

# ロクーン用気球の帯電について

岡崎 三郎・岡本 智・相原 公一

## 1. 緒 言

ロクーン用気球ではその材質たるポリエチレンの持つ高絶縁性のため種々の原因によりかなりの帯電が予想される。この帯電量が十分大きくなると、局部的なコロナ放電あるいは火花を発生する心配があり、多量の水素を使用しさらにロケットを取り扱う関係上非常に危険性が予想される。火花放電による水素の着火の可能性については古くから多くの研究があるが、B. Lewis and G. Elbe の報告<sup>(1)</sup>によると着火に要する最少エネルギーはおよそ 0.2 mJ (水素 57%, 空気 43%, 気圧 1.0 にて) となっている。

放電エネルギー  $E$  は、火花電圧を  $V$ 、静電容量を  $C$ 、帯電量を  $Q$  とすると、 $E = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} QV$  で与えられる。したがって、もし静電容量  $C = 100$  PF の物体に、 $V = 2000$  V の帯電が生じたとすると、この場合の放電エネルギーは上式より、 $E = 0.2$  mJ となり可燃性ガスへの着火が可能であることがわかる。したがって実際に気球にどの程度の帯電が生ずるかをしておくことは極めて重要であると思われる。

ポリエチレン気球が帯電する原因としては

- ① ポリエチレン・シートと気体および浮遊塵埃粒子との摩擦： 水素充填の際のボンベよりの塵埃粒子および上昇中における空気ならびに大気中の浮遊粒子との摩擦。
- ② ポリエチレン・シート相互間の摩擦： 地上および上空で気球が風にあおられた時(市販のポリエチレン・シートの小片 2 枚をたがいに摩擦すると顕著な帯電現象が見られる)。
- ③ ポリエチレン・シートの伸縮： 放球の際および上空での気圧低下による気球の膨張等による。
- ④ 空中電場による誘導。
- ⑤ 気球付近に存在する荷電体からの誘導： 雷雲・雷雨・イオンなどの影響による。

などが考えられる。このような原因で発生した気球の帯電量を正確に測定することは気球の形状が簡単でなく、かつ、たえず変形すること、気球上の電荷の分布が一律でなく、時には場所によって電荷の極性を異にする場合もありうること等の理由で極めて困難であるが、まずその第一歩として帯電量の概略値を知る目的で、1960 年 3 月 2 日・4 日・6 日気象庁気象研究所の石井千尋部長によって実施された茨城県館野の高層気象台構内における、放射能ゾンデの実験に便乗させていただいて行な

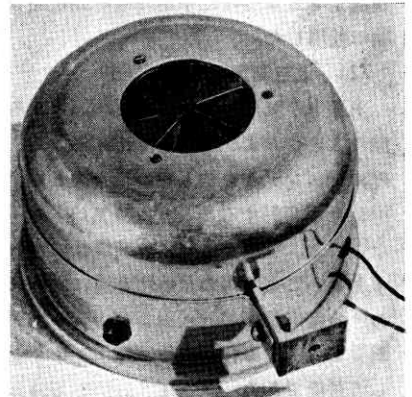
った 3 回、および同年 7 月 1 日および 7 月 2 日同所で行なわれたロクーンのダミーテストの際行なった 2 回の帯電量測定実験の結果についてその大略を述べ今後の実験の参考に供したい。

## 2. 測定装置

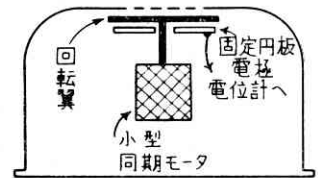
気球の帯電量を測定するにはいくつかの方法が考えられるが帯電によって生ずる静電界を真空管電位計を用いた電界測定器で測定するのが比較的簡単である。すなわち気球上に分布した電荷をその中心に集中した点電荷  $q$  と仮定し、この点電荷からの距離  $S$  の点の電界の強さを  $E$  とすると、 $E = q/S^2$  で与えられる。したがって電界  $E$  を測定することによって電荷  $q$  を求めることができるわけである。先に述べたように気球の電荷は地上で発生するものと、上空で発生するものがある。

地上での帯電 は主に、(イ)水素を充填する際、(ロ)気球が風であおられた時、(ハ)放球の時、などに発生するものと考えられる。これらの場合の帯電量測定には可搬用回転集電器と、真空管電位計とから成る電界測定器を使用した。

上空での帯電 は気球の上昇中に発生するものであるから気球に電界測定器を吊り下げて、その測定値を地上で無線遠隔測定(テレメータリング)する必要がある。幸い気象庁で定時観測用として現用している気象電気用ラジオ・ゾンデ(以後電気ゾンデとよぶ)がこの目的に使用しうるのでこれを使用した。



(a) 回転翼型集電器



(b) 回転翼型集電器 (内部構造図) 第 1 図

### (1) 地上測定用回転翼型電界測定器

われわれの用いた電界測定器は第 1 図 (a) および (b)

に示したような回転翼型集電器と、真空管電位計・指示計・増幅器ならびに記録計から成る(第2図(a)参照)。

回転翼型集電器は扇形の窓(約3 cm<sup>2</sup>)が6個放射状にあげられている椀状電極の中に絶縁された固定円板があり、この両電極の間で窓と同じ形の扇状翼(椀状電極に接続され

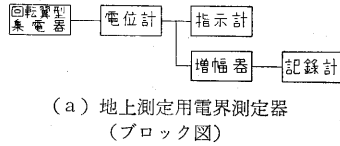
ている)を、小型モータで回転させるようになっており、したがって固定円板電極は周期的に外部電界にさらされて帯電するから、この電荷を抵抗  $R$  を通じて放電することにより  $R$  の両端から外部電界に比例した信号を取り出すことができる。実際に使用した装置の校正曲線を第2図(b)に示した。なおこの測定器は電界の極性を知り得ないので、これを可能ならしめるためこれに同期整流子を取りつけた小型の電界測定器を試作し7月の実験に使用した。

(2) 上空測定用電気ゾンデ

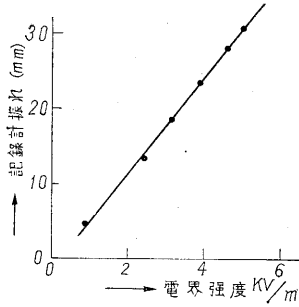
上昇中の気球の帯電を正確に測定することは、(イ)気球の大きさおよび形状が変化すること、(ロ)気球の中心と電気ゾンデとを結ぶ線の鉛直線となす角が気球の飛行中たえず変動すること、(ハ)気球上の電荷分布が一様でないこと、(ニ)気球以外の荷電体の影響を防ぐことがむずかしいこと、等のために非常に困難であるが、地上における帯電量との比較および上昇中におけるおよその帯電量を測定する程度ならば電気ゾンデを用いることによって可能である。

われわれの使用した装置は、気球に吊るした電気ゾンデと、これから送信された電波を受信記録する地上受信装置とで構成されており(明星電気KK製)、前者は一組の回転集電器と送信装置とから成っている。

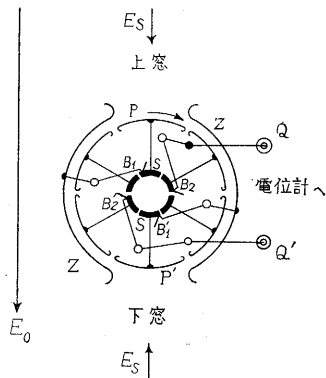
まず回転集電器



(a) 地上測定用電界測定器 (ブロック図)



(b) 地上測定用電界測定器 (校正曲線) 第2図



第3図(a) 回転集電器

(第3図(a))で、集電器の位置における静電界に比例した信号を発生しこれを電位計回路に加えて増幅しこれに変調用低周波発振器の発振周波数を変化させ、この周波数で搬送波発振器を変調して送信するいわゆるFM-AM方式である。

回転集電器<sup>(2)</sup> これは二つの集電器を組み合わせた構造になっている。すなわち第3図(a)に示したように上下に対称的に開いている長方形の窓を持った遮蔽円筒  $Z$  (66 mmφ) の中で、絶縁された6個の六分割の長方形電極  $P$  がマイクロモータによって回転する。各電極  $P$  はそれぞれセグメント  $S$  に接続されている。図から判るようにセグメント  $S$  および刷子  $B_1$  によって遮蔽円筒に接続された回転電極  $P$  がちょうど窓の真下に来て完全に窓の部分の電界にさらされた時の表面電荷は、モータの回転にしたがって窓のかけに移動し、窓の部分の電界から遮蔽された時、セグメントに接触する刷子  $B_2$  および端子  $Q$  を経て電位計回路に導かれその入力高抵抗 ( $8 \times 10^{10} \Omega$ ) を通じて放電され、回転電極は電荷を失う。したがって電位計の出力には切替スイッチの位置に応じて上または下の窓における電界に比例した電圧が現われる。

上下の窓における電界  $E_A$  ならびに  $E_B$  と外部電界  $E_0$  との間には次のような関係がある。今第3図(a)において、外部電界  $E_0$  の正方向を上から下に向かう方向とした装置自体の帯電によって生ずる電界(これは遮蔽円筒  $Z$  の表面より放射状に向かう)  $E_s$  は外部より回転集電器の中心に向かう方向を正とすれば

$$E_A = E_0 + E_s \quad E_B = -E_0 + E_s \quad \text{となる。}$$

また電位計を結んだ時の上下の窓による出力電圧をそれぞれ  $V_A, V_B$  とすれば

$$V_A = K \cdot E_A \quad V_B = K \cdot E_B \quad \text{なる関係がある、こ}$$

こに  $K$  は比例常数である。

したがって、

$$V_A = K(E_0 + E_s) \tag{1}$$

$$V_B = K(-E_0 + E_s) \tag{2}$$

(1)および(2)式から、外部電界  $E_0$  および装置自体の帯電による電界  $E_s$  はそれぞれ

$$E_0 = \frac{V_A - V_B}{2K} \tag{3}$$

$$E_s = \frac{V_A + V_B}{2K} \tag{4}$$

となる。

したがって(3)式から外部電界  $E_0$  を求めることができる。

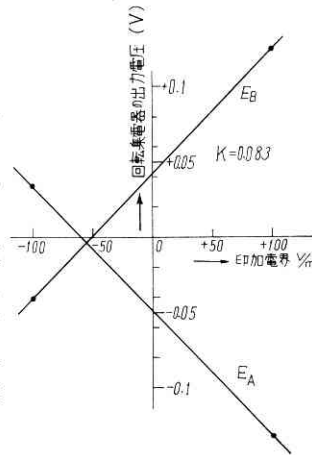
この  $E_0$  はもちろん気球の帯電によって電気ゾンデの位置に生ずる電界である。式中の比例常数  $K$  は装置を既知の電場に入れて実験的に求めればよい。この校正曲

線の一例を第 3 図(b)に示した。

**電位計** 電位計真空管は入力抵抗をできるだけ高くする必要があるので、真空管硝子表面のリークを少なくするよう化学処理を施すとともに定格よりはるかに低い規格で使用することによって、格子電流を  $10^{-14}$ A 程度として使用している。

**テレメータ送信機**

現在、定時気象観測用として米国初め各国で使用されている方式で Diamond および Hinman<sup>(3)</sup> によって提唱された FM-AM 方式である。1680 Mc の搬送波発振器および、20C~200C の変調器としては特にラジオ・ゾンデ用として作られている真空管“5794”および“1N3”を使用して



第 3 図 (b) 回転集電器(較正曲線)



第 4 図 電気・ゾンデ

いる。3月に使用した電気ゾンデを第4図に示した。

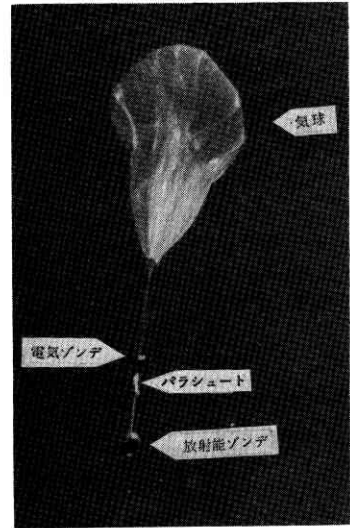
**受信装置** 定時気象観測用の電気ゾンデに対する受信装置として現用されている GMD-1A 型装置(館野高層気象台で現用中のもの)を使用した。

**3. 測定実験**

1960年3月2日・4日・6日の3回および同年7月1日・2日の2回、合計5回の実験のうち、3月4日の実験は放球の際の不手際で電気ゾンデが反転(鉛直上向き方向から約120度傾斜)した。しかし電気ゾンデは無事に動作したので観測は成功した。また最後の7月2日の実験では放球の直後に電気ゾンデ以外の他の観測器材(テレメータ・コマンド・スピニングメータ・天頂輝度計等)が全部落下したため高度のデータが得られなかった。

**(1) 地上での測定**

前述の回転翼型電位計を用いて気球へ水素を充填する時、気球が風であおられた時、および放球の時などの帯電量を測定した。測定に際し気球が風で動いたり、変形したりするために気球と回転集電器の距離が測定中にた



第 5 図 上昇中の測定 気球 450m<sup>3</sup>・3月2日

えず変化し、また野外測定であるため、正確な距離測定がむずかしい。したがって気球の帯電によって生ずる電界は大略の値を知る程度のもとなった。また電界の測定値から気球の全帯電量を推定することも気球が大地に極めて接近しているのもむずかしい。

口絵に実測中の写真を示した。集電器は三脚上に取り付けられている。

**(2) 上空における測定**

前述の電気ゾンデを気球の直下(5mまたは10m)に吊り下げて、(第5図参照)上昇中における気球の帯電によって電気ゾンデの位置する点に生ずる電界  $E_0$  を測定した。なお地表面付近では晴天時におよそ百数十 V/m 程度の強度を持ち、上空へ昇るに従って指数函数的に漸減し、高度約 10km でおよそ数 V/m となる正の空中電界<sup>(4)</sup>が存在しているからわれわれの測定した  $E_0$  はこの空中電界と気球の帯電により生ずる電界との代数和(両者とも鉛直方向と仮定)であるが後述するとおり、われわれの得た実験結果によると低高度においては前者は前者に比しはるかに大きいから前者を無視して差し支えない。第5図は上昇中の気球および電気ゾンデ放射能ゾンデ等を示す。

**4. 実験結果**

実施した実験日・天候・風速・気球の容積・静電容量等を第1表に示す。

**(1) 地上測定**

口絵(4ページ)に示すように、多くの場合気球と回転集電器との距離を約 2.5m(時にはこれと異なる距離にて測定した)として測定し、その測定データより、電界が距離の自乗に反比例すると仮定して距離 1m における電界を算出し第2表に示した。

なお、水素充填用ホースの帯電による電界も示してあ

第1表 気球の帯電測定実験

実験番号	実験日 月/日	天候	風速 m/s	気球容積(公称値) m <sup>3</sup>	気球半径 cm	気球表面積 m <sup>2</sup>	気球の静電容量 pF <sup>(3)</sup>
I	3/2	晴	微(2~3)	450	475	284	528
II	3/4	曇	弱(4~6)	2800	874	960	972
III	3/6	快晴	微(2以下)	1100	641	516	712
IV	7/1	曇	微(2~3)	1000	620	484	689
V	7/2	小雨後曇	微(2~3)	1000	620	484	689

(1), (2) 気球を球と仮定し容積(公称値)より算出  
 (3) 気球を導体球と仮定し(1)より算出

第2表 地上での帯電による電界強度  
 (距離1mにおける電界に換算した値)

気球の公称容積	水素充填中* KV/m	水素充填終了** KV/m	放球時の電界 KV/m	ホース付近の電界 KV/m	測定時刻
450	12	14	21		10h00m~11h13m
1000	+8	+9	4.5	+1.8	10h50m~12h20m
1000	+21.5	5.4	28	+0.2	12h10m~13h03m
1100	38	64	34	0.3	9h40m~10h43m
2800	24	76	90		9h40m~10h49m

\* 水素約 1/2 充填の時気球が風であおられた時の最高値  
 \*\* 水素充填終了後気球が風であおられた時の最高値

第3表 気球上昇実験

気球容積(m <sup>3</sup> )	重量(kg)		平均上昇速度(m/min)					到達高度(km)	実験時間	浮游に入るまでの時間(分)	備考
	気球の自重	総重量	0~5(km)	5~10(km)	10~15(km)	15~20(km)	20~24(km)				
450	14.9	31	275	310	310	—	—	20	11h13m~13h25m	76	
1000	24	80	300	350	380	410	—	19	12h20m~14h03m	55	放球の際天頂輝度計落下**
1000	24	80	—	—	—	—	—	14*	13h03m~13h53m	—	電気・ゾンデ以外の観測器材全部落下**
1100	21.7	37	250	275	315	205	—	24	10h43m~13h50m	80	
2800	41	57	270	310	340	450	500	30	10h49m~12h20m	90	放球時の不手際で電気・ゾンデ反転

\* 推定高度 \*\* 他の観測器材吊下げのため補助気球使用

の既述のとおり7月1日および2日の実験には極性を判別しうる小型電界測定器を併用したので極性も示してある。正の電界は気球(またはホース)が正の電荷を有していることを示す。

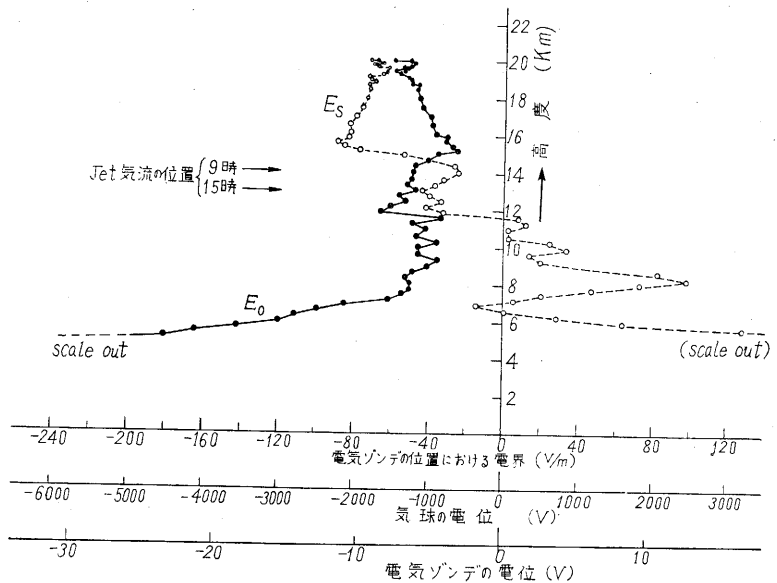
(2) 上空測定

第3表に気球の重量・平均上昇速度・到達高度・その他の実験条件を示した。

第6図・第7図・第8図・第9図および第10図は電気ゾンデによる測定結果を示す。縦軸は高度、横軸は気球の帯電に基づく電気ゾンデの位置における電界  $E_0$  および電気ゾンデ自体の帯電に基づく電気ゾンデ近傍の電界  $E_s$  を示す。また正の電界は  $E_0$  については気球が正に帯電していること、 $E_s$  については電気ゾンデが負に帯電していることを意味する。

実験 I, II, III においては気球より吊した電気ゾンデの約 5m 下方に放射能ゾンデが吊るしてあったが、実験 IV, V においては電気ゾンデの下方約 100m に多くの観測器材を吊るす必要上、放球を容易にするため 70 m<sup>3</sup> の補助気球を使用し放球後約 90 秒で後者を切り離す方法がとられた(第9図(b)参照)。

実験 IV ではこの方法は一応成功したが、実験 V では補助気球切離し後観測器材を吊るすロープが切断し、観測



第6図 実験Iの測定結果(3月2日, 11時13分放球)

器材が落下したため主気球は電気ゾンデのみを伴って上昇した。したがって気球の高度を知らせる信号が得られなかったため第10図には縦軸に放球後の時間を取り同時に推定高度が併記してある。

5. 実験結果の考察

すでに述べたように気球の帯電量を正確に知ることは極めて困難であるが、上記の測定結果から推定される事項について以下列記することとする。

① 地上において水素充填作業中は気球もポリエチレンホースもともに正電荷を帯びる(これは水素ポンペ中の塵埃に基因すると思われる)。このため気球およびホー

ス付近は数 10KV/m の相当強い電界（気球およびホースに極めて接近したところでは数 100 KV/m 以上になると想像される）となるため付近に尖鋭な突起を有する導体があればコロナ放電や火花放電をおこすおそれがある。

② 気球が大きいほど、この電界も大となる。

③ 気球の材質たるポリエチレンは優れた絶縁性を有しているため表面の電荷分布は一様でなく、また時には場所によって電荷の極性を異にすることもありうる。したがってわれわれの実測した電界は単極、双極子、四極子……等による電界の合成されたものと考えられ極めて、複雑な電界で、たとえ一定距離から測定したとしても気球よりの方が異なれば異なった電界が得られると思われる。

④ 地上での測定では大地の影響が大きいため電界の測定値から気球の帯電量を推定することができないが、上空では大地の影響を一応無視しうるため若干の仮定のもとに気球の帯電量を推定できる。

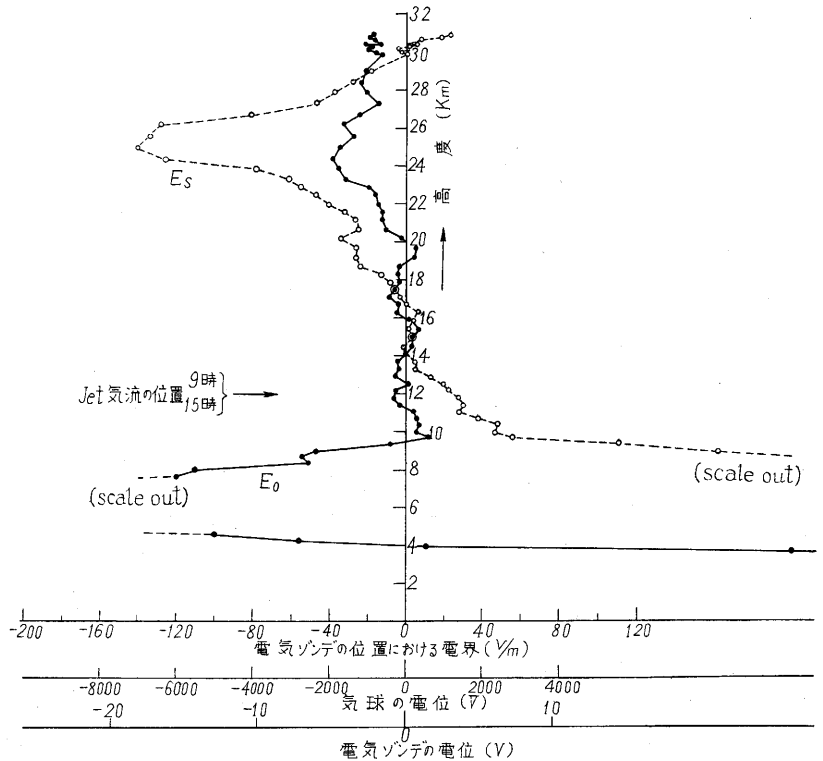
われわれの用いた気球は球状ではなく上下両端が円錐状をした円筒に近い（実験Ⅳ、Ⅴは梨型）。今気球を

- (イ) 導体球（したがってその表面は一様に帯電）
- (ロ) 公称容積に等しい容積を有する半径  $r$  の球
- (ハ) 球の中心は電気ゾンデより  $S=l+\frac{L}{2}$  の距離にある（第 11 図参照）。

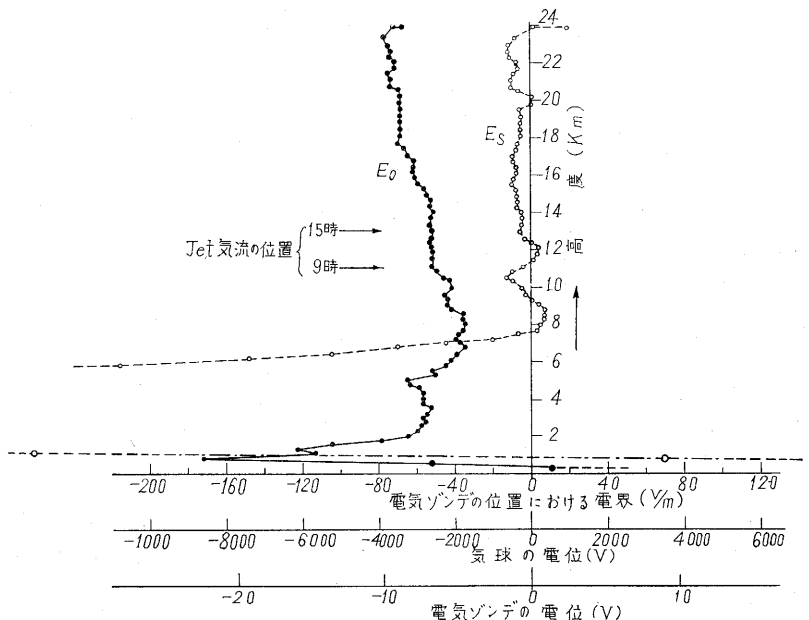
(ニ) 気球と電気ゾンデ以外には付近に導体が存在しない。と仮定すれば気球の帯電量  $q$  および電位  $V$  は

$$q = E_0 S^2 \quad V = \frac{q}{r} = \frac{E_0 S^2}{r}$$

で与えられる。これより気球の電位  $V$  が 1,000 V、になった時の電気ゾンデの位置における電界  $E_0$  を計算し



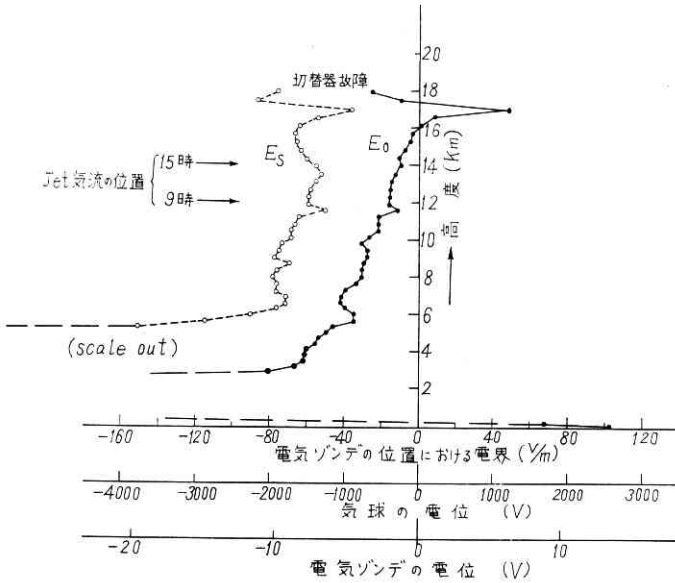
第 7 図 実験Ⅱの測定結果（3月4日、10時49分放球）



第 8 図 実験Ⅲの測定結果（3月6日、10時43分放球）

第 4 表に示した。また第 6 図・第 7 図・第 8 図・第 9 図・第 10 図の横軸には上式より算出した気球の電位の目盛を付記した。

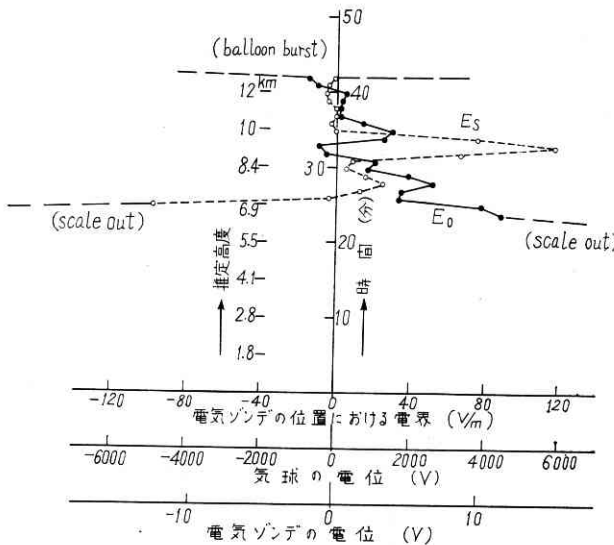
これらの図から明らかなように、もし上記のような仮定が許されるならば放球後 8 km くらいまでは緒言に



(b) 同左補助気球分離直前

(a) 実験Ⅳの測定結果 (7月1日, 12時20分放球)

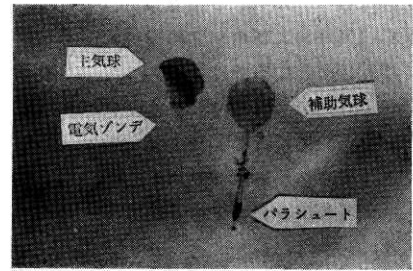
第 9 図



第 10 図 実験Ⅴの測定結果 (7月2日 13時3分放球)

おいてのべた着火に必要な最少エネルギー以上の静電エネルギーが気球に蓄積していることになる。しかしながら実際の気球は導体でなく絶縁性の優れたポリエチレンであるからたとえその局部で放電が起こっても気球上の全蓄積電荷が同時に放電するわけでない。換言すれば導体の場合より着火の危険性が少ないといえる。

⑤ 電気ゾンデの帯電量を知ることは、その形状が複雑なため困難であるが、一応の概念をつかむ目的で、これを電気ゾンデの総容積 (回転集電器および Gerdien chamber を含む) に等しい導体球 (半径:  $a$  cm) と仮定し、この球の表面電荷が  $E_s$  の実測値になった時の球の



(b) 同左補助気球分離直前

(a) 実験Ⅳの測定結果 (7月1日, 12時20分放球)

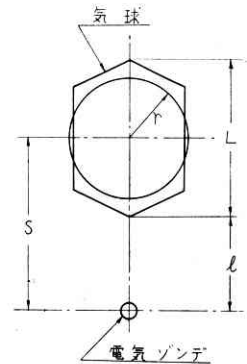
第 9 図

電位を算出してみた。

実際に計算してみると  $a \approx 13$  cm (したがってその静電容量は約 14.5 pF) となるから、 $E_s$  がたとえ 300 V/m ( $= 3$  V/cm) になったとしても  $V$  は約 40V くらいに過ぎない。  
( $V = E_s \cdot a$ )

第 6 図・第 7 図・第 8 図・第 9 図および第 10 図の横軸に上記の仮定のもとに算出した電気ゾンデの電位の目盛を併記した。

⑥ われわれの用いたテレメータによる測定は 1 分ごとに電気ゾンデの上下の窓における電界  $E_A$ ,  $E_B$  の値に相当する信号を受ける方法であるから電界の変化が急激な時には信号が得られないこともありうる。第 6 図以下の図から明らかなように放球直後は  $E_0$ ,  $E_s$  とも急激な変動を示すので、僅か 5 回の実験から正



第 11 図 気球と電気ゾンデの距離

第 4 表 気球の電位が 1000V の時の電界  $E_0$  の計算値

気球容積 (m <sup>3</sup> )	$L^*$ (m)	$l^*$ (m)	$S^*$ (m)	$r^*$ (m)	$S^2/r$ (cm)	$V=1000V$ の時の $E_0$ (V/m)
450	12	5	11	4.75	$2.5 \times 10^3$	40
1000	15	10	17.5	6.20	$4.9 \times 10^3$	20.4
1100	16	10	18	6.41	$5.1 \times 10^3$	19.6
2800	22	10	21	8.74	$5.0 \times 10^3$	20

\* 第 11 図参照

確な判断を下すことは困難であるが、大体次のように推測することができると思われる。

(イ) 気球は放球前(水素充填作業中)大なる正の電荷を有しているが放球後極性が転換し、しかもその電荷も測定器の測定範囲をこえる大きな値を示すが、上昇高度が高まるにつれて減少しほぼ一定の負電荷に落ち着く。

(ロ) 電気ゾンデの電荷は地上では正のことも負のこともあるが高々度では正の小さい値に落ち着く。

(ハ) 換言すれば高々度では気球および電気ゾンデはそれぞれ負および正の電荷をもち大地に向かう極性の双極子を形成する。これは晴天時の空中電場の方向が上空より大地に向かうことを考慮すれば合理的である。

(ニ) 放球直後にいちじるしい帯電がおこる理由としては、放球時における機械的張力ならびに地上に準備された気球の下部が大地をはなれる際、地上にひろげてあった、プラスチック(塩化ビニールまたはポリエチレン)の敷物とのまさつによるものと想像される。

(ホ) 高々度で時々  $E_0$  および  $E_s$  が急増することがあり、いわゆる Jet 気流となんらかの関連があるのではないかと想像されたが実験当日の Jet 気流の位置(各図に示してある)を後日調べてみると両者間に確たる関連の存在は認められなかった。したがってその原因は不明である。実験当日が曇天の時にピークが現われていることから考えて雲の有する電荷の影響かとも想像される。

(ヘ) 実験 I, II, III, では電気ゾンデの下方約 5 m に放射能ゾンデが吊るされていたが、その大きさが気球に比しはるかに小さいことから考えてその影響は僅かであると考える。

## 6. 結 論

僅かに 5 回の放球実験から現象のすべてにわたって正しい結論を下すことは不可能であるが、少なくとも次の結論は得られると思う。

(1) 地上における水素充填作業時には気球およびホースは相当多量の正電荷で帯電され、付近に強い電界を生ずるため、コロナ放電や火花放電を起こす可能性のある尖端を有する導体を十分遠ざける必要がある。

(2) 放球直後から約 10 km くらいの高さまでは気球の帯電量は相当に大きいから前記 (1) と同様の注意が必要である。

終わりにこの実験に当たりいろいろと援助、協力をおしまれなかった気象研究所石井千尋部長、館野高層気象台の中島・乳井両課長、秋田・穂田の諸氏ならびに明星電気 K K の小羽根・柴田の両氏に厚くお礼を申し上げる。

また地上測定用回転翼型電位計については現名古屋大学助教授玉河元氏のご協力を得た。あわせて記して感謝の意を表する。(1961 年 11 月 30 日受理)

## 文 献

- (1) B. Lewis, G. Elbe: "Combustion, Flames and Explosions of Gases" p. 410.
- (2) J.A. Chalmers: "The agrimeter for continuous recording for the atmospheric electric field", J. Atmos. Terr. Phys., 4, 124. (1953)
- (3) H. Diamond, W.S. Hinman: "A method for the investigation of upper air phenomena and its application to radio meteorography", J. Res. Nat Bur. Stand., 20, 369. (1938)
- (4) 島山, 川野: "気象電気学" p. 67.

## 東京大学生産技術研究所報告刊行

### 第 11 卷 第 6 号 仙田 富男 著「X 線透過写真のコントラストに関する研究」

金属材料の溶接部あるいは鋳物などの非破壊検査を行なう場合に、撮影された X 線透過写真が被写体によってどのような濃度分布を示すかという問題は、試験あるいは検査の目的を十分に達成するためには最も本質的なものでありながら、定量的に取り扱われていない現状にある。この論文は、厚さの差のある物体の X 線透過写真上での濃度差すなわち透過写真のコントラストに影響を及ぼす諸因子について種々の角度から検討し、またそれら

の相互の関連性を総合的に研究したものである。

内容は 5 章からなり、X 線の線質、X 線フィルムの感度とコントラストおよび X 線管の焦点について順次検討した後、撮影条件と透過写真のコントラストとの関係を明らかにし、さらに撮影条件を決定するための基準としての露出線図の新しい作成方法とその利点について論じている。

(1962 年 1 月発行)