影響も少なくなる傾向を認めた。さらに、24m/分を越えると充填温度による侵入率の差も小さくなることを認めた。

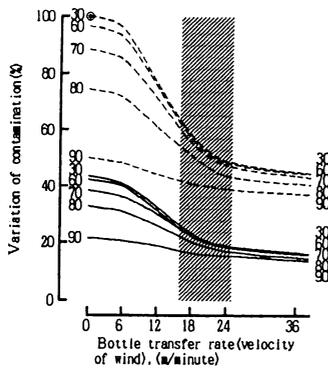


Fig. 15 Effect of temperature of liquid and bottle transfer rate on contamination with mist particle (after filling) numerical value showed temperature of liquid(℃).

- , control (degree of contamination, 38φ, 2ℓ square shape PET bottle, at a stop).
- , (degree of contamination, 28φ, 2ℓ square shape PET bottle/control) × 100.
- - - -, (degree of contamination, 38φ, 2ℓ square shape PET bottle/control) × 100.
- ///, range of bottle transfer rate at production line.

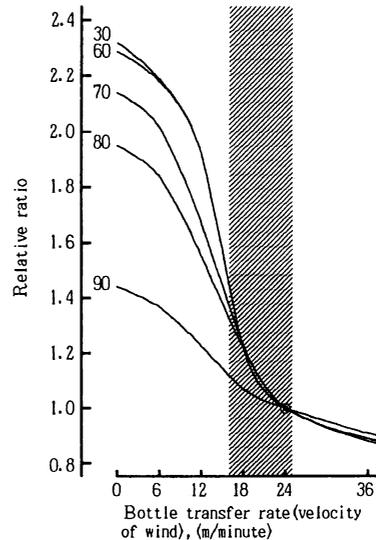


Fig. 16 Relative ratio of the degree of contamination at each bottle transfer rate to that at bottle transfer rate of 24m/minute(28φ, 2ℓ square shape PET bottle, after filling)

- numerical value showed temperature of liquid(℃).
- , control.
- ///, range of bottle transfer rate at production line.

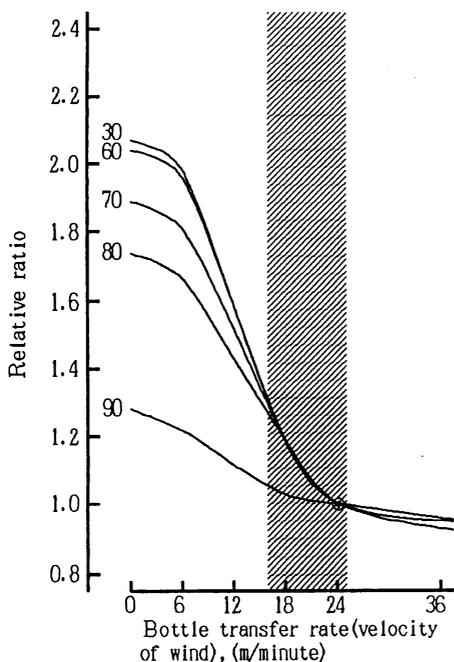


Fig. 17 Relative ratio of the degree of contamination at each bottle transfer rate to that at bottle transfer rate of 24m/minute (38φ, 2ℓ square shape PET bottle, after filling)
 numerical value showed temperature of liquid(°C).
 ●, control.
 //, range of bottle transfer rate at production line.

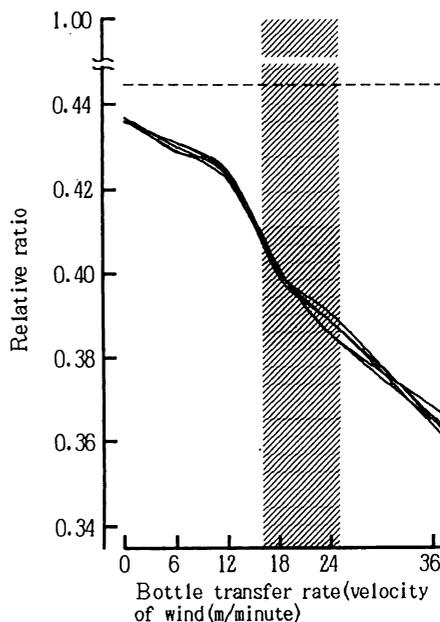


Fig. 18 Relative ratio of the degree of contamination in 28φ bottle to that in 38φ bottle at 30~90°C of temperature of liquid (2ℓ square shape PET bottle, after filling)
 -----, area of section in 28φ PET bottle nozzle/area of section in 38φ PET bottle nozzle.
 //, range of bottle transfer rate at production line.

また、24m/分を基準に相対比を求めてみると、30℃~80℃で充填した後、停止状態になると侵入率は28φの場合 (Fig. 16) 約2倍~2.3倍、38φの場合 (Fig. 17) 約1.8倍~2.1倍となり、90℃充填では28φが1.4倍、38φが1.3倍と低くなることを認めた。

このことより、実際の製造ラインの充填後において、充填温度が低く、ラインが停止状態にある時の微生物侵入率が最も高くなると推定される。すなわち、80℃以下での充填では微生物制御の効果が低く、充填後において移動速度の影響を受けないためには、90℃以上で充填を行う必要性を認めた。

また、移動速度毎に38φを基準として28φの侵入率の相対比を比較すると (Fig. 18)、充填温度に関係なくその比が一致することを認めた。ただし、ノズル部内径断面積の比と侵入率の比は、無風状態では一致しているものの、移動速度が大きくなるほど28φの相対比が低下することを認めた。この要因も結果と考察8.と同様、ノズル内面の面積の差が影響したと考えた。

ま と め

PETボトル詰飲料のホットパック仕様での充填および充填前後の工程をシミュレーションし

て、雰囲気中にある微生物のボトル内への侵入挙動を、塩素酸イオンまたは塩化ナトリウムを含む霧粒子（ $20\mu\text{m}\geq$ ）の侵入状態から推定した。

充填前において、ボトルが静止している時よりも水平移動している時の方が、ノズル部内面に霧粒子が付着しやすく、進行方向前方部のノズル部内面に特に多く付着したが、充填後も含めてボトルの移動速度が大きくなるほどボトル内への霧粒子の侵入率は低くなった。

また、ノズル外径 38ϕ よりも 28ϕ のPETボトルの方がノズル部内径断面積が狭い分、霧粒子の侵入率は低くなるが、移動速度が大きくなるほどノズル部内径断面積の比以上に侵入率は低くなった。

充填中にノズル頂部から吹き出る流体のレイノルズ数が層流域の2,100以下であれば、ボトル内へ霧粒子が侵入することはなく、この実験条件の範囲内で実測したレイノルズ数は大きく下回っていることから、微生物の侵入はほとんどないものと考えられる。

充填後の液温が高いほど霧粒子の侵入率は低く、液温が 90°C 以上では霧粒子がボトル内へ侵入しにくく、ボトルの移動速度の影響も小さくなるが、液温が 80°C 以下では微生物制御の効果は低く、低温充填においてラインの一時停止が微生物汚染の原因となる可能性がある。

文 献

- 1) 日本薬学会編：衛生試験法・注解，62～63(1980)。
- 2) 化学工業協会編：化学工業便覧より。