

## 茂原ガス田における坑底圧力測定結果

石和田 靖章\* 本島 公司\*\*

### Bottom-hole Pressure Survey in Mobarra Gas Field, Chiba Prefecture

by

Yasufumi Ishiwada & Kōji Motojima

#### Abstract

This paper is a preliminary report on the reservoir pressure in the Mobarra gas field. This time three wells are studied by using Amerada RPG-3 type instrument, and the results are graphically shown in Figs. 2~4.

In the main producing zones which comprise the middle and lower parts of Umegase formation, the present reservoir pressure is 10 kg/cm<sup>2</sup> or more lower than the initial one.

At one of the flowing wells, the issue of free gas into casing pipe is recognized from the upper part of producing zones.

Comparing the specific productivity index of field data with the permeability obtained from the core testing, it is suggested that all of the reservoir sand layers do not necessarily act as producible reservoirs.

#### 要 旨

茂原ガス田の坑底圧力を調査した結果、次のことが推論された。

1) 現在の主力採取層(梅ヶ瀬層中・下部砂泥互層の砂層を主とする)の圧力は、静水圧に較べて 10 kg/cm<sup>2</sup> 以上低下しており、またその程度はガスの産出状況とも対応するようにみえる。

2) 自噴井の一例では採取層上部に遊離ガス (free gas) を顕著に産するようになったものが認められる。

3) 目安の計算を行なつてみると、砂泥互層の全砂層が必ずしも採取有効層になつていないようにみられる。

#### 1. 序 言

一般の水溶型ガス層の開発技術においても、坑底圧力の測定が大切な価値をもっていることはいうまでもない。すなわち水の産出指数 (productivity index, PI), 比産出指数 (specific productivity index, SPI), 累計産出水量——産出ガス水比——坑底圧力の減退の関係、などを知ることは、単にガス層を油層工学的に取り扱うさいに必要とされるばかりでなく、ガス層の地質学的性状

を知るうえにも重要な手掛りを与えるものである。とくに茂原ガス田のように、開発の進行とともにガス水比が急速に上昇してくるガス層については、ガス(水)の産出機構を推測するために、坑底圧力の測定は欠くことのできない作業の一つにあげることができる。

従来南関東の諸ガス田では、坑底圧力は直接測定されたことがなく、湛水面の測定、あるいはリフト採取井の場合、圧入ゲージ圧力の記録によつて推定されていた。しかしガス水比の高い自噴気味の坑井または自噴井では湛水面の測定が実際上困難であり、また、たとえ測定してもガス泡の影響によつて管内液柱比重が減少するために、推算された圧力は過大になる嫌いがあつた。同様にゲージ圧力による推定は、静止状態あるいは産出状態における管内圧力勾配の見当がつかない限り、測定値の意義が判然としない欠点をもっている。

この報告は茂原ガス田において、初めて行なつた坑底圧力測定結果について概略を述べるものであるが、今回の調査目的は、このガス田において将来この種の測定作業を続けてゆくために必要な、操作技術上の知識を得ることを第一義とし、そのほかに次の小目的も含んでいる。すなわち、茂原ガス田においては累計産出水量の増大に伴い湛水面の低下が激しく、かつガス水比が急速に高騰することが知られている。この現象はガス田内に一様の

\* 燃料部

\*\* 技術部

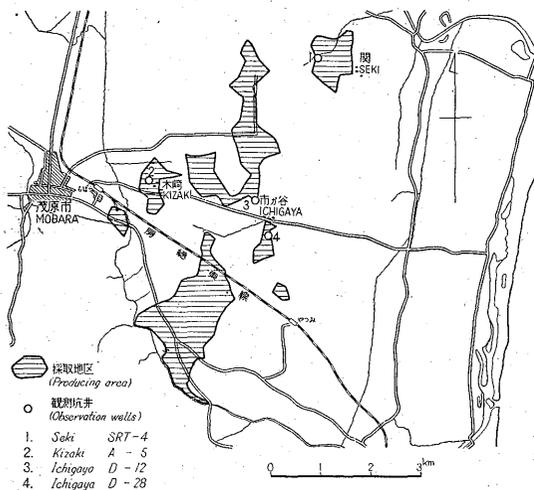
過程をとらず、地域性が漠然と認められるが、一方採取井は長孔明管を挿入しているために、層準あるいは深度にも関連した現象であるか否かはわからなかつた。そこで適当な採取ブロックを選び、第一に坑底圧力そのものがいかなる値をもっているかを実際に確かめ、次に測定された圧力勾配から、とくに free gas を多量に形成しているガス層が、この測定方法によつて探知しうるか否かを検討しようとした。現場作業に関するテクニック上の問題は特別に報告に記載せず、後者に関して次節以下に予察的に述べる。

坑井を休止する測定作業を快諾され、かつ現場作業に多大の御協力を賜つた関東天然ガス開発株式会社に深謝するとともに、さらに最近の新らしい知見を教示していただいた本社技術部調査課各位の御好意に厚く御礼を申し上げる次第である。

### 2. 測定方法

測定器はブルドン管 (Bourdon's tube) 圧力計の一種である Amerada RPG-3 型ゲージで、精度は full scale value の 0.2% とされるが、使用した圧力エレメントの測定範囲は 0~2180 psi (大略 0~153 KSC) のものである。記録読取りは輸入した同器付属の chart-reader によつたが、上述した圧力測定器との組合わせにおける読取り誤差は圧力換算で  $\pm 0.7$  psi ( $\approx 0.05$  KSC) 程度であり、また、圧力換算にさいして入り込みうる計算操作上の誤差は、1600 psi ( $\approx 112$  KSC) 以下のときほど 3 psi ( $\approx 0.21$  KSC) を超えない。

測定坑井は 3 坑であるが、地域的産出状態・坑口設備・坑井記録および坑口標高既知のいかんによつて、関東



第 1 図 茂原ガス田  
Mobarra gas field

天然ガス開発株式会社の近年掘さくした新開発地区の坑井群中から選択した (第 1 図参照)。

木崎 A-5: 自噴しないがガスリフト井分布地区の代表。茂原ガス田の比較的西縁に近い地区で、旧開発地域に隣接する。

関 SRT-4: 自噴気味のガスリフト井群の代表。新開発地区の最北部にあり、down-dip side にあつていて、産出初期に較べて次第にガス水比が高騰してきている。

市ヶ谷 D-12: 自噴井の一例として選定した。新開発地区の比較的 up-dip 側にあり、ガス水比の高騰によつて最近自噴井となつた坑井。

以上の測定井はすべて 200 m 余 4 $\frac{1}{2}$ " C.P. を挿入し、その下位は 2 $\frac{1}{8}$ " T.P. を接続し、孔明管部の長さは 200 m 余となつている。そこで静止 (密閉)、圧力 (Ps)、産出圧力 (Pf) と原則として孔明管部は 50 m ごとに測定し、さらにリフト管端と孔明管部上端との間も適宜測定した。その他坑口設備等の関係で完全な密閉静止圧力勾配の測定が困難であることも予想されたので、産出水の比重も参考のため測定した。なお、SRT-4 は Pf 測定後運転を停止し (坑口開放)、坑底圧力の build-up curve も記録した (使用時計は 12 時間用)。

### 3. 測定結果

第 2~4 図は測定結果を图示したものである。各図において Ps が直線となつていないのは、リフト井においては坑口ゲート・バルブ (gate valve) を欠き、また自噴井においてはゲート・バルブの公称耐圧力一杯に圧力上昇したため、僅かにガスを流出させながら測定したことにも原因している。すなわち、逸出するガス泡によつて、管内液柱の上部は見掛け比重が次第に減少しているためである。そこで静止圧力勾配を大略知るため、産出水の比重 (第 1 表) と測定した Ps の最深測定値を基準として計算で求めた静止圧力勾配を図上に描いた。

第 1 表 産出水の塩素度 (g/l) および比重

坑井名	塩素度	d <sub>4</sub> <sup>18</sup>	計算静止湛水面* (m)
A-5	16.136	1.0183	-113.2
SRT-4	19.159	1.0219	-143.5
D-12	13.418	1.0156	-141.5

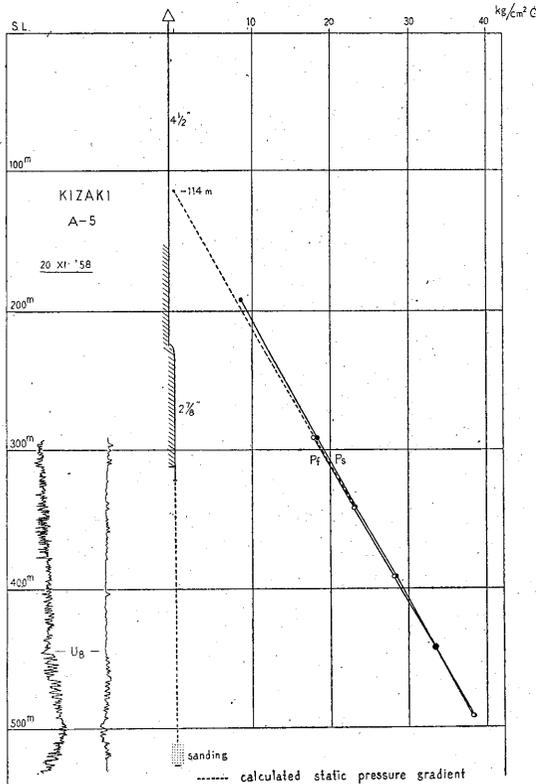
\* 海水準基準

各坑井の初産時およびその後のガス水比の変化を示すと第 2 表のとおり、非自噴、自噴気味、自噴の各段階によく対応している。

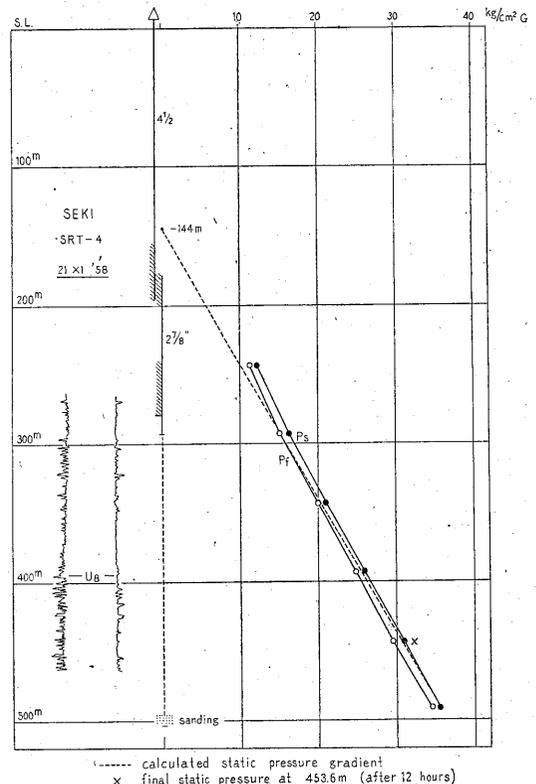
茂原ガス田では湛水面低下に伴いガス水比が上昇し、

第2表 産出ガス水比

坑井名	初産時 (年月)	Jan. 1958	May, 1958	Sept. 1958	Jan.~Feb. 1959	現在採取法
A-5	13.7 (Apr. 1958)	—	—	12.8	10.0	ガス・リフト
SRT-4	3.2 (Mar. 1957)	5.2	—	11.2	15.4	ガス・リフト(自噴気味)
D-12	5.2 (Sept.1957)	8.0	14.5	(密閉)	23.7	自噴



第2図 A-5 井における Ps, Pf 曲線  
Observed Ps & Pf curves of A-5 well

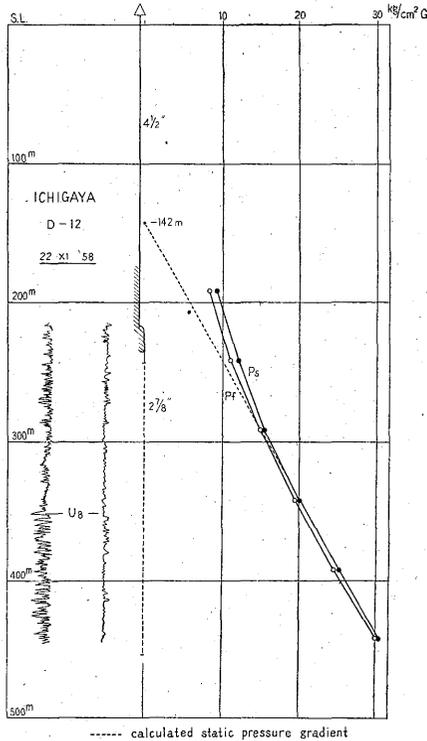


第3図 SRT-4 井における Ps, Pf 曲線  
Observed Ps & Pf curves of SRT-4 well

リフト井も次第に自噴井に遷移する例が多いが、計算湛水面の値は第2表と比較的よく対応した値を示している。しかし、僅かながらより計算湛水面の低下している SRT-4 が、D-12 のように自噴してないのは、ガス水比の差ばかりでなく、第3図と第4図とより明らかな実測 Ps 勾配と計算 Ps 勾配との関係の差に原因が反映していると推定される。すなわち D-12 においては 300m 以浅の孔明部分において、実測 Ps 勾配が著しく急であるが(換言すると液柱比重が小さい)、これは坑口をほとんど密閉している、なおこの部分から著しくガスのみを産出していること、すなわち実際ガス層圧力は計算 Ps 勾配より大きく、かつガス層の水飽和率が低下していることを示しているものであつて、SRT-4 においてはこのような特定の著しい free gas 産出部分は認められな

い。

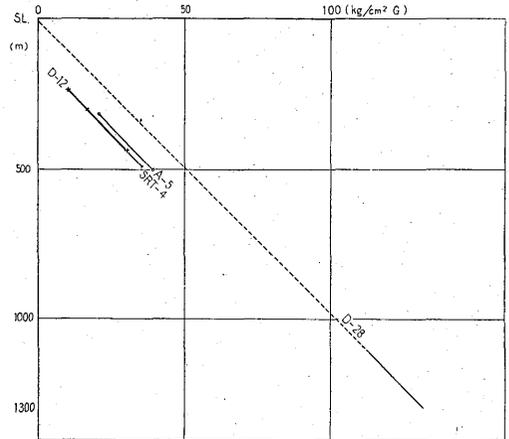
われわれの作業においては、諸種の事情から坑井を充分密閉休止させて Ps を測定しえなかつたので、Ps とはいうものの、真の静止坑底圧力とはかなり異なつてることが予想される。たとえば SRT-4 の測定記録では、測定深度 450m において Pf=29.58 kg/cm² (ほぼ正常な揚水量に達しているときの測定)となつていますが、リフト停止後 1.5 時間で Ps=31.13 kg/cm²、約 12 時間後に 32.18 kg/cm² となつている。なおこの坑井は自噴気味の傾向をもつているが、450m に測定器を放置した記録では、リフト停止後急速に湛水面を回復した後 (Ps=31.48 kg/cm² まで)、約 1 時間の周期をもつて短時間の圧力降下を繰り返しつつ、全体として湛水面を回復している。もし Pf 測定時における draw-down を ( $\Delta P =$ )



第 4 図 D-12 井における Ps, Pf 曲線  
Observed Ps & Pf curves of D-12 well

$P_s - P_f = 32.18 - 29.58 = 2.60 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$  とするならば、 $PI = 55.8 \text{ (kl/day/KSC)}$  であるから、各周期ごとの平均圧力降下が約  $0.915 \text{ kg/cm}^2$  であることは、休止中でも数  $\text{kl/day}$  位の flow rate で水の間欠産出があつたことを示している。

A-5 の Pf 測定時において、draw-down がほとんど認められないのは揚水量が  $11 \text{ kl/day}$  にすぎなかつたためである。SRT-4 と異なり、計算静圧力勾配と  $P_s$  曲線とが孔閉部で良く一致していることは、坑井休止状態で著しい free gas の産出しないことを意味している。もつとも測定中数分おきにガスのみ少量間欠産出していたが、その影響は盲管内で実測  $P_s$  曲線が計算圧力勾配より次第に離れていることに示されている。すなわち、slip して上昇するガス泡のため液柱比重が低下しているためである。本坑井は初産ガス水比は高いが、その後同程度ないし低下気味で (第 2 表)、計算湛水面も  $-114 \text{ m}$  と他よりも高くなつている。作業終了後の直接調査結果では  $-87.50 \text{ m}$  となつているが、これはさらに水頭が回復したばかりでなく、管内上部の液柱比重が小さくなつているため、過少に測定されているためと推定される。なお同様なことは SRT-4 でさらに著しいといえるのであつて、自噴気味の坑井では通常の水頭調査が真の



第 5 図 孔閉管部分の静止圧力勾配  
Static pressure gradient for producing zones

水頭を著しく浅く見誤るおそれのあることを証明している。

D-12 では実測  $P_s$  曲線が  $300 \text{ m}$  付近より計算  $P_s$  直線を離れ、著しく急勾配となつている。これはすでにふれたように、僅かにガスが逸出している状態で測つたことにも起因しているが、水は流出していなかつたのであるから、 $300 \text{ m}$  以浅の孔閉部で free gas が顕著に産出していることを意味している。坑底 ( $450 \text{ m}$ ) における測定をみると、 $P_s$  最終値は密閉後約  $1\frac{1}{3}$  時間、 $P_f$  は産出開始後約  $2\frac{2}{3}$  時間で、時間的に充分であるといえないが、なお  $\Delta P$  は  $0.49 \text{ kg/cm}^2$  で SRT-4 の記録 (とくに停止後の pressure build-up curve を参照して) に較べ小さい。しかし  $P_f$  測定時には  $110 \text{ kl/day}$  の水の産出があつたから、水の産出指数は SRT-4 に比較し著しく大きいことになる。いま、目安の見当をつけるために、有効層厚を D-12 で  $90 \text{ m}$ 、SRT-4 で  $70 \text{ m}$  とし、SPI を計算すると次のようになる。

$$\text{SRT-4} : 0.15 \text{ (cc/sec/KSC/cm)}$$

$$\text{D-12} : 0.28 \text{ (cc/sec/KSC/cm)}$$

Darcy の定常放射状流の式に従つて産出するとし、次式で  $r_e = 9000 \text{ cm}$ 、 $r_w = 2.5 \text{ cm}$ 、 $\mu(\text{cp})$  と  $\beta$  (formation volume factor) とをともに 1 とし、また  $k$  (水浸透率) は従来のデータから  $1 \sim 2 \text{ darcys}$  と思われれるが、一応 1 darcy とそれぞれ仮定してみると、

$$\frac{2\pi k}{\mu \beta \log \frac{r_e}{r_w}} \div 0.7 \text{ (cc/sec/atm/cm)}$$

となる。ゆえに実測 SPI は著しく小さいという見当になる。したがつて、坑底圧力の測定結果からは全砂層が水産出に“有効”ではないと推測され、かつ SRT-4 の方がより“有効”砂層に富んでいるか、または D-12 においては、たとえば小断層などの fracture が影響を及

ぼしているかも知れないと予想されよう。なお、砂層の性質の均斉性、 $k$  を水飽和率 100% として仮定した点は地質状況、産出ガス水比、今回の記録などを総合的に勘案し、目安の数字を得る目的に対して著しく誤りをおかしてはいないと考える。

以上述べたように当地域の主要開発層位である梅ヶ瀬層中・下部を仕上げた坑井では、著しく層内圧力の低下していることが明らかになり、かつこれがガスの産出状況の変化に関係があるように推測される。ガス水比の上昇が層内圧力の急速な低下に関連することは、一見 depletion drive の要素が産出過程に大きく関与しているようにみえるが、多数の地塊に断裂した地層中に介在する半密閉的水溶型ガス層において、単に採取速度の早いことが depletion drive 的要素を強くしたものとは考えられない。断層などの fracture system が単に流体の流れを阻害するばかりでなく、一面においてその通路となりうるため、ガスあるいは高いガス水比を有する水を低圧ガス層内に導いて、ガス水比の上昇をきたす可能性も考えられるが、次の事実から現主力採取層直下のガス層の性状を知ることが先決である。すなわち、最近高い産出ガス水比を有する地域中(市ヶ谷地区)に大原層のみを

採取層とする探掘・観測井が竣工したが、初産ガス水比は約 1.5、約 2 万 kl 水を産出した後約 3.6 に上昇し、また初産当時の  $P_s$  はほぼ静水圧に近い値を示していること(第 5 図参照)が会社側の測定で明らかになった。このような観測結果が地域的、深度(層位)的に多く知られるようになると、上述の問題を解明してゆく一つの手掛りを与え、鉱量計算あるいは採取方法の改善に資することが大きいであろう。

#### 4. 結 言

今回の調査は茂原ガス田における坑底圧力測定の最初の試みであつたが、その結果、現在の主力採取層の層内圧力の一端を明らかにし、ガスの産出との関係の一端も知ることができた。今後さらに、地域的にこの種の測定が行なわれ、field pressure の分布が知られるようになると、これとガス・水の産出とから reservoir performance を予測しうるようになることも期待しうる。このガス田では長孔明管井が原則であるから、坑内流量測定・坑内試料採取などが併わせて実施されれば、この目的に一層有効であろうと考えられる。

(昭和 32 年 3 月調査)



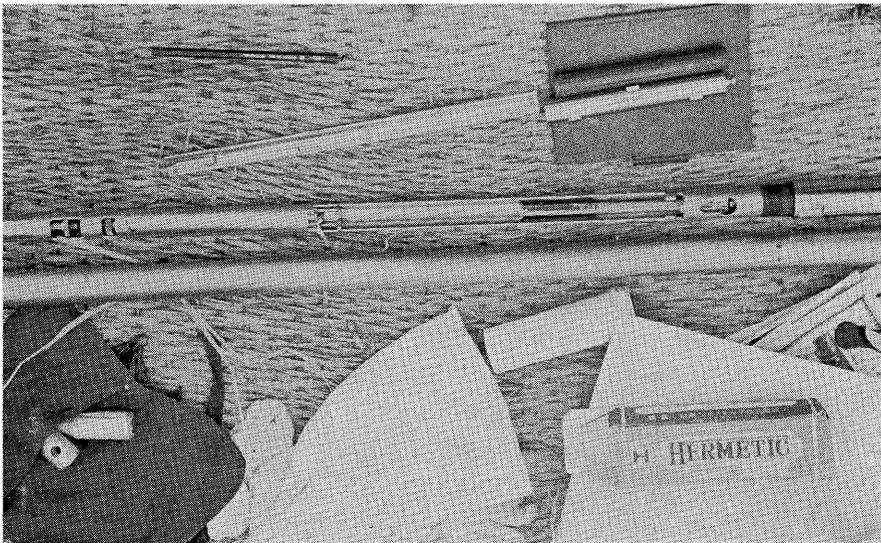
図版1 木崎 A-5 井における坑底圧力の測定  
 Bottom-hole pressure survey at Kizaki A-5 well  
 1: Lubricator 2: Winch with gasoline engine



図版2 坑口における器械の設置  
 Setting of instrument at casing head  
 1: Amerada RPG-3 type instrument



図版3 アメラダ RPG-3 型測定器の外形  
External form of Amerada RPG-3 type instrument  
1: Recording part 2: Pressure element



図版4 アメラダ RPG-3 型測定器の内部  
Inner form of recording part of Amerada RPG-3 type instrument