REPORT OF FIRE RESEARCH INSTITUTE OF JAPAN

Vol. 4 No. 1 Jun. 1953

消防研究所報告

第 4 巻 第 1 号 1953年 6 月

目 次

研 究

消防用噴流の有効射程について（第1報）

有効射程に関する実験式……新 居 六 郎……(1)

高温気体中を落下する水滴及び噴霧の蒸発（第2報）

Ⅳ. 噴霧の蒸発時間（その1）

Ⅴ. 噴霧の蒸発時間（その2）……秋 田 一 雄……(13)

煙による火災感知の研究（その1）

煙感知器の試作……守 屋 忠 雄……(21)

アーク感知器の試作（第1報）……中内俊作・渡辺彰夫……(28)

独立行政法人
14.4.05
消防研究所図書

消 防 研 究 所

東 京 都 三 鷹 市

REPORT OF FIRE RESEARCH INSTITUTE OF JAPAN

Vol. 4, No. 1 Jun. 1953

Contents

MEMOIRS

Effective Range of Fire Stream (1) ..... R. NII ..... (1)

Study of Evaporation of Water Drops

Falling down through the Air of High Temperature (2) ..... K. AKITA ..... (13)

Study on Fire Detection with Smoke (Part I)

Smoke Detector Produced by the Author ..... T. MORIYA ..... (21)

Photoelectric Detector of Electric Arc (1)

..... S. NAKAUCHI AND A. WATANABE ..... (28)

Published by

Fire Research Institute of Japan

700 Shinkawa. Mitaka-shi. Tokyo. Japan.

NOTE : Abstract in English language is given to each article down from the last issue (Vol. 3. No. 4)

国立行政法人
14.4.05
消防研究所図書

研究

消防用噴流の有効射程について（第1報）

——有効射程に関する実験式——

新　居　六　郎

Effective Range of Fire Stream (1)

R. NII

In Japan, about two-thirds of a fire stream has been regarded as the effective range. But to the best of the writers knowledge, no reliable experiments have been carried out yet in Japan. In America, experiments were made in 1888 by Freeman, with 1″ to 1 1/2″ nozzles, 20 to 90 lbs/□″ nozzle pressure and in 1939 and 1940, with 1 1/2″ and 2″ nozzles, 20 to 90 lbs/□″ by Factory Mutual Frie Insurance Co., and, of the same sizes, 100 to 250 lbs/□″ by National Board of Fire Underwriter and Chicago Fire Department at about same time.

These data of the effective range of fire streams in America can only be applied to 1″ to 2″ nozzles. In Japanese fire service, however, nozzles less than 1″, namely 3/4″ and 7/8″ are mostly used. Therefore, from the data in America, the writer introduced the formula of the effective range of fire stream, which contains as variables, nozzle pressure and nozzle diameter, and from the formula, the effective range of fire streams has been calculated of 7/8″, 3/4″, 5/8″ and 1/2″ nozzle diameter for the convenience of the fire men in Japan.

目　次

§1. 緒　言
§2. 有効射程に関するアメリカに於ける実験
　a. 有効射程の定義
　b. 有効射程に関する実測値
§3. 有効射程に関する実験式
　a. 筒先圧力、一定の場合、筒先径と有効射程との関係
　　(i) 筒先径と有効射程との関係
　　(ii) 係数 $\log_{10}\alpha_1$, n_1 ; $\log_{10}\alpha_2$, n_2 の決定
　b. 筒先径、一定の場合、筒先圧力と有効射程との関係
　　(i) 筒先圧力と有効射程との関係
　　(ii) 係数 $i\log_{10}\beta_1$, n_1' ; $\log_{10}\beta_2$, n_2' の決定
　C. 定筒先圧力及び筒先径を変数とする有効射程の実験式
　　(i) 係数 $\log_{10}\beta_1$, n_1' ; $\log_{10}\beta_2$, n_2' と筒先径との関係と係数 p, q, r, s の決定
　　(ii) 種々の筒先径に於ける $\log_{10}\beta_1$ n_1, $\log_{10}\beta_2$, n_2 の数値
　　(iii) 実験式
§4. 実験式より算出した有効射程
§5. 検　討

§1. 緒　　言

消防用噴流の有効射程とは，消防用ノズルから出た噴流が肉眼的にほゞ連続流をなして，注水目的物に有効に注水できるノズルからの水平並びに垂直距離の事であるが　従来我が国に於ける消防の第一線に於ては，おゝざつぱに噴流の長さの約2/3位（ノズルから）までを有効噴流と考えてゐるようである。著者の知る限りでは，有効射程に関する我が国に於ける系統的な実験は未だ行なわれておらず，従つてその根拠も甚だあいまいといわねばならない。一方アメリカに於ては1838に John. R. Ereeman[1] により，筒先径 1″, $1^1/_4$″, …$1^1/_2$″ のものについて，筒先圧力 20～90 Lbs/□″ の範囲で，更に1939, 1940 に筒先径 $1^1/_2$″ 及び 2″ のものについて，筒先圧力 20～90 Lbs/□″ の範囲の場合を Factory Mutual Fire Insurance Co. によつて，同じ筒先径のものについて，筒先圧力 100～250 Lbs/□″ の範囲の場合を，National Board of Fire Underwriters と Chcago Fire Department との協同にて夫々実験が行なわれ，その実測値は N. F. P. A の Hand Book of Fire Prevention[2] に表又は図にして記載されてゐる。然らに我が国の消防に於ては，アメリカのように筒先径 1″ 以上のノズルは使用していないで，普通使われてゐるのは，$^7/_8$″ か $^3/_4$″ であるから，アメリカに於て実測されていない筒先径 1″ 以下のノズルについて，我が国に於ても実験をする必要があるが，さしあたつてアメリカに於て得られた実測値を使つて，有効射程が筒先圧力及び筒先径を変数とする函数で表わされる実験式を導き，この実験式より，我が国の消防が使用してゐる筒先径 $^7/_8$″, $^3/_4$″ 等の比較的小口径のノズルに対する有効射程を計算した。

§2. 有効射程に関するアメリカに於ける實験

a. 有効射程の定義

こゝで有効射程というのは Freeman が定義したものに基いてゐる。すなわち消防用噴流が次の条件を充たさなくなるまでのノズルからの水平並びに垂直距離のことである。

（1） 噴流が肉眼的にその連続性を失なわぬすなわち噴流が飛沫状態にならない。

（2） 直径 15″ の円の内部を全放水量の約90%，直径 10″ の円の内部を全放水量の約75%が通過する。

（3） 微風が吹いてゐる場合でも，殆ど飛散することがない。

（4） 断続することなく，窓開口部より室内に入つて，天井面に力強くぶつかり，充分に飛沫となつてはねかえり得る。

註

（i） 相当量の水が Freeman によつて定義された有効射程よりも更に遠方までも飛んで行くが，この定義した射程をこえては噴流は豪雨の様相を呈するといわれる。

（ii） アメリカでは，有効射程までの噴流を "good stream" と呼び，有効射程より15%遠方の射程までの噴流を "fair stream" と呼んでゐる。

（iii） 有効射程の第（2）の条件の判定は，肉眼観察によつてほゞできると Freeman は述べてゐる。

（iV） 噴流の抛射方向に対し，逆向きの風が吹いてゐる場合，風速約 10 m. p. h（4.4m/sec）以上の場合には，有効射程は約40%位短縮するといわれる。

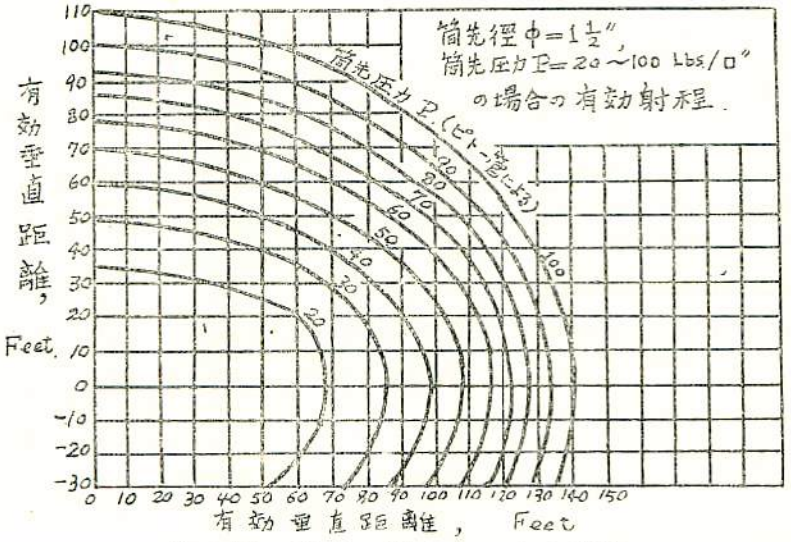
b. Freeman による筒先径 1″～$1^1/_2$″，筒先圧力 20～90 Lbs/□″ の場合の有効垂直距離及び有効水平距離の実測値を第1表に示す。筒先径 $1^1/_2$″ 及び 2″，筒先圧力 20～90 Lbs/□″ の場合の有効垂直距離及び有効水平距離の実測値のうち筒先径 $1^1/_2$″ の場合を第1図及び第2図に，筒先径 2″ の場合を第3図及び第4図に示す。

（註） 有効垂直距離，有効水平距離とはそれぞれ，噴流の水平面に対する抛射角度が 0° 及び 90° の場合の有効垂直距離並びに有効水平距離の事である。

第1表 有効射程に関する Freeman による実測値

筒先圧力 P lbs/□″	筒先径 Φ Inch (″) 1″ 有効垂直距離	1″ 有効水平距離	1 1/8″ 有効垂直距離	1 1/8″ 有効水平距離	1 1/4″ 有効垂直距離	1 1/4″ 有効水平距離	1 3/8″ 有効垂直距離	1 3/8″ 有効水平距離	1 1/2″ 有効垂直距離	1 1/2″ 有効水平距離
20	35	37	36	38	36	39	36	40	37	42
25	43	42	44	44	45	46	45	47	46	49
30	51	47	52	50	52	52	53	54	54	56
35	58	51	59	54	59	58	60	59	62	62
40	64	55	65	59	65	62	66	64	69	66
45	69	58	70	63	70	66	72	68	74	71
50	73	61	75	66	75	69	77	72	79	76
55	76	64	79	69	80	72	81	75	83	78
60	79	67	83	72	84	75	85	77	87	80
65	82	70	86	75	87	78	88	79	90	82
70	85	72	88	77	90	80	91	82	92	84
75	87	74	90	79	92	82	93	84	94	86
80	89	76	92	81	94	84	95	86	96	88
85	91	78	94	83	96	87	97	88	98	90
90	92	80	96	85	98	89	99	90	100	91

(註) 有効垂直距離，有効水平距離の単位は Feet。



第1図 Factory Mutual による実験

§3. 有効射程に關する實驗式

§2. b にて既述の有効射程に関する実測値のうち，筒先径 1½″ の場合の有効垂直距離，有効水平距離について，第1表，第1図，第2図を比較するに，有効垂直距離については僅かではあるが，又有効水平距離については，大きな差があるので，第1表のみによつて実験式を導いた。

a. 筒先圧力，一定の場合，筒先径と有効射程との関係。

(i) 筒先径と有効射程との関係。

第1表による筒先径と有効射程との関係をぐらふで示す。即ち有効垂直距離と筒先径との関係を第5図に，有効水平距離と筒先径との関係を第6図に示す。

(ii) 係数 $\log_{10}\alpha_1$, n_1 ; $\log_{10}\alpha_2$, n_2 の決定。

筒先圧力＝P Lbs/□″，筒先径＝ϕ In ch，有効垂直距離＝y_e Feet，有効水平距離＝x_e Feet で表わせば，第5図及び第6図より次の如き函数関係が成立すると推定できる。

P = Const のとき，

$$\phi = \alpha_1 \cdot x_e^{n_1}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(a\text{—}1)$$

$$\phi = \alpha_2\, y_e^{n_2}, \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(a\text{—}2)$$

但し α_1, n_1 は ϕ, x_e によらない係数，α_2, n_2 は ϕ, y_e によらない係数。

(a—1), (a—2) 両式を常用対数により表わせば，

$$\log_{10}\phi = \log_{10}\alpha_1 + n_1 \log_{10} x_e \quad \cdots\cdots(a\text{—}3)$$

$$\log_{10}\phi = \log_{10}\alpha_2 + n_2 \log_{10} y_e \quad \cdots\cdots(a\text{—}4)$$

(a—3) に対し，最小自乗法により (a—5) をうる。

$$\Sigma \log_{10}\alpha_1 + n_1 \Sigma_1 \log_{10} x_e = \Sigma \log_{10}\phi$$

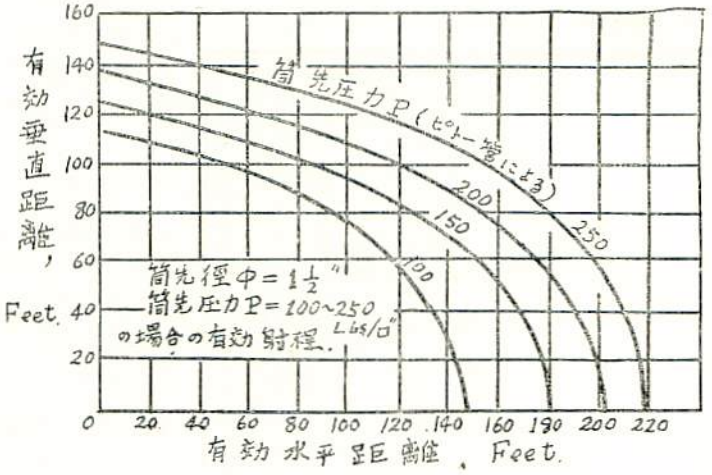
$$\log_{10}\alpha_1 \Sigma \log_{10} x_e + n_1 \Sigma (\log_{10} x_e)_2 = \Sigma \log_{10}\phi \times \log_{10} x_e \quad \cdots\cdots(a\text{—}5)$$

(a—4) に対し，同様に (a—6) をうる。

$$\Sigma \log_{10}\alpha_2 + n_2 \Sigma \log_{10} y_e = \Sigma \log_{10}\phi$$

$$\log_{10}\alpha_1 \Sigma \log_{10} y_e + n_2 \Sigma (\log_{10} y_e)^2 = \Sigma \log_{10}\phi \times \log_{10} y_e \cdots\cdots (a\text{—}6)$$

(a—5) より，P の種々の値 (P−20〜90 Lbs/□) の場合の $\log_{10}\alpha_1$ 及び n_1 がきめられ，(α—6) より，同様に P の種々の値 (P=20〜90 Lbs/□) の場合の $\log_{10}\alpha_2$ 及び n_2 がきめられる。P=20〜90 lbs/□ に対する $\log_{10}\alpha_1$, n_1, $\log_{10}\alpha_2$, n_2 の数値を第2表に示す。第2表に於て $\log_{10}\alpha_1$, n_1, $\log_{10}\alpha_2$, n_2 が p の函数となれば，x_e, y_e は P と φ の函数として表わされるので都合



第 2 図　Chicago Fire Dept による実験

第2表　種々の P (20〜90 Lbs/□) に対する $\log_{10}\alpha_1$, n_1,; $\log_{10}\alpha_2$, n_2 の数値

P, Lbs/□	$\log_{10}\alpha_1$	n_1	$\log_{10}\alpha_2$	n_2
20	−5.06047	3.23502	−2.47981	1.65290
25	−4.35752	2.68339	−9.97581	6.10489
30	−3.93303	2.34926	−12.28409	7.19883
35	−3.52170	2.06133	−10.42019	5.92219
40	−3.86111	2.21383	−8.79749	4.88977
45	−3.61882	2.04681	−9.88396	5.38941
50	−3.56947	1.99538	−9.52339	5.11616
55	−3.77536	2.08633	−9.06965	4.81756
60	−4.27529	2.33620	−8.20412	4.31669
65	−4.81785	2.60532	−8.60667	4.49033
70	−4.87318	2.61764	−9.61394	4.97716
75	−5.03298	2.68646	−9.91573	5.10667
80	−5.17765	2.74699	−10.11370	5.18275
85	−5.17810	2.73101	−1.78993	0.95144
90	−0.13563	0.11765	−9.21951	4.68744

がよいが，表からもわかるように簡単な函数関係を示していないので，一応この方から x_e 又は y_e を P 及び φ の函数として，実験式を誘導することをやめた。

d，筒先径，一定の場合，筒先圧力と有効射程との関係。

(i)　筒先圧力と有効射程との関係。

第1表による筒先圧力と有効射程との関係をぐらふで示す。即ち有効垂直距離と筒先圧力との関係を第7図に，有効水平距離と筒先圧力との関係を第8図に示す。

(ii)　係数 $\log_{10}\beta_1$, n_1'; $\log_{10}\beta_2$, n_2' の決定。

筒先径=φ Inch，筒先圧力=P Lbs/□，有効垂直距離=y_e Feet，有効水平距離=x_e Feet で表わせば，第7図及び第8図より，次の如き函数関係が成立すると推定できる。

φ=const のとき，

$$P=\beta_1\cdot x_e^{n_1'} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(b—1)$$

$$P=\beta_2\cdot y_e^{n_2'} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(p—2)$$

但し β_1, n_1' は P, x_e によらない係数。β_2, n_2' は P, y_e によらない係数。

(b—1), (b—2) 両式を常用対数により表わせば

$$\log_{10}P=\log_{10}\beta_1+n_1'\log_{10}x_e \cdots\cdots(b—3)$$

$$\log_{10}P=\log_{10}\beta_2+n_2'\log_{10}y_e \cdots\cdots(b—4)$$

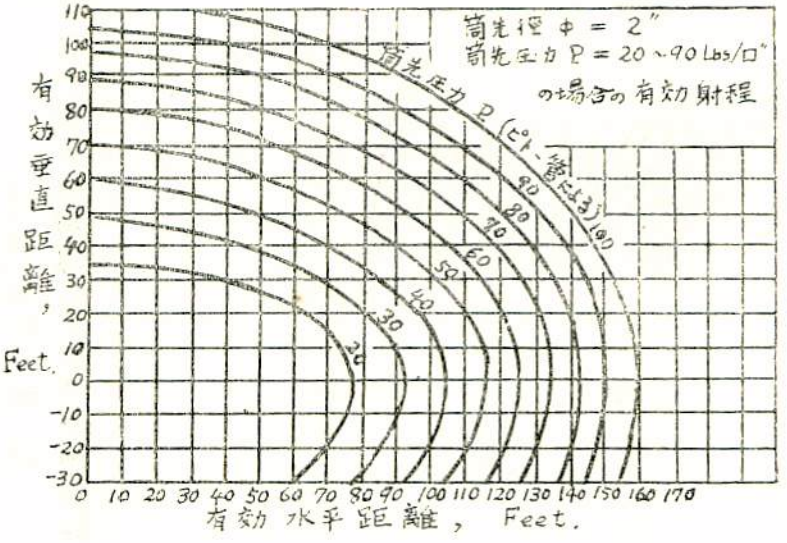
(b—3) に対し，最小自乗法により (b—5) をうる。

$$\begin{cases} \Sigma\log_{10}\beta_1+n_1'\Sigma\log_{10}x_e=\Sigma\log_{10}P \\ \log_{10}\beta_1\Sigma\log_{10}x_e+n_1'\Sigma(\log_{10}x_e)^2 \\ \qquad =\Sigma\log_{10}P\times\log_{10}y_e \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(b—5)$$

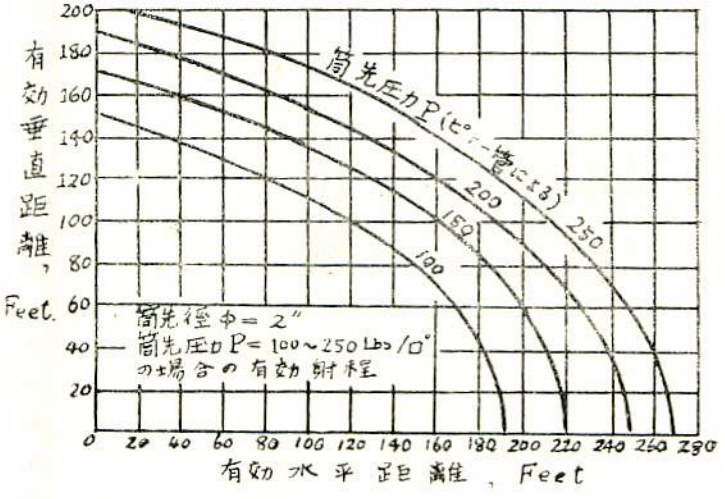
(b—4) に対し，同様に (b—6) をうる。

$$\begin{cases} \Sigma\log_{10}\beta_2+n_2'\Sigma\log_{10}y_e=\Sigma\log_{10}P \\ \log_{10}\beta_2\Sigma\log_{10}y_e+n_2'\Sigma(\log_{10}y_e)^2 \\ \qquad =\Sigma\log_{10}P\times\log_{10}y_e \end{cases} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(b—6)$$

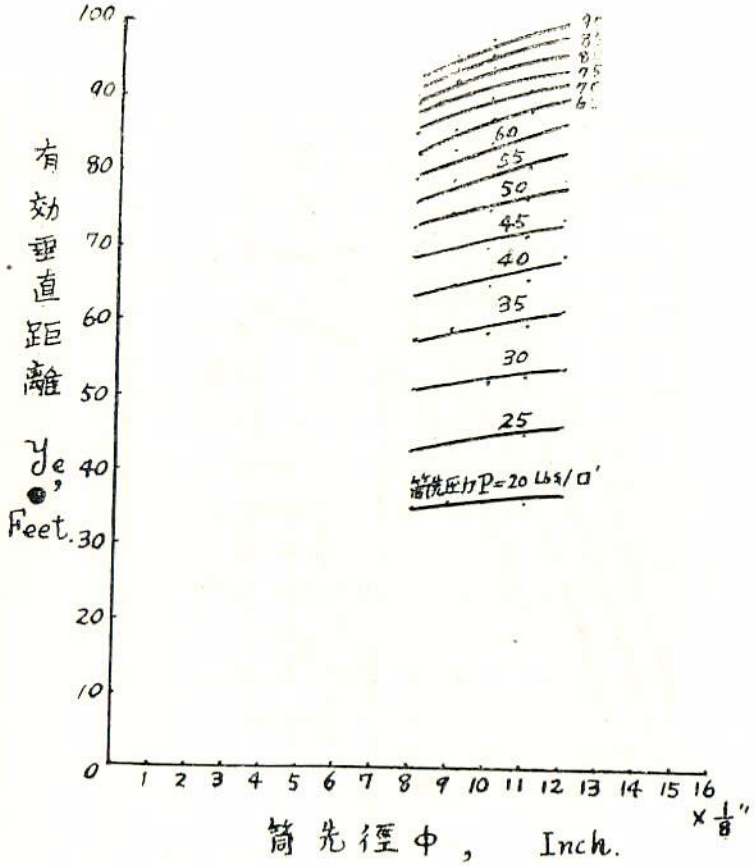
(b—5) より種々の φ (φ=1〜½") に対する $\log_{10}\beta_1$ 及び n_1' がきめられ，(b—6) よ



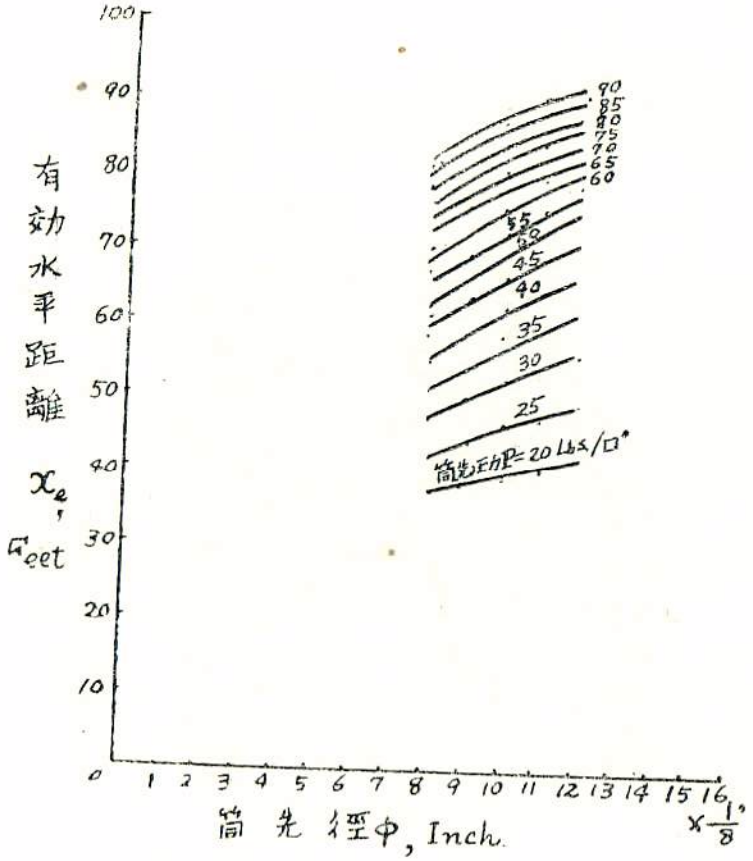
第 3 図　Factory Mutual による実験



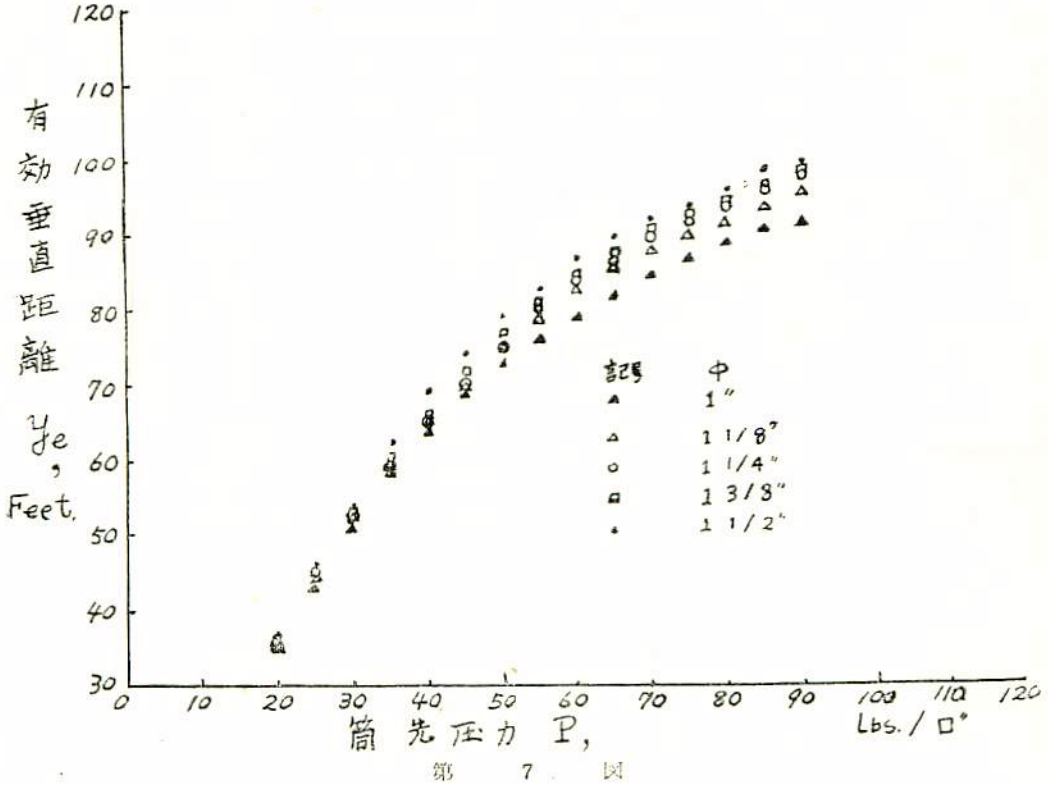
第 4 図　Chicago Fire Dept による実験


有効垂直距離 y_e, Feet.
筒先圧力 P=20 Lbs/□"
筒先径φ, Inch.
×1/8"

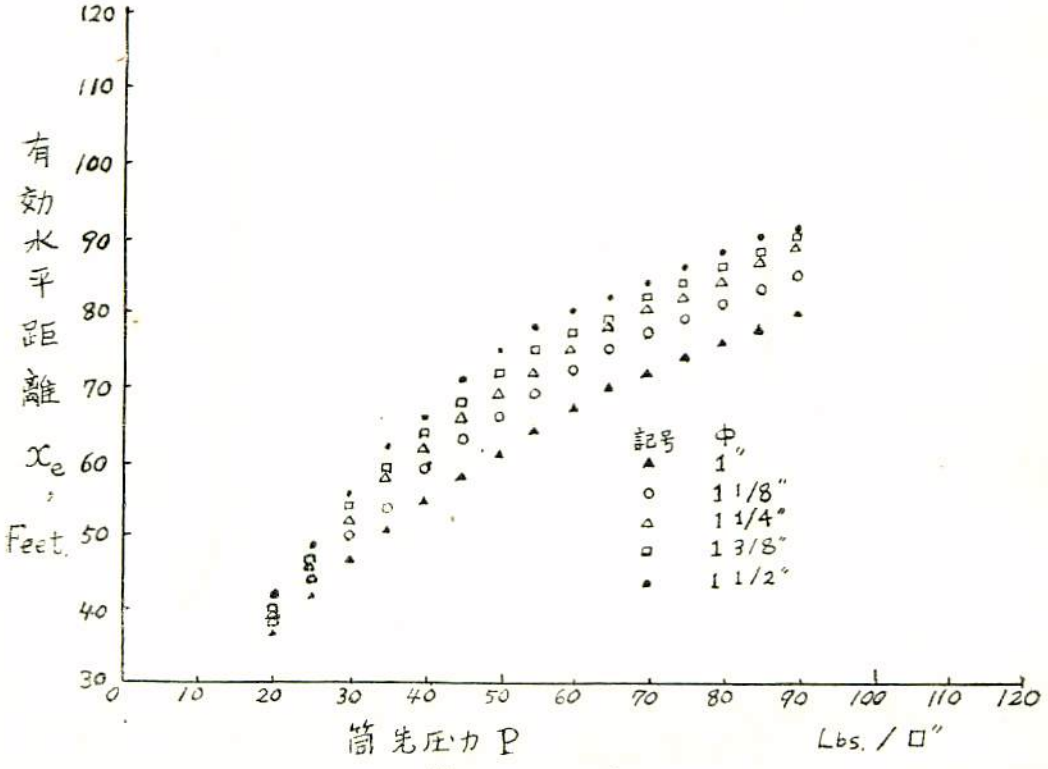
第 5 図


有効水平距離 x_e, Feet
筒先圧力 P=20 Lbs/□"
筒先径φ, Inch.
×1/8"

第 6 図


有効垂直距離 y_e, Feet.
筒先圧力 P, Lbs. / □"
記号 φ
1"
1 1/8"
1 1/4"
1 3/8"
1 1/2"

第 7 図


有効水平距離 x_e, Feet.
筒先圧力 P Lbs. / □"
記号 φ"
1
1 1/8"
1 1/4"
1 3/8"
1 1/2"

第 8 図

り種々のϕ ($\phi=1\sim1\frac{1}{2}''$) に対する $\log_{10}\beta_2$ 及び n_2' がきめられる。$\phi=1\sim1\frac{1}{2}$ Inch に対する $\log_{10}\beta_1$, n_1'; $\log_{10}\beta_2$, n_2' の数値を第3表に示す。

第3表 種々の Φ ($1''\sim1^1/_2''$) に対する $\log_{10}\beta_1$, n_1' ; $\log_{10}\beta_2$, n_2' の数値

Φ,Inch	$\log_{10}\beta_1$	n_1'	$\log_{10}\beta_2$	n_2'
1	−1.79495	1.96098	−1.20098	1.57764
$1^1/_8$	−1.71474	1.88660	−1.14474	1.53601
$1^1/_4$	−1.73695	1.87936	−1.10171	1.50886
$1^3/_8$	−1.78494	1.89418	−1.08325	1.49440
$1^1/_2$	−1.92079	1.95234	−1.13224	15.1315

C. 筒先圧力及び筒先径を変数とする有効射程の実験式

(i) 係数 $\log_{10}\beta_1$, n_1' ; $\log_{10}\beta_2$, n_2' と筒先径との関係, と係数 p, q, r, s の決定。

§3. b. (ii) にて得た $\log_{10}\beta_1$. n_1' ; $\log_{10}\beta_2$. n_2' と ϕ との関係をぐらふ上プロットすれば第9図〜第12図の如きぐらふ上の点となり, $\log_{10}\beta_1$, n_1' ; $\log_{10}\beta_2$, n_2' は ϕ について次の如き函数形となることが推定される。即ち,

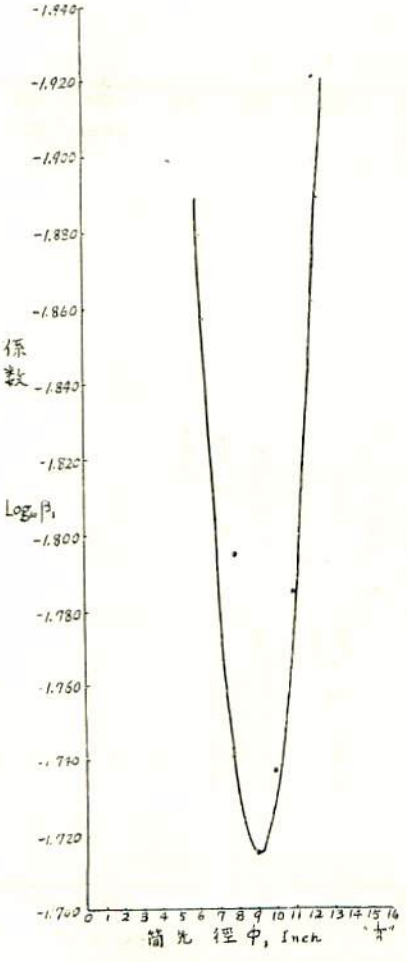
$$-\log_{10}\beta_1=(|\phi-A_1|)^p+B_1\cdots\cdots(C-1)$$

$$n_1'=(|\phi-A_2|)^q+B_2\cdots\cdots(C-2)$$

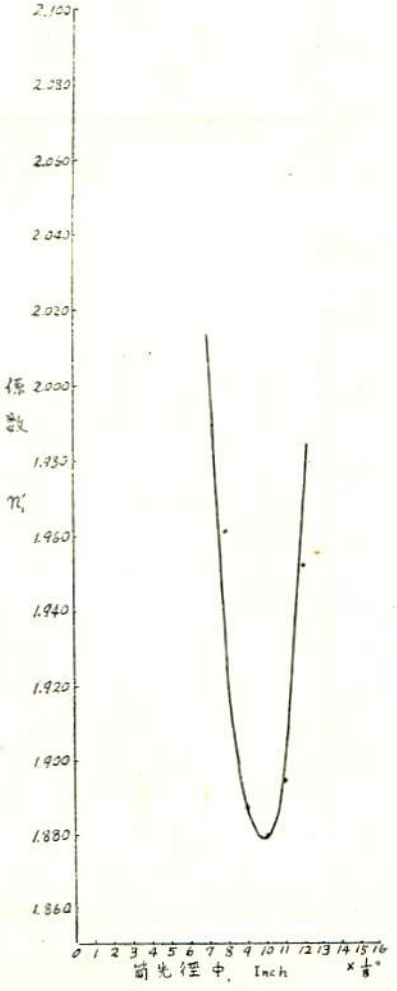
$$-\log_{10}\beta_2=(|\phi-A_1'|)^r+B_1'\cdots(C-3)$$

$$n_2'=(|\phi-A_2'|)^s+\beta_2'\cdots(C-4)$$

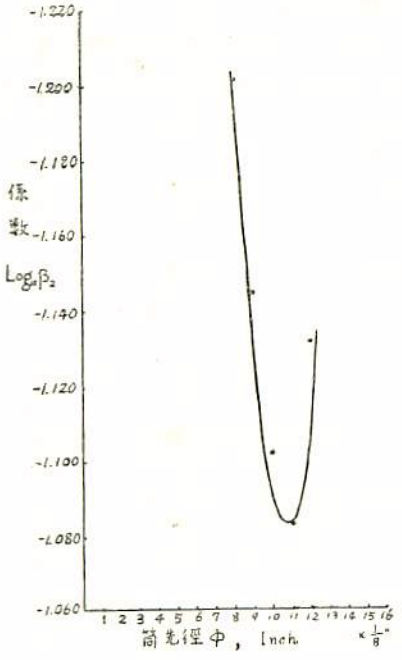
(C−1), (C−2). (C−3), (C−4) はいづれも A_1, B_1 ; A_2, B_2, ; A_1', B_1' ; A_2', B_2' 及び p, q, r, s 等の未知数を含み, このまゝでは最小



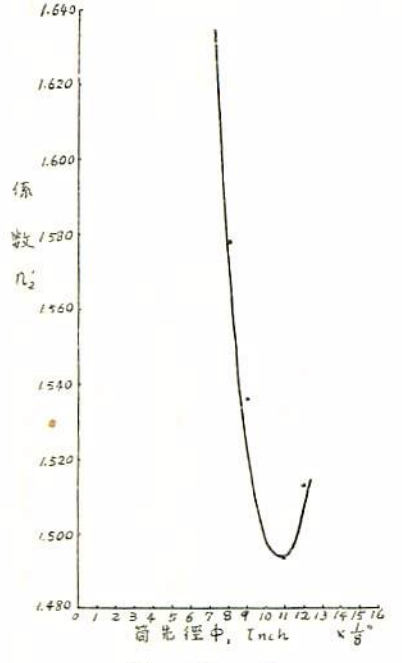
第 9 図



第 10 図



第 11 図



第 12 図

自乗法を適用して，これらの未知数を決定できぬが，第9図～第12図のぐらふから A_1, B_1；A_2, B_2；A_1', B_1'；A_2', B_2' の数値を適当にきめてやれば p, q, r, s のみが未知数となり，(C—1)，(C—2)，(C—3)，(C—4) はそれぞれ未知数 p, q, r, s を一つづつ含むことになるから最小自乗法を適用しうる。従つて (C—1) より

$$-(\log_{10}\beta_1+B_1)=(|\phi-A_1|)^p$$

$|\log_{10}\beta_1+B_1|=K$, $|\phi-A_1|=\Phi$ とおけば

$$K=\Phi^p \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(C—5)$$

(C—5) の両辺の常用対数をとれば

$$\log_{10}K=p\log_{10}\Phi \cdots\cdots\cdots\cdots(C—6)$$

(C—6) に最小自乗法を適用すれば

$$\Sigma\log_{10}K\times\log_{10}\Phi=p\,\Sigma(\log_{10}\Phi)^2\cdots(C—7)$$

をうる。従つて

$$p=\Sigma\log_{10}K\times\log_{10}\Phi/\Sigma(\log_{10}\Phi)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—8)$$

即ち p が決定される。この p の値を (C—1) に入れると $\log_{10}\beta_1$ が ϕ の函数として完全に決定される。他の未知数 q, r, s も全く同様にして決定される。然うして決定された q, r, s を (C—2)，(C—3)，(C—4) にそれぞれ代入し，n_1'，$\log_{10}\beta_2$，n_2' がそれぞれ決定される。従つて (b—3)，(b—4) によつて x_e, y_e の値が定まるわけであるが，若しその場合の x_e, y_e の値が実測値にくらべ，非常に異なる場合には最初ぐらふ上から最も確からしい値として採用したの A_1. B_1；A_2, B_2；A_1', B_1'；A_2', B_2' 値のうち変更を要するものゝみについてその値を少しづゝ変えて，上述の p を決定する場合の方法をくりかえして，その値に対する p, q, r, s を決定したのである。このようにして p, q, r, s を決定した結果，(C—1)，(C—2)，(C—3)，(C—4) は次の如く表わされる。

$$-\log_{10}\beta_1=(|\phi-{}^{9.2}/_8|)^{1.8954}+1.7140 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—9)$$

$$n_1'=(|\phi-{}^{9.8}/_8|)^{1.9011}+1.8780 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—10)$$

$$-\log_{10}\beta_2=(|\phi^1-{}^{10.8}/_8|)^{2.6079}+1.0830 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—11)$$

$$n_2'=(|\phi-{}^{10.9}/_8|)^{2.4080}+1.4944 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—12)$$

(ii) 種々の筒先径に対する $\log_{10}\beta_1$, n_1'；$\log_{10}\beta_2$, n_2' の数値

(C—9)，(C—10)，(C—11)，(C—12) にそれぞれ $\phi=4/8''\sim12/8''$ の値を代入して $\log_{10}\beta_1$，n_1'；$\log_{10}\beta_2$, n_2' の数値を計算した結果を

第4表に示す。

第4表 種々のΦ($^1/_2''$～$1^1/_2''$)に対する $\log_{10}\beta_1(\Phi)$, $n_1'(\Phi)$; $\log_{10}\beta_2(\Phi)$, $n_2'(\Phi)$ の数値

Φ,Inch	$\log_{10}\beta_1(\Phi)$	$n_1'(\Phi)$	$\log_{10}\beta_2(\Phi)$	$n_2'(\Phi)$
$^1/_2$	−2.15597	2.42061	−1.80457	2.17050
$^5/_8$	−2 00884	2.25665	−1.60730	1.95530
$^3/_4$	−1.89009	2120.86	−1.44155	1.78658
$^7/_8$	−1.80056	2.01390	−1.30730	1.66085
1	−1.75144	1.93667	−1.20449	1.57417
$1^1/_8$	−1.71492	1.89056	−1.13303	1.52192
$1^1/_4$	−1.72672	1.87890	−1.09282	1.49830
$1^3/_8$	−1.77317	1.90514	−1.08361	1.49454
$1^1/_2$	−1.85072	1.96392	−1.10568	1.50476

(iii) 実 験 式

(i)～(iV) までの操作によつて目的する x_e 又は y_e を筒先径 ϕ, 筒先圧力 P を変数として含む実験式を誘導できたわけで，まとめると次の如くである。即ち有効水平距離（噴流の拋射角度 $\theta=0°$ の場合）は次の 3つの式によつてきまる。

(b—3) より, $\log_{10}x_e=(\log_{10}P-\log_{10}\beta_1)/n_1'$ ……(C—13)

(C—9) より,

$$-\log_{10}\beta_1=(|\phi-{}^{9.2}/_8|)^{1.8954}+1.7140 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—14)$$

(C—10) より,

$$n_1'=(|\phi-{}^{9.8}/_8|)^{1.9011}+1.8780 \quad (C—15)$$

又 有効垂直距離 y_e (噴流の拋射角度 $\theta=90°$) は次の 3つの式によつてきまる。

(b—4) より,

$$\log_{10}y_e=(\log_{10}P-\log_{10}\beta_2)/n_2' \quad (C—16)$$

(C—11) より,

$$-\log_{10}\beta_2=(|\phi-{}^{10.8}/_8|)^{2.0079}+1.083 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(C—17)$$

(C—12) より,

$$n_2'=(|\phi-{}^{10.9}/_8|)^{2.4086}+1.4944 \quad (C—18)$$

§4. 實驗式より計算した有効射程

第4表の ϕ の函数として計算に出した $\log_{10}\beta_1$, n_1'; $\log_{10}\beta_2$, n_2' から求めた有効垂直距離及び有効水平距離をそれぞれ $y_e(\phi)$, $x_e(\phi)$ と表わし，第3表より求められた（未だ $\log_{10}\beta_1$, n_1'; $\log_{10}\beta_1$, n_2' を ϕ の函数として考えてない）数値を使つて求めた有効垂直距離及び有効水平距離をそれぞれ y_e, x_e と表わすことにする。$\phi=1''$, $1^1/_4''$ の場合の $x_e(\phi)$, $y_e(\phi)$ 及び x_e, y_e の計算値を第5表に示す。更に $\phi=7/8''$, $3/4''$, $5/8''$, $1/2''$, P=20～90 lbs/□ の場合の $x_e(\phi)$, $y_e(\phi)$ 及び x_e, y_e の計算値を第6表に示す。

第5表 有効射程の計算値と実測値（第1表より）

		有効水平距離 Feet			有効垂直距離 Feet		
		計算値		実測値	計算値		実測値
Φ, ″	P, Lbs/□″	$x_e(\Phi)$	x_e		$y_e(\Phi)$	y_e	
1	20	37.2	37.9	37	39.1	38.5	35
	25	41.8	42.5	42	45.0	44.4	43
	30	45.9	46.6	47	50.5	49.8	51
	35	49.7	50.4	51	55.7	55.0	58
	40	53.3	54.0	55	60.7	59.8	64
	45	56.6	57.3	58	65.4	64.4	69
	50	59.8	60.5	61	69.9	68.8	73
	55	62.8	63.5	64	74.3	73.2	76
	60	65.7	66.4	67	78.5	77.3	79
	65	58.4	69.2	70	82.6	81.4	82
	70	71.1	71.8	72	86.6	85.5	85
	75	73.7	74.4	74	90.4	89.1	87
	80	76.2	76.9	76	94.2	92.8	89
	85	78.6	79.3	78	97.9	96.4	91
	90	81.0	81.6	80	101.5	100.0	92

	20	40.9	41.4	39	39.6	33.1	36
	25	46.0	48.6	46	46.0	45.4	45
	30	50.7	51.3	52	51.9	51.2	52
	35	55.1	55.7	58	57.5	56.7	59
	40	59.1	59.8	62	62.9	61.9	65
	45	62.9	63.7	66	68.0	67.0	70
	50	66.6	67.3	69	73.0	71.8	75
$1\,^1/_4$	55	70.0	70.8	72	77.8	76.5	80
	60	73.4	74.2	75	82.4	81.0	84
	65	76.5	77.4	78	87.0	85.4	87
	70	79.6	80.5	80	91.4	89.7	90
	75	82.6	83.6	82	95.7	93.9	92
	80	85.5	86.5	84	99.9	98.1	94
	85	88.3	89.3	87	104.5	102.7	96
	90	91.0	92.1	89	108.0	106.0	98

第 6 表　$\Phi = {}^7/_8'' \sim {}^1/_2''$ に対する有効射程（計算値）

	有効水平距離 Feet				有効垂直距離 Feet			
	Φ, Inch				Φ, Inch			
P, Lbs/□″	$^7/_8$	$^3/_4$	$^5/_8$	$^1/_2$	$^7/_8$	$^3/_4$	$^5/_8$	$^1/_2$
20	34.7	32.0	29.3	26.8	37.2	34 3	30.7	27.0
25	38.7	35.5	32.3	29.4	42.5	38.9	34.4	29.9
30	42.4	38.7	35.1	31.7	47.5	43.0	37.8	32.5
35	45.8	41.6	37.5	33.8	52.1	46.9	40.9	34.9
40	48.9	44.3	39.9	35.7	56.5	50.5	43.8	37.1
45	51.9	46.9	42.0	37.5	60.6	54.0	46.5	39.2
50	54.7	49.2	44.0	39.1	64.6	57.3	49.1	41.1
55	57.3	51.5	45.9	40.9	68.4	60.4	51.5	43.0
60	59.8	53.7	47.7	42.2	72.1	63.4	53.9	44.7
65	62.3	55.7	49.4	43.6	75.6	66.3	56.1	46.4
70	64.6	57.7	51.0	45.0	79.1	69.1	58.3	48.0
75	66.9	59.6	52.6	46.3	82.4	71.9	60.4	49.6
80	69.0	51.5	54.1	47.5	85.7	74.5	62.4	51.1
85	71.1	63.2	55.6	48.7	88.9	77.1	64.4	52.5
90	73.2	65.0	57.0	49.9	9.20	79.6	66.5	53.6

§5. 検　　討

(i)　まずFreemanにより定義された有効射程が日本の消防に於て妥当かどうかゞ問題である。この点に関しては，一定の物質，一定の温度の燃焼面に，単位時間，単位面積あたりの有効水量はどれ位かという根本的問題を実験的に解決して始めなければならないと思う。

(ii)　Freemanが定義した有効射程の定義の第(2)の条件 即ち15″の円の中を全放水量の90%, 10″の円の中を全放水量の75%が通過するものという点である。これが筒先径 φ のすべてに対して適用できるという根拠があるかゞ問題である。例えば φ=1/8″ の場合にもこの条件でよいか否かの問題も実験を行なつてみなければ，こゝで結論をくだすことは無理のようである。従つてこゝで得た実験式の適用限界即ち筒先径のどの位の範囲に適用できるかについてこの報告で答えることはできない。

(iii)　第1表と第5表とを対比してわかると

おり，実験式より計算した有効射程のうち，有効水平距離の計算値と実測値との偏差は筒先圧力 P=20～90 Lbs/□ の範囲で，大体一様に 0～2 Feet 位，有効垂直距離の計算値と実測値との偏差はだいたい 0.5～10 Feet で，有効垂直距離の計算値と実測値との偏差は筒先圧力 P=80 Lbs/□ 以上で，偏差は急に大きく，6～10 Feet にもなつてゐる。

(iV) 尙繰返し述べるまでもなく，第5表，第6表の記載の数値は噴流の抛射角度 $\theta=0°, 90°$ の場合の有効射程である。任意の抛射角度の場合には，第5表及び第6表に於ける $x_e(\phi)$, $y_e(\phi)$ をそれぞれ長軸又は短軸とする楕円となることは，第1図～第4図をみて推定されるところであるが，この点に関しては，次回に報告致したいと思つてゐる。

文　献

(1) John. R. Freeman : Trans. Am. Soc. C. E., XXI (1888).

(2) N. F. P. A., HandBook of Fire Prevention, P. 1281, (1948)

(1953. 4. 6. 記)

高温氣体中を落下する水滴及び噴霧の蒸發（第2報）

——噴霧消火に関する理論的考察——

秋　田　一　雄

Study of Evaporation of Water Drops Falling down through the Air of High Temperature. (2nd Rep.)

K. AKITA

Chapter IV. Calculation of the time required in evaporation of a group of small drops,

In this report, a theoretical equation (IV-5) which shows the process of evaporation, in the high temperature air, of a group of small drops with the size distribution f (R) was introduced under the some hypothesis and a example of numerical calculation was given in the case of Rosin-Rammler size distribution.

Chapter V. Calculation cf the time required in evaporation of a group with larger diameter.

Here, a theoretical equation (V-12) which would be utilized with larger size drops was introduced and discuossed.

Note for equation :

M : weight of a group of drops in a time.
N : initial weight of a group of drops.
f(R) : size distribution of fog.
A, B : constant.
t : time.

Ⅳ. 噴　霧　の　蒸　発　時　間（その1）

——比較的小さい最大径を持つ水滴群が重力と抵抗の釣合の下に落下する場合——

§1. まえがき

Ⅰ.Ⅱ.章で噴霧を構成する水滴個々の蒸発時間を計算したので，次には之を基にして径の異る水滴の混つた噴霧の蒸発時間を求める。尚此の場合，前記の8つの仮定[14]に依然成り立つとし且つ水滴の最大径は比較的小さいとする。*と云ふのは，こうすると Ⅰ.章と同様近似的に水滴は靜止してゐるとみて良いので，理論が簡単になるからである。

* 平均径が大きい場合はⅤ章に取扱ふ。

§2. 各水滴の蒸發の經過

今記した如く，噴霧中の水滴は最大径でも尙比較的小さい（10^{-3}cm. 以下位とする）とすると，各水滴の蒸発の経過を示す $r=f(t)$ 式は I 章の結果[14]から

$$r^2=R^2-2At,\quad A=\frac{D(C_s-c)}{\rho} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-1)$$

となる。但し茲に R は始めの半径，r は t 時間後の半径を示す。

§3. 噴霧蒸發の基礎式

高熱の空間内に一定の分布型をもつて分配された水滴群（噴霧）が時間と共に如何に蒸発してゆくかを求めるわけであるが，そのためには先ず噴霧中，始めの径が R と R+dR の間にあるものに着目する。すると此の区間にある水滴群の重さを dM_0，t 時間後の重さを dM として考へた時，各水滴の蒸発の経過は全て同じである上，此の区間内の水滴数（濃度）は蒸発の有無に拘らず変らないから，結局始めと t 時間後の水滴の重さの比は，その内に含まれる各水滴径の3乗の比になる。即ち dR を小さく取れば次式が成り立つ。

$$\frac{dM}{dM_0}=\left(\frac{r}{R}\right)^3 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-2)$$

而るに R と R+dR の間にある水滴の重量は水滴の重量分布（分布密度）を f(R)，水滴（噴霧）の総重量を N とすれば

$$dM_0=N\cdot f(R)\,dR \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-3)$$

によつて与へられるべきだから（IV—2），（IV—3）式より次式を得る。

$$dM=N\left(\frac{r}{R}\right)^3 f(R).\,dR \cdots\cdots\cdots \text{IV}-4)$$

かくて，（IV—4）式は任意の時間に於ける R～R+dR 間の噴霧の重量を示す式となるが，更に $(r/R)^3$ は前記（IV—1）より知れてゐるので，之を入れると

$$dM=N\cdot\left(1-\frac{2A}{R^2}\cdot t\right)^{\frac{3}{2}}\cdot f(R)\,dR \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-5)$$

となつて，噴霧（R～R+dR 間の）の時間的変化を示す基礎式が得られる。

従つて，我々が或る時間後の噴霧の重量を知らうとすれば（IV—5）式を積分した式に必要な時間を入れれば簡単に求まるわけである。

§4. 噴霧の分布

（IV—5）によつて噴霧の蒸発の経過を示す基礎式が得られたが，此の式には分布型 f(R) を含むので，実際の計算には先ず之が分らないといけない。

而るに一般に之等分布は噴霧を作り出す方法その他によつて変る可能性があると共に，消火用噴霧に限らず，之を理論的に導くことは未だ行はれてゐない。そこで，結局は実測分布を用ひることになるが，消火用に使はれてゐる噴霧については，実測値さえ，殆どない現状なので，茲では塗料用 Spray や Diesel Engine 用噴霧に関して Mugel's, Evans[15] がまとめた次の5つの分布型の内，最も有名な Rosin-Rammler 型を取つて計算を進めてゆくことにする。*)

—噴霧の分布型—

① Rosin-Rammler 型[16]
② 抜山—棚沢型[19]
③ 対数確率型（log probability equ.）[18][19]
④ 修正確率型（modified probability equ.）
⑤ 特殊上限型（Special upper limit function）[15]

かくて，之によれば分布函数 F(R) は次式で与へられる。

$$1-F(R)=e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-6)$$

茲に 1−F(R)：R より大きい半径をもつ水滴の重さ**) $\bar{R}$：水滴の大きさに関する parameter,***) n：水滴の分布に関する parameter**).

*) 何の型が最も広い適用性を持つかは諸説まちまちだが，最も新しい報告をしてゐる Mugele, Evans[15] によれば（5）Special upper limit 型が最も良いと云ふ。

**) 何故に〔1−F(R)〕と取るかは此の式が元來，篩の残留量から導かれてゐるからに他ならない。

***) 実測値から次の如くにすると此の Parameter は定まる。即ち（IV—6）式を変型すると

$$\log\left\{\log\left(\frac{1}{1-F}\right)\right\}=n(\log R-\log\bar{R})\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-9)$$

となるから，$\log\left\{\log\left(\frac{1}{1-F}\right)\right\}$ と log R を両軸に取つた graph を画き直線の傾斜より n を，又此の直線が軸と交はる点より $\bar{R}$ が得られる。尙水滴径の平均値 R_{01} と R の関係は次の如くになる。 $R_{01}=\int_0^\infty R\,f(R)dR=\bar{R}\left(\frac{1}{n}.\right)\cdots\cdots\cdots(\text{IV}-10)$

但し此の場合，我々の欲しいのは分布函数ではなく分布密度であるから，(IV—6) 式の分布函数から分布密度を求めると

$$-\frac{dF(R)}{dR}=-n\frac{R^{n-1}}{\bar{R}^n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}$$

$$\therefore\ f(R)=\frac{dF}{dR}=n.\frac{R^{n-1}}{\bar{R}^n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}$$

……(IV—7)

となつて簡単に得られる。尙 (IV—7) 式は少々複雑なので之に $(R/\bar{R})=x$ なる置換を施すと分布密度 $f(x)$ は結局次のようになる。

$$f(x)=n.x^{n-1}.e^{-x^n}.\frac{1}{\bar{R}}\quad\cdots\cdots(IV—8)$$

§5. 噴霧の蒸發時間の計算法

以上で，噴霧蒸発の基礎式と分布が定まつたので，両者を組合はせると蒸発時間を計算する式が求まる。即ち，今簡単のために変数は x として (IV—5) 式を書き換へると

$$dM=N\left(1-\frac{2At}{\bar{R}^2x^2}\right)^{\frac{3}{2}}f(x)\,R\,dx$$

……(IV—11)

故に之に (IV—8) を入れて

$$dM=N\left(1-\frac{2At}{\bar{R}^2x^2}\right)^{\frac{3}{2}}n.x^{n-1}.e^{-x^n}dx$$

$$=N\left(1-\frac{Y}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}}nx^{n-1}e^{-x^n}dx.$$

……(IV—12)

を得る。但し茲に $Y=\frac{2At}{\bar{R}^2}$ ……(IV—13)

で，Y は時間に関する変数を示す。

そこで，次に (IV—12) 式を水滴径の全範囲にわたつて積分すれば*)

$$M=\int_{\sqrt{Y}}^{\infty}N\left(1-\frac{Y}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}}nx^{n-1}e^{-x^n}dx$$

……(IV—14)

となつて，所要の水滴重量（未蒸発量）と時間の関係が得られるが，(IV—14) 式は全噴霧の蒸発が完了した時，云ひかへれば $Y=x^2$ の時 $M=0$ となるし又蒸発の起らない時，($Y=0$ の時) $M=N$ となるべきだから**，未蒸発量 M を其の儘，用ひるより之を総重量 N で割つた割合を用ひる方が便利なので茲では (IV—14) 式を次の如くに変型して用ひる。

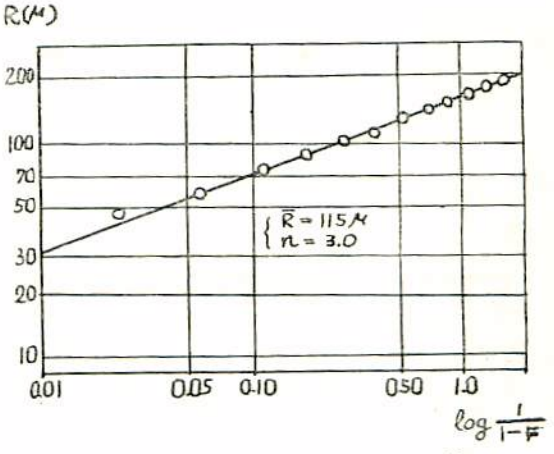
$$\frac{M}{N}=\int_{\sqrt{Y}}^{\infty}\left(1-\frac{Y}{x_2}\right)^{\frac{3}{2}}nx^{n-1}e^{-x^n}dx$$

……(IV—15)

さて，そこで (IV—15) 式の積分であるが，之は極めてやつかいなので，解析的に解くことはやめて，$\frac{1}{N}\left(\frac{dM}{dx}\right)$ と x の曲線を図上で数値的に求め，その曲線下の面積を測ると云ふ図式解法による方が良い。次節にこのような方法で行つた計算例を示す。

§6. 計 算 例

本報では既に記した通り噴霧の分布の理論的誘導は之を行つてないから，実際に蒸発時間を計算するに当つては分布の実測値を一つ持つてこなくてはならない。而るに消火用噴霧の実測値は全くないので，便宜上 Rosin-Rammler 型の分布に従ふことが認められてゐる Lee の測定値[20] を使用することにする。図. IV—1 には此の値を (IV—9) 式に従つて整理したものを示した***)。



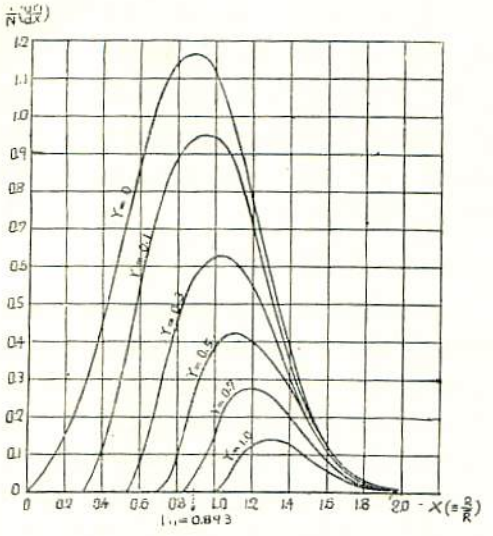
第1図　噴霧の分布（Lee による）

*) 積分の範囲は水滴の最小径から最大径迄取るべきだが，余り大きいものや余り小さいものは少いことを考へると 0 から ∞ 迄として良い。而し此の場合，$x=\sqrt{Y}$ 以下は無意味だから，結局積分範囲は $\sqrt{Y}$ から ∞ 迄となる。

**) 分布密度 $f(x)$ は規格化されてゐるから $\int_0^{\infty}f(x)dx=\int_0^{\infty}nx^{n-1}e^{-x^n}\frac{dx}{\bar{R}}=1$ となる。

***) 此の実測値によつて先の分布式の Parameter を決めると $n=3.00$，$\bar{R}=0.0115$ となり，平均値 $R_{\bar{a}}=0.0102$ cm，最大径 $R_{max}=0.020$ cm となる。従つて此の結果は必ずしも本章で扱ふ範囲に入らないが，他に適当な値がなかつたことと計算の例を示す意味しかないので敢て之を利用した。

こうすると此の例では脚註に示したように分布式の Parameter は $n=3.00$, $\bar{R}=0.0115\text{cm}$ となるから $x=0.0115\bar{R}$ となり，(IV—12) 式を用ひて $\frac{1}{N}\left(\frac{dM}{dx}\right)$ と x の関係を各種の Y について画くと 図. IV—2 の如くになる。之から各曲線下の面積を Y=0 の時を 1 として「プラニメーター」で測ると，Y に対する面積，換言すれば未蒸発量 $\frac{M}{N}$ が得られる。而るに Y は (IV—13) 式により時間の函数だから，更に之を t に直すと 結局，$\frac{M}{N}$ と t の関係が求まることになる。表. IV—1 に夫々の値を 図. VI—3, に最後の結果を示した。



第 2 図　$\frac{1}{N}\left(\frac{dM}{dX}\right)\sim X$ 曲 線

表. IV—1.

r	0	0.1	0.3	0.5	0.7	1.0
$\frac{M}{N}$	1.000	0.724	0.432	0.265	0.151	0.079
t	0	0.129	0.388	0.648	0.905	1.293

図. IV—3 から未蒸発量は時間と共に急激に減少することが分るが，尚噴霧が完全に消失する時間は (IV—15) 式で $Y=x^2_{max}$ の時，即ち最も大きい水滴が蒸発し尽す時間を示す式

$$t_e=\frac{R^2_{max}}{2A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(IV—16)$$

から，先の値 $R_{max}=0.020\,\text{cm}$ を用ひ $t_e=3.19$ sec と計算される。

§7. 各水滴の落下を考慮に入れた場合の蒸發時間の計算式

今迄の所は水滴は小として，その落下を無視し靜止の場合の式を用ひたが，若し，いくら水滴は小さくても尚落下してゐると考へるならば其の時は (IV—1) 式の代りに II 章[15] で得た (II—22) 式を用ひねばならない。従つて此の場合は次の如くになる。

(II—22) より

$$r^2=\frac{1}{\sqrt{B_s}}\cdot\tan\left\{\tan^{-1}(\sqrt{B_s}\cdot R^2)-2A\sqrt{B_s}\cdot t\right\}$$

$$\fallingdotseq\frac{1}{\sqrt{B_s}}\left\{\tan^{-1}(\sqrt{B_s}\cdot R^2)-A\sqrt{B_s}\cdot t\right\}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(IV—17)$$

$$\therefore\quad r=B_s^{-\frac{1}{4}}\left\{\tan^{-1}(\sqrt{B_s}\cdot R^2)-2A\sqrt{B_s}\cdot t\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots(IV—18)$$

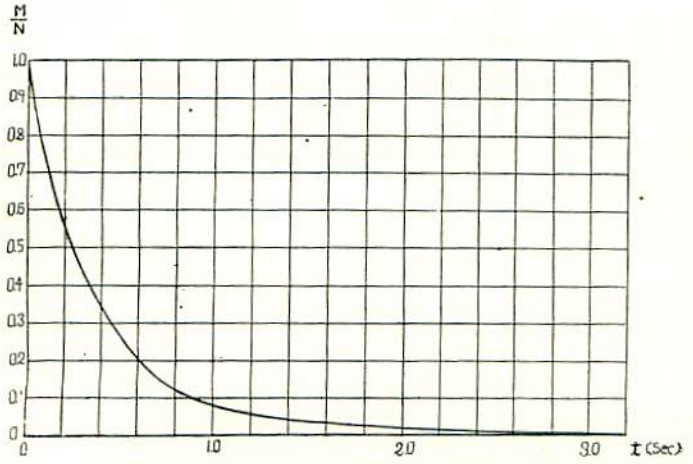
之を (IV—4) に入れると

$$dM=\frac{N}{R^3}\cdot B_s^{-\frac{3}{4}}\left\{\tan^{-1}(\sqrt{B_s}\cdot R^2)-2A\sqrt{B_s}\cdot t\right\}^{\frac{3}{2}}\cdot f(R)\,dR$$

前と同じに分布型に Rosin-Rammler 型として，更に $\frac{R}{\bar{R}}=x$ と置くと

$$dM=\frac{N}{R^3x^3B_s^{\frac{3}{4}}}\left\{\tan^{-1}\sqrt{B_s}\cdot R^2x^2)-2A\sqrt{B_s}\cdot t\right\}^{\frac{3}{2}}\cdot n\cdot x^{n-1}\cdot e^{-x^n}\,dx$$

$$=N\left(\frac{\alpha}{x}\right)^3\left\{\tan^{-1}\left(\frac{x^2}{\alpha^2}\right)\right.$$



第 3 図　噴霧の未蒸発量と時間の関係

$$-2A\sqrt{B_s}\cdot t\Big\}^{\frac{3}{2}} n\cdot x^{n-1}\cdot e^{-x^n}dx$$

$$=N\cdot\left(\frac{\alpha}{x}\right)^3\left\{\tan^{-1}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^2-Y\right\}^{\frac{3}{2}}$$

$$\cdot\, nx^{n-1}e^{-x^n}dx \cdots\cdots\cdots\cdots(IV—19)$$

茲に

$$\alpha=B_s^{-\frac{1}{4}}R^{-1},\qquad Y=2A\sqrt{B_s}\,t$$

となる。

故に 之から

$$\frac{M}{N}=\int_{\alpha\sqrt{\tan Y}}^{\infty}\left(\frac{\alpha}{x}\right)^3\left\{\tan^{-1}\left(\frac{x}{\alpha}\right)^2-Y\right\}^{\frac{3}{2}}$$

$$\cdot\, nx^{n-1}e^{-x^n}dx \cdots\cdots\cdots\cdots(IV—20)$$

が，求める未蒸発量と時間の関係式となる。此の場合の数値計算は行はないが，計算法は前と全く同様にして行ふことが出来る筈である。尚 (IV—20) 式は $\tan^{-1}$ 項を展開し第1項を取ると (IV—15) 式と全く一致することは云ふ迄もない。

§8. あとがき

以上，本報では径が異つた多くの水滴から成る噴霧が蒸発してゆく経過を特に水滴径が全般的に小さい場合について論じた。従つて茲で問題にしてゐるのは小さい水滴から成る噴霧全体の重量の変化であつて，水滴個々の蒸発ではない。而るに上記の計算より明な通り，噴霧が蒸発を完了する時間に就いては，その最大径を有する水滴に支配されると云ふ矛盾がある。そこで，之等のことを考へると結局の所，噴霧全体が完全に消失する時間の意味は大して重要ではなく，むしろ噴霧の 90% とか 95% とかが蒸発する時間の方がより重要なのではないかと考へられる。

参 考 文 献

14) 秋田：消研報 3 4 (1952) (I. II. III 章).

15) R. A. Mugele, H. D. Evans : Ind. Eng. Chem. 43 (1951) 1317.

16) P. Rosin, E. Rammler : Z. Ver. deut. Ing. 71 (1927) 1., J. Inst. Fuel. 7 (1933) 29.

17) 抜山，棚沢 : Trans. Soc. Mech. Eng. (Japan). 4 No. 14. (1938) 86, 5 No. 15. (1939) 138, 6 No. 18 (1940) 68, 63. 6 No. 22, II—7, No. 23, II—8 (1940).

18) R. S. Bevans : "Mathmatical Expressions for drop size Distributions in sprays" Conference on Fuel sprays, University of Michigan. March. (1949)

19) W. E. Howell : T. Meteorol. 6 (1949) 134～139.

20) D. W. Lee : Natl. Advisory. Comm. Aeronaut. Tech. Rept. 425 (1932).

V. 噴 霧 の 蒸 発 時 間 《その2》

——大きい最大径を持つ水滴群が重力と抵抗の釣合の下に落下する場合——

§1. 噴霧の大きさの分類

前章に引続いて水滴の最大径が大きい場合の噴霧の蒸発時間を計算するに先だつて，噴霧を形成する各水滴の大きさを分類してみると，既に II. III 章[14] で試みたように水滴の運動方程式の変る大きさ，云ひ換へれば蒸発の経過が変る大きさを目安にして大体次のようになる。即ち

① 水滴の大部分が半径 8×10^{-3}cm より小さい時。

② 水滴径が 8×10^{-3}～2×10^{-2}cm の間に入る時。

③ 水滴の大部分が半径 2×10^{-2}cm より大きい時。

④ 之等の各範囲に水滴径がまたがつてゐる時。

がそれである。従つて不揃ひの径を有する水滴群の蒸発時間の計算は，此の径の場合について全て行ふ必要があるわけだが——前章は此の中の①の場合を取扱つたにすぎない。——此の中④は最も一般的な場合で，之から①②③は当然，特殊の場合として導げる性質のものであるから，茲では以下④の場合について計算を行ふことにする。

§2. 考へ方

一般に，相当大きな水滴を含む噴霧を理論の対象にすると，何うしても①の場合のように水滴の蒸発の経過は何れでも同一とすることは出来ないので，始めの水滴の大きさに応じて夫々異つた $r=f(t)$ 式を用ひねばならぬ一方，大きな水滴が蒸発して小さくなるに及んでも又その経過を示す式を変へねばならない。従つて，此の場合，現象を正確に表現しようとすれば問題は頗る複雑になるが，之ではとても手に負へないので，玆では便宜上，次の如き仮定を本研究の始めに記した8つの仮定[15]の上に加へ，問題を単純化して近似的に之を取扱ふことにする。

(a) 1箇の水滴が蒸発する際，その経過は始めの大きさに従つて決まる一つの $r=f(t)$ 式で表はされ，水滴が小さくなつても $r=f(t)$ 式は変らない。（III章参照）

(b) 温度の高い気体で充たされた空間は大きく，最大径をもつ水滴でもその内部で完全に蒸発し，通り抜けることはない。

かくて，之等の仮定を入れて考へると各粒子は前記の始めの半径の範囲に応じた3つの式の何れかに従つて最後迄蒸発することになるから，今，不揃ひの径をもつ噴霧を3つの group に分け，その各々について前章と同じ方法で蒸発時間を計算し，次いで之等を足し合せれば，求める噴霧全体の蒸発の経過が分ることになる。云ひかへれば本報に於ては噴霧を3つに分け，各 group を異つた $r=f(t)$ 式に従ふとして，前報の理論を拡張，一般化するものに他ならない。以下，もう少し具体的に之を計算してみる。

§3. 噴霧の蒸發時間式

(1) 各水滴の蒸発時間式

先ず1箇水滴の蒸発時間式を求めると II. III 章より明な通り，水滴の落下も考慮に入れて近似的に次のようになる。

水滴径 (cm)	型　式	$r=f(t)$ 式	式番号	註
8×10^{-3}cm 以下	stokes 型	$r=(R_2-2At)^{\frac{1}{2}}$	(V—1)	(I—4)又は(II—23)より
$8\times10^{-3}\sim2\times10^{-2}$cm	中間型	$r\fallingdotseq R-\frac{A(B_mR+1)}{R}.t$	(V—2)	(II—18)の近似又は(III—16)より
2×10^{-2}cm 以上	Newton 型	$r\fallingdotseq(R_1^5-\frac{5AB_N}{4}.t)^{\frac{4}{5}}$	(V—3)	(II—14)の第1項又は(III—12)より

(2) 噴霧蒸発の基礎式

噴霧の重量分布が $f(R)$ で表はされる時，半径が R と R+dR の間にある水滴の重量が時間的に何う変るかは前章と全く同型の次式で考へられる。

$$dM=N.\left(\frac{r}{R}\right)^3 f(R)\,dR \cdots\cdots\cdots(V—4)$$

そこで，此の場合にも各 group に含まれる各水滴については (V—4) 式が成り立つ筈で，結局，此の式に (V—1). (V—2). (V—3) 式を入れた

$$dM_1=N\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}} f(R)\,dR \cdots\cdots(V—5)$$

$$dM_2=N\left(1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.t\right)^3 f(R)\,dR \cdots\cdots\cdots\cdots(V—6)$$

$$dM_3=N\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.t\right)^{\frac{12}{5}} f(R)\,dR \quad (V—7)$$

但し $A=\frac{D(C_s-C)}{\rho}$, $B_m=\beta'\sqrt{k_m}$ (II—18) 式参照[15]，$B_N=\beta'\sqrt{k_N}$ (II—14) 式参照[15]

式が各範囲についての求める基礎式となる。

(3) 噴霧の蒸発時間式

次に噴霧全体の蒸発時間を計算するには先ず基礎式を必要な範囲にわたつて積分する必要があるので，之を行ふと

$$M_1=N\int_{\sqrt{2At}}^{R_1}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}} f(R)\,dR \quad (V—8)$$

$$M_2=N\int_{R_1}^{R_2}\left(1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}t\right)^3 f(R)\,dR \cdots\cdots\cdots\cdots(V—9)$$

$$M_3 = N\int_{R2}^{\infty}\left(1-\frac{AB_n}{4R^{5/4}}.t\right)^{\frac{12}{5}} f(R)\,dR \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-10)$$

茲に $R_1 = 8\times10^{-3}$cm, $R_2 = 2\times10^{-2}$cm を意味する。

而るに，噴霧全体の重量は各 group の重さを加へ合せたものに等しいから，(V—8). (V—9) (V—10) 式を足し合はせると次の如くになる。

$$M = M_1 + M_2 + M_3 = N\left\{\int_{\sqrt{2At}}^{R1}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}} f(R)\,dR + \int_{R1}^{R2}\left(1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.t\right)^3 f(R)dR + \int_{R2}^{\infty}\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.t\right)^{\frac{12}{5}} f(R)dR\right\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-11)$$

(V—11) 式が噴霧の或る時間に於ける重量（未蒸発量）を示す式に他ならないが，茲でも前報と同じに始めの全重量に対する未蒸発量の比を取る方が便利なので (V—11) 式を変型しておこう。

$$\frac{M}{N} = \int_{\sqrt{2At}}^{R1}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}} f(R)\,dR + \int_{R1}^{R2}\left(1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.t\right)^3 f(R)\,dR + \int_{R2}^{\infty}\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.t\right)^{\frac{12}{5}} f(R)\,dR \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-12)$$

(4) Rosin-Rammler 型分布を用ひた蒸発時間式

今求めた蒸発時間一般式に Rosin-Rammler 型の分布式を入れた場合の結果を示すと次のようになる。即ち 前章より此の型の分布式は

$$f(R) = n\frac{R^{n-1}}{\bar{R}_n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}$$

として表はされるから，之を (V—12) に入れて

$$\frac{M}{N} = \int_{\sqrt{2At}}^{R1}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}} n\frac{R^{n-1}}{\bar{R}^n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}dR + \int_{R1}^{R2}\left(1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.t\right)^3 n\frac{R^{n-1}}{\bar{R}^n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}dR + \int_{R2}^{\infty}\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.t\right)^{\frac{12}{5}} n\frac{R^{n-1}}{\bar{R}^n}e^{-\left(\frac{R}{\bar{R}}\right)^n}dR \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-13)$$

がそれである。尚此の式は複雑故，$\frac{R}{\bar{R}} = x$ とおいて変型すると

$$\frac{M}{N} = \int_{\sqrt{Y_1}}^{\bar{R}x_1}\left(1-\frac{Y}{x^2}\right)^{\frac{3}{2}} nx^{n-1}e^{-x^n}dx + \int_{\bar{R}x_1}^{\bar{R}x_2}\left(1-\frac{\bar{R}B_mx+1}{x^2}.Y_2\right)^3 nx^{n-1}e^{-x^n}dx + \int_{\bar{R}x_2}^{\infty}\left(1-\frac{Y_3}{x^{5/4}}\right)^{\frac{12}{5}} nx^{n-1}e^{-x^n}dx \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-14)$$

となつて，いくらか簡単になる。但し式中 Y_1, Y_2, Y_3 は夫々 $Y_1 = \frac{2A}{\bar{R}^2}t$, $Y_2 = \frac{At}{\bar{R}^2}$, $Y_3 = \frac{5AB_N}{4\bar{R}^{5/4}}.t$ で時間に関する変数を示してゐる。

§4. 噴霧の蒸發時間の計算法

前記蒸発時間式を実際に計算するためには，極めて複雑な積分を解かねばならないが，之は困難なので前報と同様，図式解法によるとすると，そのためには先ず右辺の第1項のみを取つて $\frac{1}{N}\cdot\frac{dM}{dx}$ と x の曲線を或る時間 t に対応した Y_1 について画き，その曲線下の面積を $\sqrt{Y_1}$ と $\bar{R}x_1$ の範囲について求め，次いで，第2，第3項に対しても，全く同様のこと——此の場合には同じ t に対応する Y_2, Y_3 について $\frac{1}{N}\frac{dM}{dx}$ と x の曲線を画くことは云ふ迄もない。——を行ひ，然る後，之等の3項から得た面積を足し合はせれば良い。すると之より任意の時間 t に於ける $\frac{M}{N}$ 即ち 未蒸発量の割合が求まるから，之を各種の t について繰返せば噴霧の全未蒸発量が時間的に何う変るかが一本の曲線として与へられることになる。

尚，此の場合，面積の測定に当つては (V—14) 式で $Y_1 = Y_2 = Y_3 = 0$（時間 零）とおいた式

$$\frac{M}{N} = \int_{\sqrt{Y_1}}^{\bar{R}x_1} nx^{n-1}e^{-x^n}dx + \int_{\bar{R}x1}^{\bar{R}x2} nx^{n-1}e^{-x^n}dx + \int_{\bar{R}x2}^{\infty} nx^{n-1}e^{-x^n}dx = \int_{\sqrt{Y_1}}^{\infty} nx^{n-1}e^{-x^n}dx = 1 \qquad \cdots\cdots\cdots(V-15)$$

が1となることを利用して Y=0 の時の全範囲の面積を規準に取るべきで，各 group 毎の面積を規準にとつてはならない。

§5. 考　　察

(V—12) 式又は (V—14) 式によつて，噴霧の未蒸発量と時間の関係が求まつたわけであるが，既に記した通り，之等の取扱ひは最も一般的なものであるから，之から特殊な場合の式が次の如くに簡単に導ける。

(1) 水滴の大部分がより R_1 小さい時

此の時は $R_1=8\times10^{-3}$cm 以上の径をもつ水滴は全くないから (V—12) 式の右辺第2，第3項はなく

$$\frac{M}{N}=\int_{\sqrt{2At}}^{R_1}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}}f(R)\,dR$$

$$\fallingdotseq\int_{\sqrt{2At}}^{\infty}\left(1-\frac{2At}{R^2}\right)^{\frac{3}{2}}f(R)\,dR \quad \cdots(V-16)$$

となり，前章 (IV—11) 式を積分したものと一致する。

(2) 水滴径が R_1 と R_2 の間にある時

第1，第3項はないので

$$\begin{cases}\dfrac{M}{N}=\displaystyle\int_{R_1}^{R_2}\left\{1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.\,t\right\}^3 f(R)\,dR\\[2ex] \fallingdotseq\displaystyle\int_{\alpha}^{\infty}\left\{1-\frac{A(B_mR+1)}{R^2}.\,t\right\}^3 f(R)\,dR\\[2ex] \alpha=\dfrac{AB_mt+\sqrt{A^2B_m{}^2t^2+4At}}{2} \quad \cdots(V-17)\end{cases}$$

が求める式となる。

(3) 水滴の大部分が R_2 より大きい時

此の際は前式で第1，第2項はないから次式を得る。

$$\begin{cases}\dfrac{M}{N}=\displaystyle\int_{R_2}^{\infty}\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.\,t\right)^{\frac{12}{5}}f(R)\,dR\\[2ex] \fallingdotseq\displaystyle\int_{\beta}^{\infty}\left(1-\frac{5AB_N}{4R^{5/4}}.\,t\right)^{\frac{12}{5}}f(R)\,dR\\[2ex] \beta=\left(\dfrac{5AB_N}{4}.\,t\right)^{\frac{4}{5}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(V-18)\end{cases}$$

かくて，之等より前記の分類に於いて，その小さい範囲内の水滴のみから成る噴霧の蒸発時間式が得られるが，更に前の一般式に遡つて，その式の極限の場合を考へると，先ず蒸発を始める前は (V—15) 式と同様 M=N となるから，未蒸発量は総量に等しく，且つ蒸発が進んで小さい水滴が消失すると (V—12)，(V—14) 式で右辺は第1項から次第に消え第3項が消えて蒸発は完了することになり，何れも予想通りとなる。

尚，蒸発して水滴数が減つてゆく様子をもう少し詳しく考へると時間が $t=\frac{R_1{}^2}{2A}$ になつた時第1項は零，$t=\frac{R_2{}^2}{A(B_mR+1)}$ の時，第2項も零，最後に $t=\frac{4R_{max}^{\frac{5}{4}}}{5AB_N}$ で $\frac{M}{N}=0$ となることが (V—12) 式から簡単に分るから，噴霧全体が完全に消失する時間 t_e は

$$t_e=\frac{4R_{max}^{\frac{5}{4}}}{5AB_N} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(V-19)$$

茲に　Rmax は全水滴中最も大きい水滴の半径を意味する。

として計算され，此の値のみが必要なら，わざわざ (V—12)，(V—14) 式を解く迄もなく，(V—19) から直接得られることが之から了解される。

(附　記)

IV. V 章では水滴径が揃つてゐない噴霧についてのみ考へたが，水滴径が揃つてゐる場合や平均水滴径で置きかへられる場合には云ふ迄もなく I，II 章で記した単独な水滴の蒸発時間が適用される。

尚，茲で取扱つた方法は一定の分布をもつ水滴集団が塊まつて落下する場合の計算だから，次から次にと連続して落下する噴霧には其の儘では適用されない。

参 考 文 献

14)　秋田：消研報　3　4 (1952).

煙による火災感知の研究（其の1）

煙感知器の試作

守屋忠雄

Study on Fire Detection with Smoke (Part 1)

Smoke Detector Produced by the Author

T. MORIYA

The smoke is an effective means for detecting fire in its incipient stage. With this idea, a type of smoke detector was made. The construction and capacity will be given in this report.

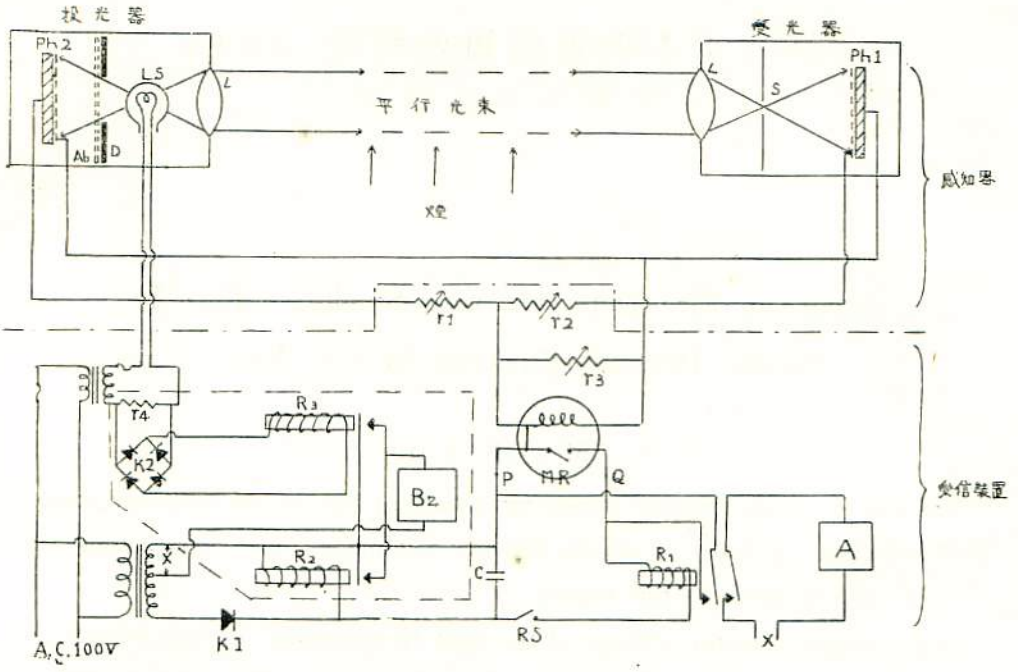
In this smoke detector, change of the light transmission through smoke has been utilized. A differential circuit with the two photovoltaic cells is used in the system. The detector is sensitive enough to detect the smoke which light transmission rate is 80%. Satisfactory operation is secured for a long period.

1. 緒　言

少数の例外を除き大部分の火災はその初期から煙を発生する。従つて此の煙の有無を絶えず自動的に監視する事が出来れば，火災そのものの発生を監視する事が出来る。煙による火災感知は従来から船舶で用いられて居り，その方式には煙を通しての透過光の変化を利用したものと，煙粒子による散乱光を利用したものとがある。煙感知器は温度火災感知器に比べ構造複雑で火災を極早期に発見出来る特長を有する反面保守に手数を要する為，陸上では未だ一般に用いられて居ない。これを陸上で普及させる目的で，構造簡単で保守の容易なものを試作して見たので其の結果を御報告する。

2. 試作煙感知器の構造と動作

試作煙感知器は透過光型で，その構造概略は第1図に示される。簡単に説明すれば，投光器からの平行光束を受光器内の光電池 Ph_1 に受ける。この Ph_1 と，投光器の光源の傍にあつて適当照度で照射された光電池 Ph_2 とは，差動的に接続されて居る。光路に煙のない時にはこの差動光電池回路は平衡を保つていて，メーターリレー MR には電流が流れないが，平行光束中に煙が侵入すると不平衡電流が流れて，リレー R_1 を介して警報装置 A がはたらく。差動光電池回路であるから電圧変動により光源光度が変つても，煙のない限り MR の電流は零で影響はない。この差動回路を平衡させるには，投光器内光電池の前にある絞り D と減光板 Ab の調節によつての両光電池への入射光量比の調節と，抵抗 r_1，r_2 の調節により行う。[1] 二個の光電池は特性の等しいものを選ぶ必要はない。スリット S は受光器に指向性を与へ，外光の影響を避けるためである。破線で囲まれた部分は故障信号装置で，光源の断線と電圧の低下を報知する。もしこの装置の電源に電池を使用すれば停電を報知出来る。投光器と受光器（図で鎖



LS	光源 50 W 自動車ヘッドライト用電球	R_1	リレー　感動電流 約 30 mA
L	直径 4 吋 F 1.3 平凸レンズ	R_2	リレー　電圧降下表示用
Ph_1 Ph_2	セレン光電池 45 m.m.φ	R_3	リレー　光源断線表示用
D	可変絞り	A	警報ベル
Ab	減光板	B_z	ブザー
S	スリット直径 3 粍～10 粍	C	コンデンサー 8 μF
r_1 r_2	可変抵抗 約 1 kΩ	r_4	光源断線表示リレー電圧取出シ用
r_3	可変抵抗 約 1 kΩ 感度調整用	K_1 K_2	セレン整流器
MR	メーターリレー感動電流 10 μA 以下 内部抵抗 1 kΩ 以下	RS	復帰スウイッチ

第 1 図　煙感知装置（単式）概略図

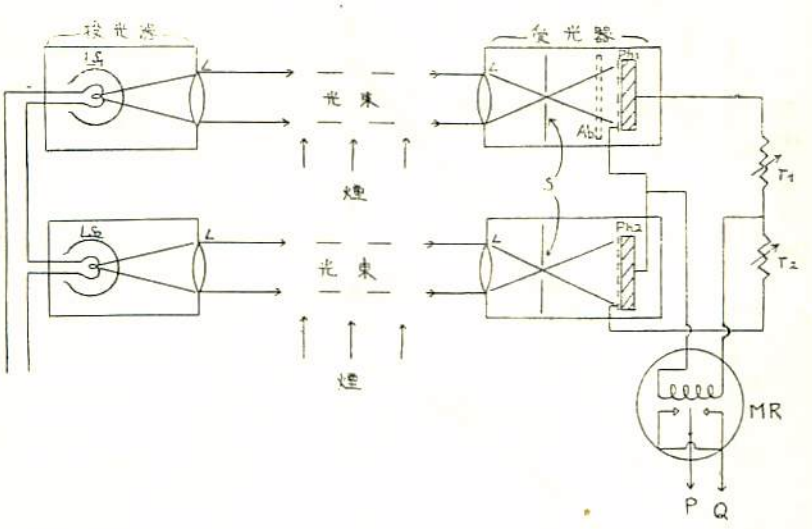
線より上の部分）は火災を感知しようとする室に設置されるが，受信装置（図で鎖線より下の部分）はこれより離れた守衛室等に設けられる。広い空間を監視する為に数個の煙感知器を使用するときは，それらを並列に一個の受信装置に接続する事も出来るが，第 2 図の如く互に直列又は並列に接続された二個の光源の光を夫々別の光電池に投射し，これら二個の光電池で差動回路を作り，これを両側接点のメーターリレーに接続すれば，一個の受信装置で二個の感知器を受け持てる。

メーターリレー[2] は動作電流が 10 μ A 以下のもので，可動線輪に生ずる廻転トルクが非常に小さく従つてスプリングも弱い為，屢々接点が粘熔着を起す。故にこれを引き離す為に第 3 図の如く復帰スウイッチを利用して 100 μA オーダーの逆方向電流をリレー線輪に加へ接着を離反する。此の逆電流は，スムースな直流を用いると，動接点が反射側の指針止めに再び粘着する事がある為，脈直流を用い，接点の動きに

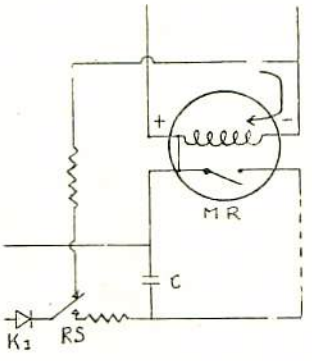
振動を混ぜる。

こゝに述べた型の差動光電池式煙感知器は従来あるもの[3]が被監視室の煙を煙管を通して感知器の中に吸入すると云う方式で使用せねばならなかつたのに反し，目的の室に直接設置して使用するに適してゐる。〔(3)に記載のものは一方の光路を筒で外部と遮断しないと差動しない。〕

又，差動回路の平衡が任意の光電池を使つて容易に得られる。[1]



第 2 図　煙感知器複式



第 3 図　接点溶着離反装置

3. 諸特性

(1) 透過率と不平衡電流

平行光束中の遮光物質の透過率と差動回路不平衡電流 即ち メーターリレーを流れる電流との関係の数例を第4図に示す。図で (1). (2). (3) は同一差動回路で 両光電池の 照射照度を変へた場合である。(光源の電圧を定格の 80. 100. 120%にした) いづれも 電流 - 透過率 曲線は直線よりやゝ下方に彎曲する。

参考の為に此の場合のデーターを示せば

光電池感度	投光器内のもの	50½μA/150Lx	メーター内部抵抗 230 Ω
	受光器内のもの	35 μA/150Lx	〃

のものを使用し平衡時の照射量は各場合，次の様である。

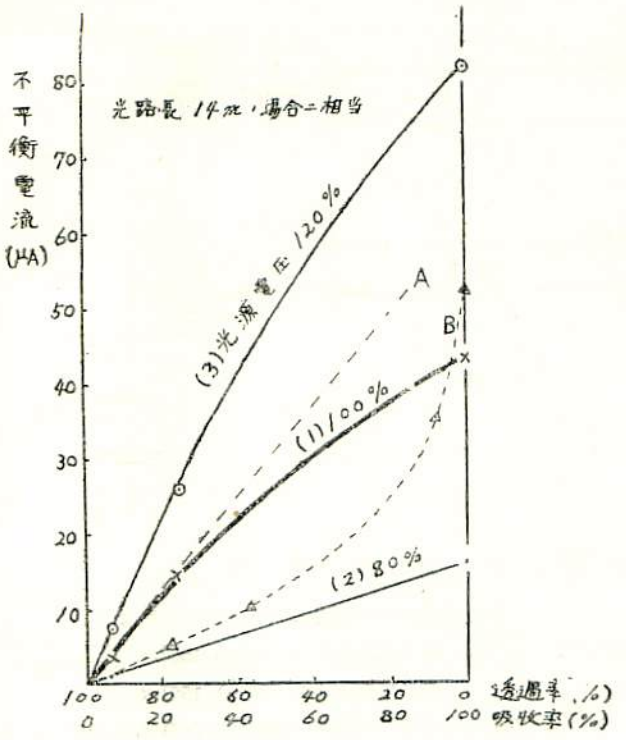
	(1)	(2)	(3)	
投光器照射量	150 Lx	50 Lx	330 Lx	r_1=420 Ω
受光器照射量	167 Lx	56 Lx	367 Lx	r_2= 0 Ω

(1)の照射量は第7図によると，筆者の設計した煙感知器では大凡光路5米の場合の照射照度に相当する。

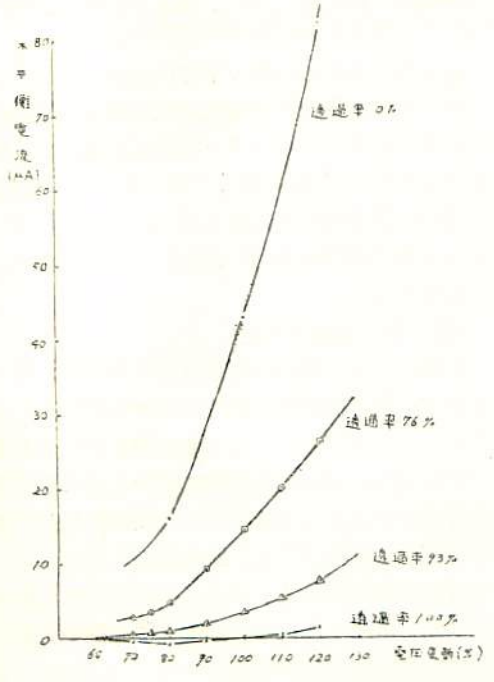
電流透過率曲線はやゝ下方に彎曲する場合が多いが使用光電池の光電流照度特性の直線性のよいものをえらびメーターに内部抵抗の小さいものをえらべば A の如く直線になる。又 両光電池の内部抵抗の電圧による変化の具合によつては 其等の組合せで B の如く 上方に彎曲することもある。

(2) 電圧変動と感度

第5図は光源電圧の変動と不平衡電流の関係を示す。成る程本器の如く光電池差動回路を用れば，光源光度の低下により受光量が減少し煙の光路侵入と同一の光学的効果を生じても誤報を出すといふことはないが，光度が変動して各照射照度が変動すると，遮光物の透過率は同一でも不平衡電流は変化する。其の変化は光源光度の変化に略々比例し，而も光源光度の変化は電圧の 3.6 乗 に比例するから不平衡電流の変化はかなり大きい。



第 4 図



第 5 図

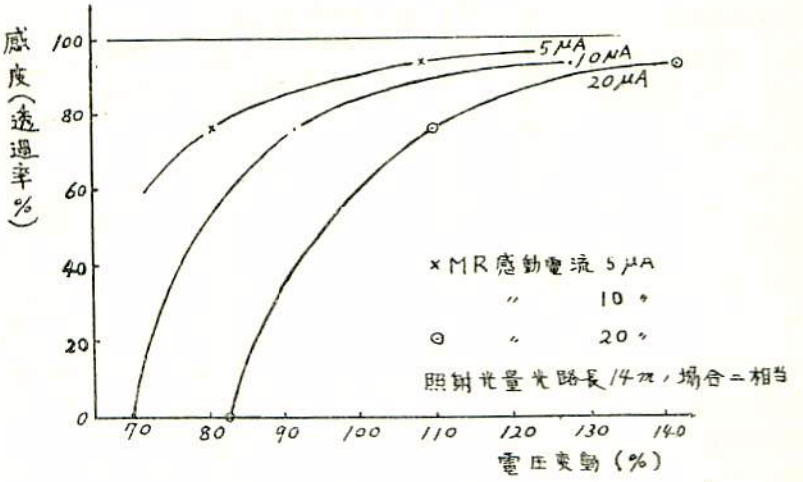
然るにメーターリレーの感動電流値は一定値に定つてゐるから，光源電圧が変ると リレーの動作する透過率が変る事になる。即ち感知感度が変化する。今,感知感度を透過率(%)で表すとすれば，光源電圧変動と感度の関係は第5図を用ひて第6図の如く表はされる。電圧変動に対し感度変化を少くするには電圧定格の時の感度を成る可く高く保つ方がよいことが分る。

電圧変動で感度が変る事は不都合を生ずる事もあるので,次の様な方法で感度変動をさけることも出来る。即ち，メーターリレーの固定接点を電流零の位置に設け，電流零で接点が接触する様にする。一方投光器光電池 Ph_2 の入射光量は絞りの調節により平衡させるに必要な光量より丁度検出しようとする透過率の比率に逆へらしておく。云ひ換れば検出感度を80%にするには Ph_2 の入射光量を予じめ平衡光量の80%にしておく。斯様にしておけば，光路に吸光物質のないときは回路は不平衡状態で MR には ⊖ 方向の電流が流れてゐるから接点は接触しないが透過率80%の吸収がおこれば光源電圧の如何に拘らず回路は平衡し接点が接触して次段回路が動作する。つまり零点で動作させるから，光源が変動しても感度は影響を受けないわけである。この方法だと停電後の送電開始のとき，誤報を出す虞れがあるが，これは固定接点を零点より極く僅か ⊕ の方向（動接点を遠ざかる方向）へずらせておけばさけられる。唯此の方法は両側接点のメーターリレーを用ひる複式煙感知器には応用出来ない。

(3) 光束の長さと感度

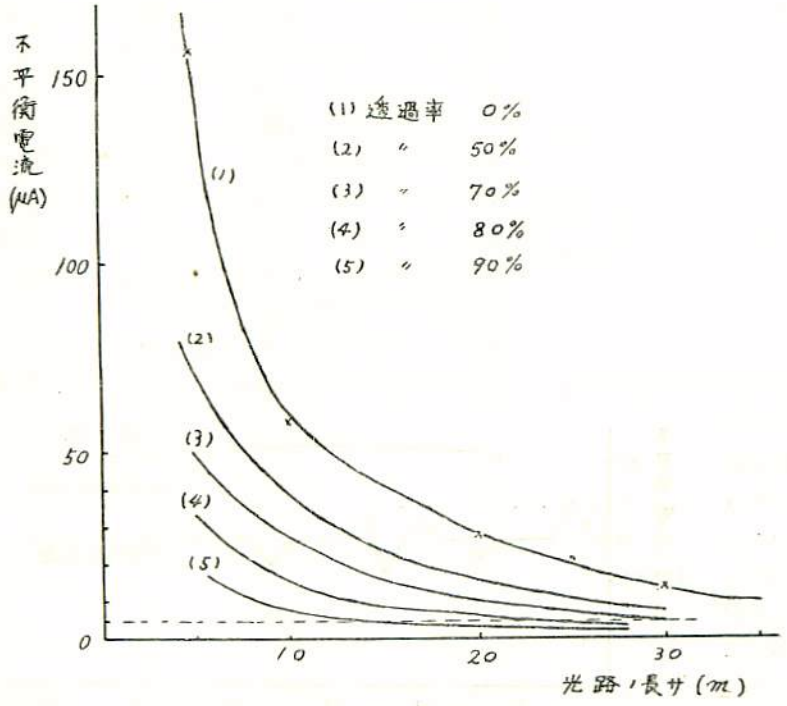
完全な点光源から平行光束を出せば照度は光束の通過距離に関係しないが，実際には光源は有限の大いさをもち，従つて完全な平行光束は得られないから，受光器照度は距離が長くなるに従い減少する。従つて光束が遮られた時の不

平衡電流も透過率が同一でも光路と共に減少する。不平衡電流と光路長の関係は，光源レンズ其の他に第1図の規格のものを，光電池は感度 40 μA/100 Lx のものを用ひて第7図の如くである。メーターリレーの最低感動電流を5μA とすれば図で5μA の点線より上に含まれる透過率及び光路長で感知器は動作する。



第 6 図

第7図を用ひれば光路長と感度の関係がリレー感動電流の各値に対して第8図の如く表される。明らかに光路が長くなると感度は低下する。しかし，こゝに注意せねばならぬ事は，こゝに云ふ感度はさきに定義した通り透過率の検出能力であつて，光束の中に存在する煙の濃度の検出能力ではない。光路が長くなれば，一般的には通過する煙の層も厚くなり，透過率もそれに応じて減少するから，* 煙濃度を検出する能力は第8図程には減少しない。この点に就いては更に続報で詳論する。又，実際には後述の誤報，動作安定性の考慮から感知器感度はあまり上げられぬ事が多いし，光路が長い方が警戒面積の広くなる事を考へると，長い方が有利な場合が多い。



第 7 図

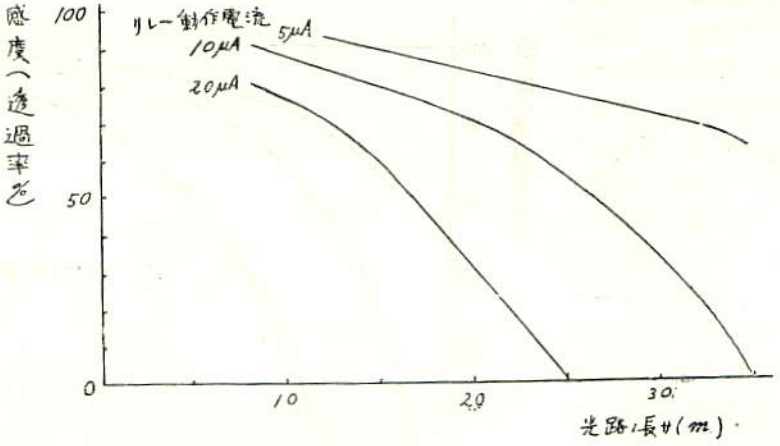
(4) 温度特性

煙感知器の受ける温度の影響の大部分は光電池に原因する。光電流は温度上昇と共に減少するが，差動回路の場合は互に補償するか

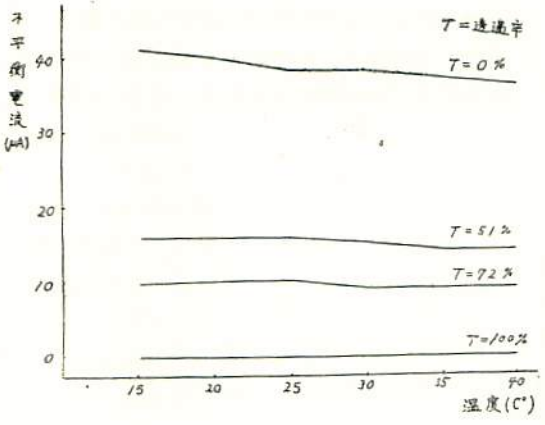
* 煙濃度が光路内で一様に分布してゐれば透過率 T は光路長 l に対し $T=e^{-\mu cl}$（μ＝常数C＝煙濃度）で減少する。一般には濃度分布は様々であるが，いづれにしても l が大になると T は減少する。

ら温度の影響は平衡状態には殆んど表れない。しかし或る透過率での不平衡電流には影響を及ぼす。

第9図に温度上昇と不平衡電流の関係の一例を示す。即ち温度変化 15°C～40°C の間で不平衡電流値は其の約10%を変化する。しかしこれが感度に及ぼす影響は感度の高いところでは数%の程度である。



第 8 図



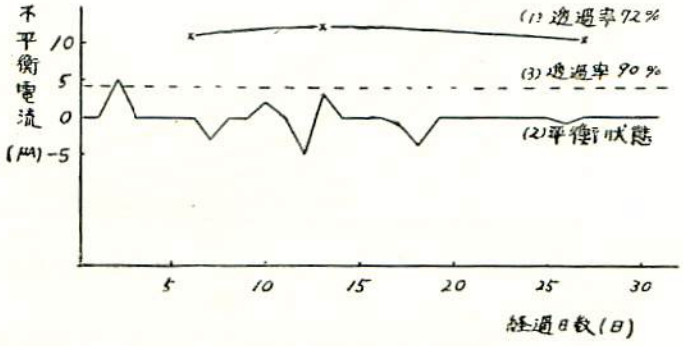
第 9 図

(5) 湿度特性

湿度の影響も又大部分光電池に帰せられる。短期間には湿度は光電池の特性に殆んど影響しないが，長期間には光電池の堰層の絶縁を悪るくし，又光電面を変化させて光電池を劣化させる。劣化速度は光電池個々で様々である為差動回路に用ひる場合には長い間に平衡が崩れて具合が悪い。しかし最近表面皮膜で完全に防湿された或ひは真空容器中に封じられて，劣化の非常に少い光電池が出来て来たから，これらを用れば一応湿度の影響を考慮する必要が無い。

(6) 耐久性と保守

耐久性を左右するものも結局光電池である。光電池は良質のものを用れば感度は2～3年に亘り殆んど変化しない。しかし光電池が余り上等でなくて感度が絶えず不安定なもの或ひは劣化するものを用ひると平衡が崩れ誤報，感度変化をひきおこす。第10図は表面皮膜の余り完全でない光電池に就いて，1ケ月間の差動回路平衡状態と，透過率72%に於ける不平衡電流の経過の一例を示す。平衡状態そのものも，光電池の感度変化により，10%光吸収（透過率90%）に相当の不平衡電流を間歇的に生じてゐる。従つてこの場合感度を90%以上にあげると誤報を生じるわけである。最近の光電池による結果は



第 10 図

現在測定中であるが感度も平衡状態も変化しない様である。

光源電球の壽命はさまざまで定格電圧の90%で点燈の場合1ケ月以内に切れるものもあれば1年近くもつものもある。しかしいづれにしても光源の断線は故障信号表示され，知らないでゐる事はないから一応耐久性の考慮の外におく。

レンズ面への塵埃の附着も問題になるが消研工場内での実測では1年間に透過率を約10%減少させる程度であつた。

以上を併せ考慮するなら年一回程度のレンズ清掃，回路調整等の保守は必要であらうと思われる。

(7) 実用できる感度と光路の長さ

感度は余り上げると煙草の煙，塵埃で誤報が出るし，又平衡状態が崩れて誤報の出る事もあるから実用感度は第8図の通りには上げられない。

電圧変動を80%～110%とし，光電池回路の長期平衡状態を第10図の程度に考へれば（実際にはもつと良好であらうが），第6図で電圧10%上昇による感度の上昇が10%程度あるから感度80%迄は誤報を起さないで使へる事が分る。

煙は火災初期にも大量に出る事が多いから，感度は50%でも感知時期は遅くない。従つて光路の長さは30米位迄は延長出来る。

(8) 火災感知器としての性能

煙感知器の火災感知機としての性能の一例は筆者が以前に報告したが[4]，充分に早期感知可能である。発煙材料，発煙位置其の他の条件の種々な場合の感知時間に就いては，続報に述べる予定である。

4. 結　　言

以上試作した煙感知器の概要を述べたが

(1) 構造は光電池差動回路により光源電圧変動を補償してある。

(2) 感知感度は透過率80%迄可能である。

(3) 光路の長さは30米迄延長出来る。煙による火災感知一般にそうであるが，極早期感知が可能であり，光路を長く出来るから，一器の担当面積が広い点も有利である。

稿を終るに当り試作及び実測に大変協力して頂いた扇谷紀代夫，石坂和嘉の両君，及び工作面を担当された消研工場の方々に厚く謝意を表したい。

1953. 5. 14

(1) 東堯他：照明学会雑誌 33巻8号 234頁 昭24.

(2) 守屋忠雄：消防研究所報告 1巻2号 55頁 1950.

(3) 小林，大沢：電子工学講座 光電管セレニウム管の工業応用 4章 79頁.

(4) 守屋，石坂：消研報告 1巻1号 15頁 1950

アーク感知器の試作（第1報）

中内俊作・渡辺彰夫

Photoelectric Detector of Electric Arc (I)

S. NAKAUCHI AND A. WATANABE

At a remote controlled substation for electric railway, a direct current arc caused by dead earth of feeder lines is one of the most serious origin of fire. In such a case, an automatic arc detector is required.

We have tried to make a sensitive arc detector using a Photocell combined with a sensitive meter relay and a photofilter. We studied about theoretical capacity of the photoelectric detector, and concluded that the detector can detect the arc without giving false alarms.

In Fig. 2, we gave a spectrum of a carbon arc (A) & (B), the sun light (イ), and a daylight fluorescent lamp. (ロ), As shown in Fig. 2, the arc light contains much more ultraviolet ray compared with sun light. Therefore we used ultraviolet filters to distinguish electric arc from sun light and artificial illumination.

Characteristics of the used selenium photocell is given in Fig. 3 and 4. Fig. 3 shows current-illumination characteristics of the photocell, which varies with load resistances.

Fig. 4 shows wavelength response of the selenium photocell and photofilters.

A schematic diagram of the complete circuit of the detector is given in Fig. 7.

An ultraviolet filter and a seleniumphotocell, and a meter-relay (MR) make main circuit. UV-DI is adopted as the filter for the detecor. The characteristics of the filter is given in Fig. 4. The meter-relay (MR) has a current sensitivity of 100 μA, and 50 Ω internal resistances.

$c_1 r_1$, and telephone relay A, B showed in Fig. 7 are the auxiliary circuit. The purpose of this circuit is that the detector not operate by the mechanical and electrical impulse. This circuit is required for the detector not operate by the arc caused by impulsive operation of high speed circuit breaker. The illumination of the breaker's arc is very intense but arcing time is very short (less than 7/1000 second), on the other hand the trouble arc caused by dead earth of feeder lines would continue for a long time. Then the detector is so designed that it operates for a long period arc, and not operates for a impulsive arc. Relay A of this circuit is normal operation relay and B is slow operation relay.

This detector operate when the arc continues for over 2 seconds with its power 1.5 kw at distance 1.5 feet from the detector, and not operate sunlight when its illumination intensity is less than 16,000 lx.

1. 概　　説

鉄道変電所は，交流を直流に変えて電車や電気機関車にキ電しているのであるが，最近この変電所を無人変電所にして数十粁離れた親変電所から遠隔操作で働らかせることが考えられ，既に数ヶ所の変電所が無人化して来ている。この変電所の無人化で問題になることの一つは，無人変電所の火災のときに如何にするかと言うことで，この問題を研究するために国鉄電化協会内に変電所防火研究委員会が設けられて種々研究されて来た。その研究の一端として行われたのがこゝに発表するアーク感知器である。

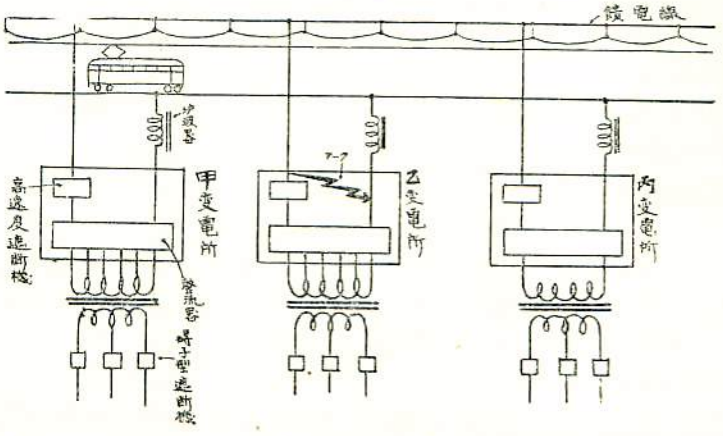
鉄道変電所で起る火災の原因には色々のものがあるが　そのうちの重要なものゝ一つは，高速度遮断器の誤動作，或は雷の侵入等を原因として起る直流異状アークであるので，このアークの発生を如何にして早く発見し，如何にして消すかと言うことは変電所防火上重要な問題である。そこでアーク感知器の必要性が生じ，国鉄電化協会から当研究所にその試作研究が委託されたわけである。以下その内容について，主として感知器製作の可能性について考察したところを報告する。

2. 鐵道變電所に起る直流アーク放電

鉄道変電所から電車線にキ電する方法は，第一図に示すようなやり方で行われている。即ち第一図に示すように各変電所は並列キ電を行つているのである。今若し乙変電所の高速度遮断器の外側（負荷側）で何かの原因で地絡事故が起りアークが発生し高圧側から大地に過大電流が流れたとすると，乙変電所の高速度遮断器又は交流側の碍子型遮断器がどちらか一方又は両方が動作して乙変電所から地絡点への電流供給は遮断される。しかし図より明らかなように隣接変電所（甲，丙変電所）からはキ電線（数十粁の長さがある）を通じて乙変電所の地絡点に電流が供給される。この場合の故障電流は，甲丙変電所から故障点迄の距離が長いために，途中のキ電線の抵抗のためおさえられてあまり大きな値に達しない。1000～2000A位である。若し故障電流の大きさが大であれば甲，丙変電所でも故障の発生を知つて電流供給をたつことが出来るが，故障電流が前述の理由のためにあまり大でないために，故障電流と正常負荷電流の区別がつかず，従つて隣接変電所からの電流供給は断たれない。そのため持続してアークが発生しその熱のために被害を拡大する。

鉄道変電所の故障アークは上述のように，1000～2000Aの電流を流しながら数分間持続することがある。この故障アークが無人変電所で起つた場合の被害を軽減するには，先づアークの発生を出来るだけ早く，確実に知ることである。この為にアーク感知器が必要となつたわけである。

変電所に発生するアーク放電は上述の故障アーク以外に今一つある。それは高速度遮断器の



第　1　図

動作時に発生するものである。高速度遮断器は約7/1000秒以内に電流を遮断するものであるが，この遮断動作を行うときに電流が遮断器の外部に迄出る。この時のアークの大きさは遮断する電流の大きさにより種々であるが大体数十糎から数米の高さになつて遮断器の外部に迄出てくる。このアークは正常な動作に伴うアークであるから，このような正常アークによつてアーク感知器が動作してはならないわけである。アーク感知器の役目はこのような正常アークと前述の故障アークを区別して，故障アークに対してのみ動作することである。

アークを感知する方法としてはアークから発する光による方法，熱による方法，烟による方法，純電気的方法（例えば接地継電器等）が考えられるが，我々がとりあげた方法は第一に述べた光による方法である。光をとりあげたのはこれによるのが最も早く知ることが出来ると考えられるからである。

3．アークの光學的性質

アークの発生をその弧光から感知することの可能性を研究するには先づアークの光学的性質を明らかにせねばならない。アークの性質については古くから多くの研究がなされているが，今我々の問題としている大電力電弧についてはあまり委しくしらべられていない。しかしながら大電力電弧については実験が容易でないので一応先輩の研究の結果をまとめて考察を進めて行く。猶現在我々のもとで進行中の多少の補足的研究については第二報にまとめて発表する予定である。

電弧の光はその電極から発するものと，電弧柱から発するものとの二つに分けられる。

電極から発せられるものは，その電極の温度にある黒体の放射光と同じ連続スペクトルをもつているが，電弧柱から発するものは，電極材料が点弧中に電弧柱に入るのでその材料或はその化合物固有の線スペクトル又は帯スペクトルをもつている。

光源としての電弧の能率は一気圧のものでは大体10～20 lm/w とされている[1]

クレータからの光

炭素電極の場合は炭素の沸点が約4200°Kであるので陽極点温度は大体この値に迄達し，連続スペクトルを出す。H. Ayrton[2] によれば電流の大小に拘らず陽極点の温度は大体一定で，電流の増加と共に面積を増大する。従つてスペクトルの分布は変化せず大体電流に比例して光量を増加する。しかしながらこの H. Ayrton 氏の研究は小電力電弧（電流35A 以下 電弧長 mm）程度のものについてなされたものであり，大電力電弧の場合は陽極点附近の温度は，電子流の盛んな流入のために多少気圧があがり従つて温度もあがつていると考えられるから，或程度以上電流値が増加すれば連続スペクトルは全体に短波長の方へずれて行く。このことは第二図[(5)]からも明らかである。

第　1　表

元　素　名	沸　　点
C	4200 °K
Cu	2600 °K
Fe	3400 °K
Zn	1200 °K

金属電極の場合は第一表[(4)]の如く沸点が炭素よりやゝ低いので，陽極点の温度も炭素の場合より低く連続スペクトルは炭素電極より全体に長波長に移行すると考えられる。

電弧柱からの光

電弧柱からは前述の如く電極材料に固有の線スペクトルを出すが，炭素棒の場合は第二図の如く3800 A° 附近に CN の帯スペクトルが，強く表われる。金属電極の場合は第二表[(4)]に示すような線スペクトルが放出されると考えられる。frame arc 等はこの応用である。

電弧柱の長さと太さ

上述の如く電弧柱は一般に線スペクトルを出すのであるが，この電弧柱の大きさを定める要素は大体次の如きものであるとされている。

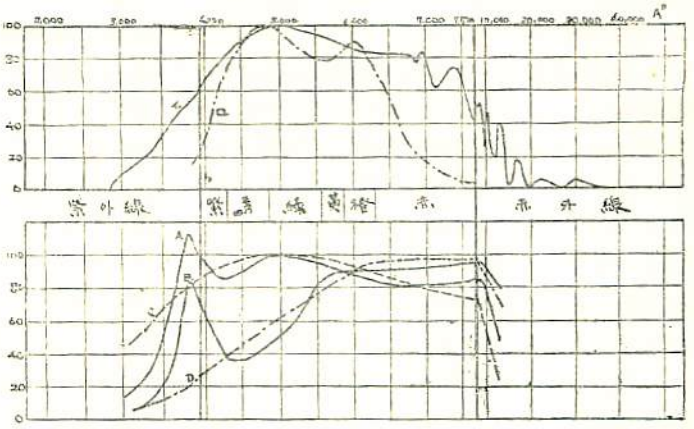
電流 20A 以下 電弧長 20mm 以下の小電弧では次の H. Ayrton[(2)] 夫人の実験式があてはま

る。

$$V = a + bL + (C + dL/IL)I$$

ここにLは電弧長，Iは電流である。

即ち電弧長は電流一定のときは電圧に比例し，電圧一定のときは電流の大なる程電弧長ののびることを示している。しかしながら大電圧大電流の電弧については，大体電流が数百A以上になると電弧長は電圧によつて定まり電流には関係せず，電弧柱電位傾度は1000～1500 V/mになるとされている[1]。即ち電流の増加は電弧の長さの変化として表われず後述するように太さの変化として表われることとなる。この電位傾度の値は交流電弧について求められたもので直



イ ; 太陽から地表への輻射線（正午の地表にて）
ロ : 昼光色螢光灯
A ; 13.6 mm 炭素棒，直流高強度アーク（125 A×63 V）
B ; 12 mm 炭素棒，直流低強度アーク（33 A×55 V）
C ; 5600 °K 黒体輻射理論値
D ; 3810 °K 〃

第 2 図

第 2 表

元素	スペクトル	感度	元素	スペクトル	感度
銅	5218.202	U_3	鉄	2404.882	V_3
	5153.235	U_4		2395.625	V_2
	5105.541	U_5		2382.039	V_1
	3273.962	U_2	亜鉛	6362.347	—
	3247.540	U_1		4810.534	—
	2246.995	V_3		4722.159	—
	2192.260	V_2		4680.138	—
	2135.976	V_1		3345.020	U_2
窒素	5679.56	V_2		3302.588	U_3
	5676.02	V_4		3282.333	U_4
	5666.64	V_3		2557.958	V_3
	4109.98	U_2		2502.001	V_4
	4103.37	—		2138.56	U_1
	4099.94	U_3		2061.91	V_2
	4097.31	—		2025.51	V_1
鉄	3748,490	U_4	酸素	7775.433	U_4
	3745.903	U_5		7774.138	U_3
	3745.564	U_3		7771.928	U_2
	3737.133	U_2			
	3719.935	U_1			
	2413.309	V_5			
	2410.517	V_4			

感度は中性原子について最も強く感ずるものを U_1 とし，これにつぐものを U_2, U_3 とする。
1価にイオン化せるものについては之に対応し V_1, V_2……とする。

流の場合は多少異なるかも知れぬが，大体のことはうかがわれる。

電弧の電流密度については，純炭素の場合と有芯電極の場合では有芯の方が電流密度が大きく，又電弧電流の大きい程電流密度の減ずることが報告されている。一例をあげれば電流 14A 有芯炭棒で 70 A/cm² である。(H.[2] Ayston)。又一気圧 CO_2 ガス中の銅電極のときで，電弧電流 3A 以下で 20～30 A/cm² である。(W.[5] Grotrian)，電流の大きいものは M.[6] Steenbeck によれば，電流 100～1000 A で電流密度は約 10 A/cm² である。

以上要約するに，鉄道変電所で発生する故障アークのような，直流 500～1000 V，1000～2000 A の電弧と言えば，約電弧長 0.3～1.0 m，太さ 50～100 cm² 位と言うことが出来る。そしてこの程度の太さの所から第二表に与えた電極材料，特に陽極材料により定まる線スペクトルが輻射されると考えられる。

鉄道変電所に起るアーク

鉄道変電所でどのようなアークがどのようにして起るかについては 2 項に述べたがこのアークの光源としての性質について再考してみる。

鉄道変電所のアークは既述の如く高速度遮断器の動作時に発する正常アークと，地絡故障時に発する故障アークの二種が主たるものである。正常アークの方は，遮断器の外部へもれる部分は電弧柱の部分であつて，陽極点，陰極点は共に直接外部に光を発しない。従つてその光量は故障アークに比してずつと少ないものである。

後者は主として銅を陽極とし，鉄，真鍮その他を陰極として放電する電弧となることが最も多く起ると思われるが，このような電弧は陽極点の銅のスペクトルを相当多量に含むと考えられ，その電弧柱の長さは電極が電弧熱のため熔融され消耗して行く為に時間の経過と共に長くなり最大 1m 位に迄はなると考えられる。このような電弧は陽極点，陰極点が共に外部に直接輻射することが多く，電弧柱も長く，電弧として消費する電力も大きいので正常アークに比べてはるかに明るいと考えられる。

今仮りに電弧の消費電圧を 500 V，電流 1000 A，その能率を 10 lm/W とすると，その発光量は，5.000 Klm となる。この光量は 40 W 螢光灯 3400本の明るさに相当する。

太陽の明るさ

上述の故障アークの明るさと太陽の明るさの比較を考えてみよう。

太陽光線の明るさについて考えてみると，秋分快晴日の正午の水平面照度が約 90,000 lx であるから，今一つの室の南側窓面積が 10 m² であるとするとこの窓から入る太陽の直射光束は全部で約 1300 Klm で，前に概算した故障アークの光束の約 1/5 である。

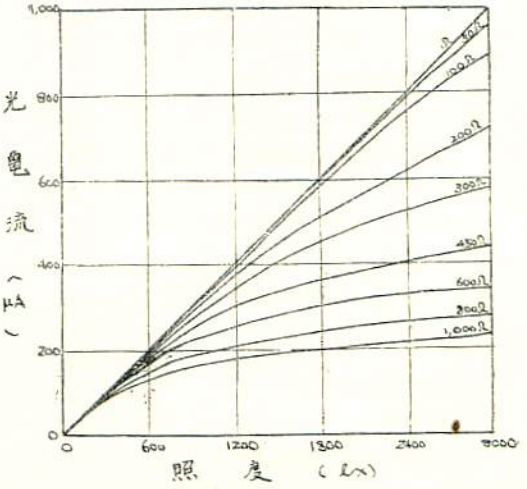
以上概算した所からみると地絡時の故障アークの明るさに匹敵するのは太陽光線であり，人工照明の明るさは問題にならぬことが分る。

4．故障アークを光學的に感知し得る可能性

鉄道変電所で発生する故障アークをその光学的性質を利用して感知出来るか否かについて考察する。

アークをそれから発する光によつて感知するには，光を電流にかえる光電池又は光電管とその電流によつて動作するリレーが必要となる。

我々は電源保守上の観点から，光電管より光電池の方が陽極電源を要しないので使用上便利であると考え，光電池とメーターリレーの組合



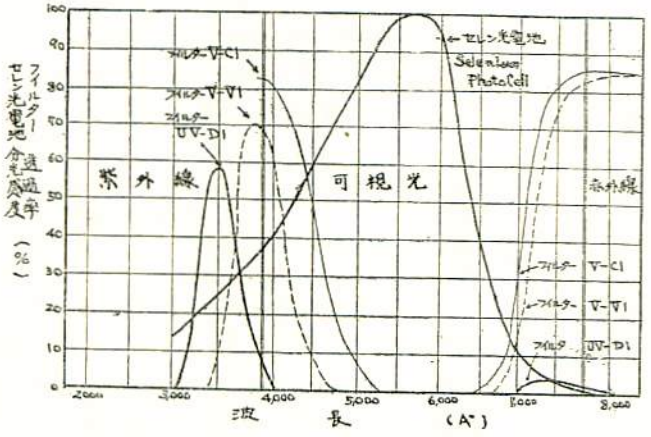
第 3 図　セレン光電池特性

せでアークの光を感知出るか否かについて検討した。

光電池の特性

市販のセレン光電池の感度曲線は第三図のとおりである。外部負荷抵抗の値によりセレン光電池の感度曲線は大きく変るので第三図には，1Ω～1KΩ 迄の種々の外部負荷に対する特性を示した。

セレン光電池の分光感度は第四図に鎖線で示す。即ち感度は可視光に対して最も強く，紫外線がこれに次ぎ，赤外線に対する感度は殆んど零である。



第 4 図

メーターリレーの性能

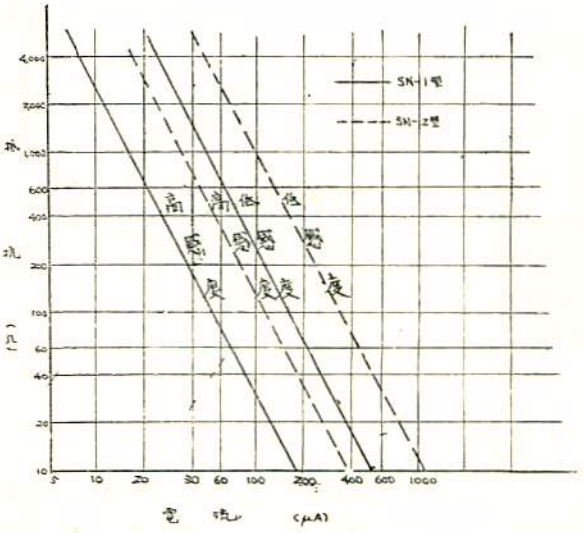
現在我国で市販されている代表的なメーターリレーの感度は第五図の如くである。第五図には，二種類のメーターリレーの感度をあげてある。メーターリレーは，一般のメーターと同じく磁場の寸法が定まり可動線輪の重量が定まると，動作電流を i 内部抵抗を r として，$i^2 \times r$＝一定 と言う関係が成立する。即ち電流感度をあげると内部抵抗を増大せねばならず，従つて電圧感度は低下する。

第五図によれば 内部抵抗 50Ω，動作感度 100μA 位の メーターリレーは 製作容易であることが分る。

今上述のメーターリレーと光電池を組合せたとして，実用化できるアーク感知器が出来るか否かについて検討する。

第三図と第五図から，メーターリレーを動作させる為に必要な最低の光電池面照度は 約400 lx であることが分る。

今セレン光電池を天井面にとりつけたとしたとすると，故障アーク発生時の天井面照度は数千～数万，場所によつては数十万 lx に 迄達すると推定される故，充分メーターリレーを動作させるだけの電流は得られるわけである。この故障アーク発生時の天井面照度については第二報に於て更に発表する予定であるが，今故障アークの全光束を第3項に述べた如く 5000Klm としこれを点光源とみなせば，アークから 5m 離れた場所のアークに垂直な面の直射光による照度は 約 16000 lx であるから，色々な条件を入れても故障アーク時の天井面照度は特にアークから離れた場所でない限り数千 lx 以上 であると言うことは言えると考えられる。しかしながら太陽光線による天井面照度も 数千 lx に 達することはあ



第 5 図　メーターリレー特性

る。例えば当研究所で測定した所でも，二月の雪の降つた後の快晴の日で，大地が全部雪で覆はれており，しかも窓外数十米の間に光線を吸収するような黒い建物のない所では，窓の近くの天井面照度が窓開放の状態で正午には16000 lx に達した例がある。一方人工照明によつては天井面照度が数百 lx に達することも先づないことであるから，アーク感知器を実用化し得るか否かは，太陽光線とアークとを区別し得るか否かにかゝることゝなる。

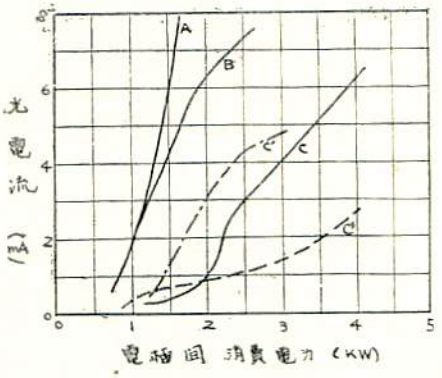
弧光と太陽光線の光点の差異

第二図に示す如くアークと太陽の差は，前者が後者より紫外線を多く含むと言うことである。

この特質の差を利用して両者を区別するとどの程度有利であるかについては次の如き結果を得た。

1月の快晴日の窓ガラス（厚さ約2mm）どしの太陽の室内光について，第四図に示す如き特性を有するフイルターと光電池の組合せで実験して V—C1 フイルターのときの光電流を 1 として，UV—D1 のときの光電流を求めると約 0.053 であつた。一方200V電源による銀—炭素電極の交流電弧について同じフイルターを使用して光電流を測定すると，V—C1 の時の光電流を 1 として UV—D1 のときの光電流は約 0.40 である。即ち紫外線フイルター—UV—D1を使用して 4000 Å 以上の光をカットオフすることにより，5000 Å 以上をカットオフする V—C1 フイルターを使用したときセレンに対して同じ光電流を起させる太陽とアークを，約 1:8 の割合で区別することが出来る。

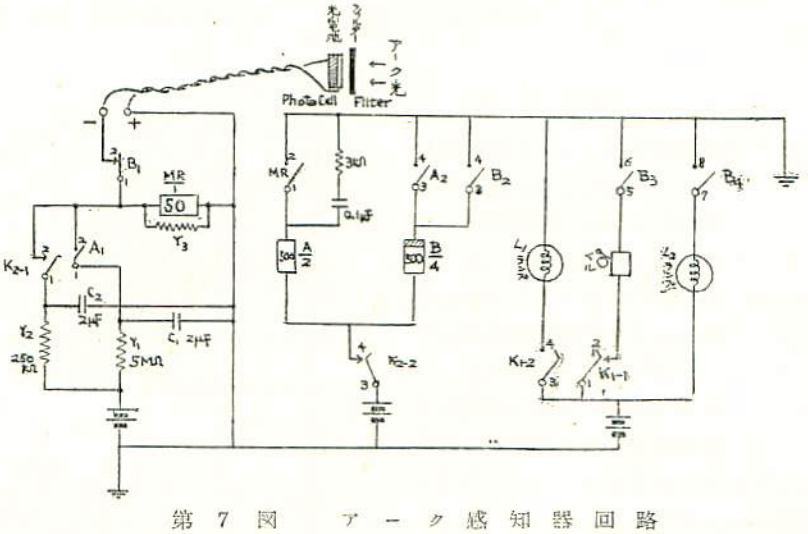
このUV—D1 フイルターを使用した場合，前述のメーターリレーを動作させるに必要な太陽光線の照度は約 19000 lx となり，太陽光線に



A_1. 炭素—炭素 電極アーク（フイルター—V—CI）
B^1. 〃 （フイルター—V—VI）
C_1. 〃 （フイルター—UV—DI）
C'. 炭素—鋼鉄 電極アーク 〃
C_n. 炭素—銅 電極アーク 〃
セレン光電池とアーク間距離は総て 50 cm.

第 6 図

よる誤報の可能性を著しく減ずる。一方リレー動作に必要なアークの照度は約 2000 lx 位と推定される。故に前述の如く数千 lx の明るさをもつ故障アーク発生時の天井面照度では充分動作すると考えられる。当所での実験によるとUV—DI を使用して，距離 0.5 m の所で 1.0～1.5 KW程度の電弧を飛ばすとリレーは動作する。



第 7 図 アーク感知器回路

今若しアークと光電池の距離が 5m とし，室の反射が 0 で直接光だけとすると 約 100～150KW のアークで動作することになる。

この太陽とアークの光質の差は，第二報に更に委しく発表する予定である。

以上を綜合すれば適当なフイルターを併用した光電池とメーターリレーの組合せは，太陽光線及び人工照明と区別して故障アークを検出することは可能と考えられる。

5．アーク感知器の構成及び回路

以上述べた所からアーク感知器は紫外線フイルターとセレン光電池とメーターリレー及びこれによつて制御される主リレーとで構成することゝする。その回路は第七図の通りである。

第七図に於て MR はメーターリレー，A, B は電話用水平型リレー，K_1, K_2 は電話用ユニバーサルキーである。

今紫外線フイルターを通して光が光電池にあたると，符号で示したような光電流が MR に流れ，MR の接点 1，2 を閉路する。MR 接点の閉路によりリレー A が動作し，A_1, A_2 の二組の接点を閉路する。A_1 の閉路によりコンデンサー C_1 に蓄えられた電荷が MR と r_3 を通じて放電し，この放電電流により MR 接点は開路する。この回路の作用は MR 接点の附着により機械的衝撃或はインパルス性光電流による MR の動作が恰も持続性光電流による動作の如くになるのを防ぐためである。A リレーは普通のリレーでその動作時間は 10～150ms 位で，MR 接点の開路により一旦開路する。従つて MR の開路により A_1, A_2 両接点も開路する。即ち A_1, A_2 両接点の最初の閉路している持続時間は約 100ms どまりである。

故にBリレーを緩動リレーにしておくとインパルス性の光電流によつては動作しない。従つて高速度遮断器の動作時に発する正常アークのように持続時間の短かいアークでは動作しない。

今若し光電流が持続的に起つていたとすると MR は一旦開路した後再び直ちに閉路する。従つて A リレーは再び動作し，A_1, A_2 再接点を閉路する。この時 r_1, C_1 によつて定まる時定数を大きくしておくと C_1 は MR を開路するに足るだけの電荷を蓄えていない間に A_1 が閉路されることになるので，MR は開路されない。r_1 を充分大きくしておくと r_1, MR, r_3 を通じて流れる電流は小さくて MR を開路することが出来ないし，又光電流を減ずる作用も充分小さくすることが出来る。かくして MR が開路されずに持続的に閉路していると A_2 接点も持続的に閉路しており遂に B リレーが動作するに至る。B リレーが動作すると B_3 接点が閉路し B リレーの動作を保持する。B_2 が閉路した後 B_1 が開路し光電池回路を遮断する。B_1, B_2 は所謂 make before break 接点である。光電池回路を遮断するのは MR 及び光電池に持続的に大きい電流を流すことを防ぐ目的である。又 B_3, B_4 接点により ベルとランプを動作させて警報を発する。K_1 は ベルを停止させるためのキーで K_1—1 接点はベル回路遮断用接点，K_1—2 はベル停止中であることを示す ランプ L_1 を点灯する為のものである。K_2 は復旧用のキーで K_2—1 は MR に復旧用のインパルスを送るための接点で，K_2—2 は B リレーの保持を解いて復旧するための接点である。

電池は図では三組になつているが実際は一組の電池を共用する。この電池の常時消費電流は零である。

r_4 は MR の感度調節用分流抵抗である。

6．保　　守

保守すべき所はセレン光電池と電源用の乾電池が主たる所である。

セレン光電池は光をあてゝいると疲れを生ずるが，紫外線フイルターを使用すれば常時は殆んど光を受けないので相当長期に亘り安定に動作すると考えられる。

7．結　　論

以上述べた考察及び実験により鉄道変電所に於て発生する故障アークを感知することが出来且保守容易で誤報の危険の非常に少ないアーク感知器が第五項に述べたような構成と回路で製作可能であると結論される。

猶アークの性質に関する補足実験及びアーク感知器の性能についての実験結果は第2報に発表する。

終りに，本研究について種々御援助を給つた研究委託者鉄道電化協会並びに変電所防火研究委員会の諸士に深く感謝の意を表します。

参考文献並書籍

(1) 福田節雄：電弧 昭 23.

(2) H. Ayrton : "The Electric Arc"

(3) W. C. Kalb : Further charateristics of the Carbon Arc, E. E., 56 (1937), 319.

(4) 芝 龜吉：物理常數表.

(5) W. Grotrian : Dər Gleichstrom–Lichtbogen grosser Bogenlänge, Ann. d. Phys., 47 (1915), 141.

(6) A. V. Engel, u. M. Stesnbeck : "Elektrishe gasentladung" (1932, 1934).

消防研究所報告　第4巻 第1號
昭和28年6月25日印刷
昭和28年6月30日発行
【通巻10号】

編輯者兼発行者　消防研究所
発行所　国家消防本部消防研究所
三鷹市新川700
印刷所　株式会社温故堂
甲府市二十人町43—45番地