燃料噴射ポンプにおける気泡現象の研究⁽¹⁾

(昭和 16 年 6 月 13 日 第 397 回講演會に於て講演)

正 員 湯 本 清 比 古⁽²⁾

1. 緒 言

燃料噴射ポンプに於て高圧燃料管を取り外してカム軸を極めて静かに廻すと、小気泡が燃料と共に送出弁から出て来る。この小気泡の成分とその発生機構とに疑問を抱き題記の研究を始めたのである。

実験の結果に依れば、燃料中に溶解してゐる空気が、プランジャの吸込行程に於てポンプバーレル内の減圧のために游離するらしく、而して一旦游離した空気は送油ポンプの圧力 (1.5 kg/cm^2) 位では容易に元の如く燃料中に溶解せずに、ポンプの送油行程の始めに於て気泡としてバーレル内に残存するものと想像される。この気泡が多量に発生する時は噴射油量に影響することは勿論であるが、尙又噴射始めの時期にも影響するものと思はれる。この点に就ては目下実験を進めつつあるが、今回は該気泡の成分と発生機構の關して行つた実験の結果を報告する。

2. 実験装置及び実験

実験装置としては特に説明する程のものは無いが、気泡発生に直接關係あると思はれる燃料ポンプの主要部分の構造とその作動、気泡蒐集装置及び注射筒を用いた実験方法等に就て略述する。

(i) 燃料噴射ポンプの主要部分の構造と作動 第1図は実験に使用したポンプの主要部分の断面図である。プランジャ(1)は下方(図に示さず)のカム軸の回轉に依て昇降する。プランジャの上端が燃料入口(2)の上端迄押上げられると、燃料溜(3)とバーレル内(4)の燃料とが遮断されバーレル内の燃料の圧力が次第に高められる。送出弁(5)のばね(6)に依る送出弁の圧着圧力より高くなればバーレル内の燃料は送出弁を押上げて噴出を始める。適當量を噴出すると、即ち或高さ迄プランジャが上ると、その表面に穿つた螺旋形の溝がバーレルの溢出口(7)の下端に達し、バーレル内と燃料溜とは縦溝(8)に依て相通する事になる。従てプランジャは上昇しても燃料の送出は行はれず、バーレル内の燃料

第 1 図

は縦溝を通り溢出口より燃料溜へ押出される。つぎにプランジャが下降する場合を考へて見る。始めは燃料溜の燃料は溢出口から逆に縦溝を通じてバーレル内に流入するが螺旋形の溝の上端が溢出口の下端に達すると燃料溜とバーレル内とは全く絶縁されてしまふ。従て更にプランジャが降下してその上端が燃料入口の上端に達する迄はバーレル内はかなりの低圧になる訳である。プランジャの上端が燃料入口の上端より下方の位置に降れば入口から急激に燃料がバーレル内に流入して来る。但し図に示した如くに送出弁座(9)に吸込弁(10)を附する場合は勿論上記の如き低圧現象の起らない事は云ふまでもない。以上が燃料噴射ポンプの主要構造及びその作動の概略であるが、問題と思はれるのはポンプの吸込行程(即ちプランジャの下降行程)の後半におけるバーレル内に生ずる低圧現象である。

(ii) 小気泡蒐集装置 送出弁より噴射する小気泡量を測定するため第2図に示す如く円筒形の気泡蒐集筒(1)をポンプの出口栓に取付け、その上部にビュレット(2)を倒立して接続したのである。送出弁から送出される燃料は管(3)に導かれて蒐集筒の上部に押出され、気泡は除々に浮揚してビュレットに集りその体積はビュレットの目盛に依て読む事が出

第 2 図

第 3 図

来る。気泡を游離した燃料は下降して下方の出口(4)より流出するやうにしてある。

(iii) 燃料循環装置 燃料を大気にふれさせない様にしてこれを循環させ、小気泡の析出状態を調べるために第3図の様な装置を用いた。図中(m)はゴム膜であつて、ポンプにより断続的に送出される燃料に依て生ずる衝激波をゴム膜の伸縮によつて緩和させるやうにした。

(1) On the Phenomena of Bubbles in Fuel Injection Pump Oil.
(2) Kiyohiko Yumoto, Member, Kameari Works, Hitachi Ltd. 日立製作所員有工場。

[昭和 17 年 2 月]

(iv) 注射筒の実験 尚気泡発生の機構、その成分及び空気が燃料中に溶解する速度等を調べる目的で、市販の 10 cc 注射筒を使用して下記の如き実験を行つた。

(a) A 実験 予め燃料の一定量 (例へば 5 cc) を筒内に吸入して置いて吸入口 (第 4 図の S) を指頭にて密閉し、ピストン(P) を引き抜く様に急激に動かして筒内の燃料を低圧状態にしたのである。而してそのために筒内に生じた気泡

第 4 図

量とピュレットに移してその体積を測定した。云ふ迄もなくこの実験及び以下に述べる注射筒の実験は空気の筒内への漏入を防ぐために、試験燃料中に注射筒を完全に没入して行つたのである。

(b) B 実験 吸入口 (S) を指頭にて密閉し一定の位置までピストンを引き抜き筒内のその体積を真空 (但し燃料の當時の温度に相當する蒸気圧はある) にする。然る後指頭を放して燃料を低圧の筒内へ流入させる。かくしてこの際筒内に生ずる気泡量を測定することにした。

(c) C 実験 初めに燃料と或分量 (例へば 5 cc) だけ筒内へ吸入して置き、指頭にて吸入口を密閉し、一定位置 (例へば 10 cc 目盛の位置) までピストンを引き抜いて筒内を低圧にし、然る後指頭を放して燃料を流入させる。この際に筒内に生ずる気泡量を測定した。

3. 実験結果

(i) 燃料を循環した場合 第 3 図に示す如き装置で燃料と全く大気と遮断し、これを循環させて小気泡析出の様子を調べて見た。第 5 図はその結果を図示したものであつて、一定積算回転数毎にポンプを止めて発生気泡量を次々に測定したものである。実験回数を重ねるに従つてその気泡量が次第に減つてゐて、1 種の減衰曲線を示してゐる。然るに燃料が気泡蒐集筒より再びポンプへ戻る途中で大気中を滴下させると発生気泡量の実験回数による減衰現象は認められない。これ等の結果からして析出気泡の大部分は燃料中に溶解してゐる空気であつて、空気の溶解量が減するに従つて析出気泡量も減する事が想像される。

(ii) 抽気せる燃料を使用した場合 燃料を容積 5 l の壺に入れこれに真空ポンプを接続して燃料中に溶解した空気を

抽出し、然る後燃料をサイフォンにてポンプの燃料溜に送入するやうにして実験すると気泡は全く発生しない。云ふまでもなくこの場合は溶解した空気を抽出し得たと同時に又燃料中の気化し易い成分をも抽出してゐる。併し気泡量の大部分は空気であつて燃料のガスは少量である事は前実験及び後に述べる実験の結果から認め得られる。

(iii) 気泡の分析結果 上記の二つの実験で発生する気

第 5 図

泡はその大部分は燃料中に溶解した空気である事が推定されるが、尙念のために気泡を蒐集筒により多量に集めこれを分析しその成分を検定した。その結果はドラム罐から出した直後の燃料を使用した蒐集したガスも又 1 箇月余ポンプの性能試験に繰返へし使用した油から蒐集したガスも、我々が行つた程度の分析の精度では両者の差異を認める事は出来なかつた。即ち何れの場合も酸素 20.4% を含む気体であることが知られた。若しこれが大気と同成分であるとしたらこの気体は 97% 余は空気であると云へる。

(iv) 注射筒の実験の結果 気泡は燃料に溶解してゐる空気が遊離して来る事が以上の実験に依て明らかになつた。然らば如何なる機構で発生するものであるか又燃料中へ果して幾何の量が溶解してゐるものであるかを調べるために注射筒を用ひて補助的実験を行つた。

(a) A 実験の結果 予め注射筒内に 5 cc (10 cc の注射筒であるから 10 cc 燃料を入れたのではピストンを充分に引き抜く方向に動かせない。従つて充分なる減圧状態にする事が出来ない) の燃料を充し、吸入口を指頭にて密閉した儘ピストンを引き抜く方向に急激に数回動かし、その結果筒内の燃料より遊離せる気泡量を測定して見た。実験に使用した燃料は軽油 (日石二発) 及びガソリンであるが、比較のため水に就ても試みた。その結果は軽油に於ては母液 5 cc に対し発生気泡量は約 0.05 cc であつて気泡量の母液に対する体積比は 1% である。ガソリンの場合は母液 5 cc に対し気泡量は 0.25 cc であつて体積比は 5% であつた。気泡量は勿論母液の温度に影響されるのであるが、上述の場合は母液の温度は何れも 15.5°C で実験を行つたのである。水は大気圧にて 20°C の時は約 1.8% の空気を溶解してゐるのであるが、我々が井戸の水を用ひて行つた実験では

発生気泡量が微量のため測定し得なかつた。

(d) B 実験の結果 注射筒の吸入口を指頭で密閉し一定の位置までピストンを引き抜き、その引き抜いた体積を一定 (10 cc) に保ち然る後指頭を放して燃料を筒内へ流入させ、その時に生ずる気泡量を測定した。その結果は軽油の場合は母液に対する発生気泡量の体積比は約 3.3%，ガソリンは 9.0% であつて、井水の場合は 1.1% であつた。

(e) C 実験の結果 この実験は燃料ポンプの吸込行程の状況に似た条件である。即ち予め燃料の一定量 (5 cc) を筒内に入れて置いて吸入口を指頭にて塞ぎ、尚ピストンを引いて 10 cc の目盛の位置迄抜き、直ちに指を放つて燃料を流入させる。その場合に生ずる気泡量を測定すると、軽油に於ては母液に対する発生気泡量の体積比は約 3.0%，ガソリンでは 8.6%，水の場合は 0.7% であつた。

上述 A, B 及び C の各実験の結果は燃料中に溶解してゐる空氣が全部游離析出された訳ではなく、適當な条件で実験を行へば更に多量の空氣を析出することが出来ると思はれる。

尙この注射筒の実験に於て興味ある点は、A 実験の発生気泡体積比と B 実験のそれとがかなり差異のあることである。例へば 5 cc の軽油を注射筒内に充しピストンを引き抜くやうに動かして数回減圧状態にしても発生した気泡量は 5 cc の母液に対し約 1% であるが、B 実験に於て減圧状態 (眞空) へ注入した時は母液約 7.7 cc に対して 3.3% もの気泡を游離析出してゐる。これは前者の母液は殆ど静止してゐる減圧状態にされるが、後者の母液は著しい運動をし乍ら減圧状態に置かれてあるためと思はれる。又 C 実験に於ても指頭を放して約 5 cc の燃料を流入させるために既に筒内にある 5 cc の燃料も攪拌される。従て気泡も既に筒内にある 5 cc の燃料からも多量に発生するらしく、その発生量は B 実験の値に近いものになる。即ち母液を静止して置くよりも振蕩攪拌状態にて減圧した方が気泡が容易に游離するらしい。そこで次の如き簡単な実験を行つて見た。

蒸溜フラスコに適量の燃料を入れ、これに水銀圧力計と眞空ポンプとを接続し、フラスコ内を排氣して燃料より気泡の生じ始める時の壓力を調べて見た。軽油 (日石二発) の場合は 37 cm Hg, ガソリンは 46 cm Hg の壓力で気泡が発生し始めた。燃料を振蕩した場合は夫々 52 cm Hg 及び 62 cm Hg であつた。これ等の限界壓力値は油温その他僅かの条件の違いで値も違つてくるが、大体の傾向としてガソリンは軽

油よりも容易に (即ち減圧の度が少くて) 気泡が発生し、燃料も振蕩した場合は静止した時より遙かに気泡が発生し易い事を示してゐる。

(v) 予め抽気せる燃料に就て注射筒実験の結果 試験しようとする燃料を眞空ポンプを用ひて 50 mmHg 位の壓力にて 10~30 mm 間抽気し、それをサイフォンを用ひて出来るだけ空氣に曝さない様にして容易に移し、その燃料に就て注射筒による実験を行つた。容器は 280×220×95 mm の瑤瑯引平型バットであつて、それに 4~5 l 抽気した資料を移注したのである。従て直接大氣に接してゐる面積は約 600 cm² である。抽気した軽油を容器に移注して直ちに注射筒にて実験を行つても気泡は殆ど発生しないが、暫く放置しておくとなぜか発生するやうになつてくる。第 6 図は軽油に就て行つた C 実験の一例を示したものであつて、縦軸に発生気泡量を取り横軸には抽気した燃料を実験容器に移注してから時間をとつた。尙直線 *ab* は燃料の抽気を行ふ前に C 実験を数回繰返して行つたものの平均値であつて比較のために記入した。

第 6 図

第 7 図

同様な実験をガソリンに就ても行つて見た。その結果は第 7 図である。*ab* 線は前回と同様に燃料の抽気前に行つた実験の平均値である。これ等の実験の結果から次のやうな事が云へる。即ち一旦抽気した燃料を暫く大氣中に曝せば従前通りに空氣が燃料中に溶解し、殊にガソリンに於てこの現象が著しいことも注目すべき事である。又抽気直後に於ては全く気泡の発生を認められないが暫く大氣に曝して置けば抽気前と同程度の気泡が発生することは気泡の大部分は

空氣であることの証左である。

(vi) 燃料を大氣圧 (の燃料中) へ噴射した場合 注射筒の実験は大氣圧から眞空 (壓力差約 1 kg/cm²) へ流入する場合の実験であるが、数 kg/cm² の高壓から大氣圧にある燃料中へ流出する時も気泡が発生するかどうかを調べて見た。厚さ 2 mm の黄銅板に直径 1 mm の孔をあけ、これを噴出孔として試みた。この噴出孔を用ひ流出側を眞空にし壓力側を大氣圧にして実験するとかなりの量の気泡が発生するのであるが、流出側を大氣圧に保ち壓力側を 3~5 kg/cm² 位の壓力にしても殆ど気泡は発生しない。気泡発生現象は噴出孔における平均流速による事は云ふまでもないが噴出孔の形や孔の内面の仕上程度等にもかなり影響されるものと思はれるから、一概に壓力差のみで気泡発生の有無は断定されない。

我々の実験に於てポンプの送出弁から燃料が送出される時

[昭和 17 年 2 月]

は、パーレル内の圧力増加によつて送出弁を押し上げその細孔を通つて大気圧にある燃料中へ噴射されるのであつて上述の実験に似た状態である。従つてポンプの回転数 (rev/mn) の少い場合や噴射油量の少い時は、送出弁の処では気泡は殆ど発生しないか或はしても極めて少いものと想像される。併し噴射油量の場合や毎分回転数の大なる時は、燃料が送出弁から送出される速度も増大されるから、送出弁に於て気泡が発生する可能性は充分ある訳である。

(vii) 燃料ポンプに就ての実験結果 上述の補助的実験の結果から気泡は主として燃料に溶解してゐる空氣の游離析出に基づくものであり、一度空氣を游離した燃料もこれを空氣に充分曝す事によつて再び元の如く空氣を溶解し得る事が明らかになつた。依てこの点(燃料を空氣に曝すこと)に留意し、ポンプから噴射された燃料は空氣中を滴下させ尙容積 5 gal 程のタンクを途中に置いて充分に空氣を溶解させるやうにして燃料を循環使用して実験を行つた。

第 1 図に於て示す如く送出弁座 (9) に吸込弁 (10) を設置してあるものに於て、この吸込弁を働かせた時と吸込弁座 (11) を取り外して盲栓をこれに捻込んだ場合とに就て比較して見た。第 8 図はポンプの毎分回転数を一定 (890 rev/mn) にして燃料調整桿の位置をかへた時に生ずる夫々の気泡量を調べた結果であつて使用した燃料は輕油である。

吸込弁を作動させた場合と作動させない場合(盲栓を捻込んだ場合)とに就て考へて見れば、前者は吸込行程に於てパーレル内が大気圧より減圧されることは無いが、後者(盲栓の場合)に於ては燃料の漏洩等が無いものとすれば吸込行程の後半は、燃料のその時の溫度の蒸気圧までは減圧される泡である。併し実験の場合は燃料の漏洩も多少はあり、又燃料の蒸気が果して短時間に蒸発して飽和状態に迄なるかどうか疑問であるから、吸込行程の最後の圧力はどの程度に減圧されるものであるか予想はし難いのである。併し注射筒の実験の場合よりは漏洩も少なからうし、又燃料が蒸発する事も少なからうと思はれる。従て注射筒の場合よりは遙かに低圧になる事だけは想像される。故にこの実験に於ても吸込弁を作動させない時は、時間的には極く短い間ではあるが注射筒を以て行つた A 及び C 実験を全く同様な状態になる訳で

あり、その時に気泡が游離するものと思はれる。

実験の結果は上述の考察の通り前者(吸込弁を作動させたとき曲線 I) は後者(吸込弁のない場合、曲線 II) に較べて気泡量が遙かに少く、調整桿の位置に依て $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ 位に減じてゐる。併し吸込弁を作動させる事によつて気泡量は減じたが尙かなりの量の気泡(曲線 I にて表はされたもの)が発生してゐるのである。然らばこの場合気泡は如何にして又何処で発生したものであるか考察を下して見る。吸込弁のばねは非常に弱いものであつて、而も燃料溜の油圧は 1.5 kg/cm^2 位であるから、單位時間當りの燃料の吸込量の少い時は途中で挟搾される様なことはないが、吸込量の多い時は吸込弁及び送出弁等の構造上それ等に挟搾されてパーレル内が吸入行程に於て大気圧より低圧になる可能性はある訳である。従て吸込弁を作動させても噴射油量の多い時には吸入行程に於てパーレル内で多少は気泡を発生するものと考へられる。然らば曲線 I で示す気泡量は全部上述の考察の如くパーレル内で発生したものを見るべきかどうかは問題であつて、或はその大部分が噴射行程に於て送出弁から燃料が送出される時に送出速度の大なるため、區域的の負圧を生じてそれによつて発生したものであるかも知れない。これ等の点に就ては尙実験的の実証を得た上でないとして断定し難い。併し少くとも曲線 II と I との差に相當す気泡量だけは吸込行程に於てパーレル内で生じたものと見て差支ない様である。

4. 結 言

上述実験の結果を総括要約すれば次の様である。

(1) 吸込行程に於てポンプパーレル内に眞空を生ずる様な機構になつてゐる燃料噴射ポンプは送出行程に於て送出弁から燃料と共に気泡をも送出する。

(2) 送出される気泡量は燃料の種類その他の条件に依て異なるが、輕油(日石二発)を用ひた場合は燃料噴射量の 1% (体積比) 以下である。但しガソリンを用ひた場合は発生気泡量は遙かに多いのであるから従て体積比も増加する訳である。

(3) 送出される気泡の成分は主として空氣であり、これは予め燃料中に溶解してゐたものである。

(4) 気泡はポンプの吸込行程に於てパーレル内に生ずる眞空によつてその大部分が発生し、次の送出行程に於て送出弁から燃料と共に送出される。

(5) 燃料(輕油・ガソリン等)中にはかなり多量の空氣が溶解してをり、それが僅かの減圧(大気圧より)に依て容易に游離析出する。

以上は燃料油の空氣含有事實に就て質的に述べたに過ぎないが、これ等の現象が燃料噴射ポンプの性能に及す影響に就ては更に実験を進め、何れ報告する心算である。こゝに未完成の研究の中間報告をし、燃料噴射ポンプの設計及び製作に携はる諸彦の御批評を仰ぎ、又多少なりとも設計製作上参考とされる事があれば筆者の幸これに過ぐるものはない。

(昭和 16 年 11 月 20 日受付)

第 8 図