

感電危険のある火災防ぎよの研究 (第2報)

——高膨張泡の電気伝導性試験——

大 熊 順 三*
伊 藤 隆 甫*
池 辺 昇 一*

1. はじめに

最近の新しい消火法の一つとして高膨張泡による方法が開発された。この方法は地下室、地下街、倉庫等いわゆる密閉あるいは半密閉建物火災の消火に泡の流動、拡散、高発泡性を利用して室内充泡によって消火することを目的として開発されたもので、すでに地下室等の実火災では幾度かの実効をあげている。また昨今では油火災用としても研究が進められている。

当消火法の適応火災ともいべき地下室などには、概して電気設備などが多く、また地下鉄などでは高圧電線等を露出しているため、これらの火災箇所に高膨張泡を送泡した場合にこの泡を介して人体への感電危険が懸念される。

そこで今回は、この泡の電導性および電気室等に送泡した場合の電位傾度について実験測定し、火災防ぎよ上の資料を得たので報告する。

2. 供試物とその説明

(1) 高膨張性泡剤(原液) —— 当研究所開発

・特殊陰イオン活性化剤	3.0%
・高級アルコール硫酸エステル塩	20.0%
・高級アルコール	2.5%
・溶剤	20.0%
・水	54.5%

(2) 高膨張性泡

泡は1.5%溶液(原液1.5%使用した水、以下溶液と呼ぶ)を400~800倍に空気発泡した。

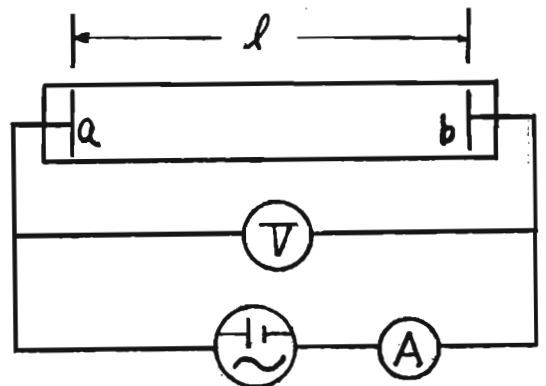
3. 試験要領

(1) 試験項目と試験方法の概要

ア 原液および溶液の電気伝導性試験

試験は原液および溶液の温度を変化させ、その電気伝導率を測定する。この測定装置は次による。

第1図 原液および溶液の電気伝導性試験装置



注 a, b : 電極 (面積 $A \text{ cm}^2$)

l : 電極間距離 (cm)

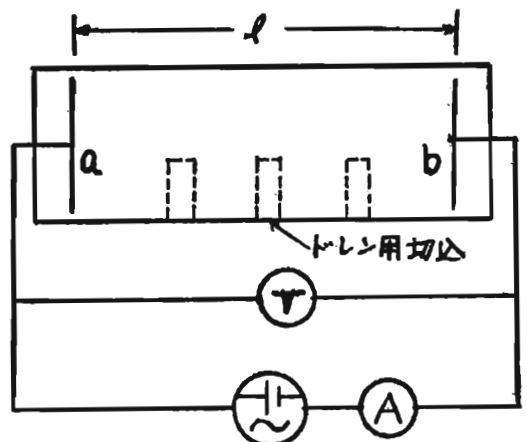
λ : 電気伝導率 ($\Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

$$\lambda = \frac{l}{A} \cdot \frac{1}{R} = \frac{l}{A} \cdot \frac{I}{V}$$

イ 泡の電気伝導性試験

試験は、泡倍率を400~800倍とし、泡温を変化させその電気伝導率を測定する。この装置は次による。

第2図 泡の電気伝導率測定装置



* 第一研究室

注 a, b : 電極 (面積Acm²)
 ℓ : 電極間距離 (cm)
 λ : 電気伝導率 (Ω⁻¹cm⁻¹)

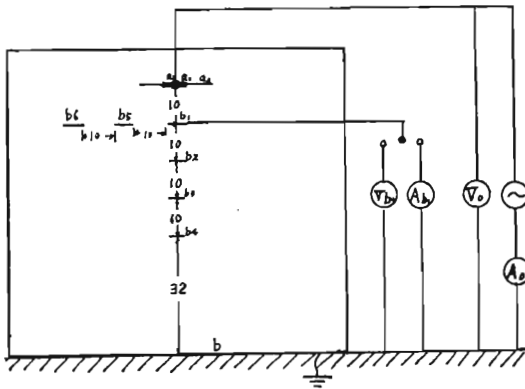
$$\lambda = \frac{\ell}{A} \cdot \frac{1}{R} = \frac{\ell}{A} \cdot \frac{I}{V}$$

ウ 泡の電位傾度測定

試験は常温において1m×1m×1mの泡体を作り、下面をグラウンド化(-)し、上面1点との間に電圧を加えて、この間の任意点の電位を測定する。

この装置の概要は次による。

第3図 電位傾度測定装置



注 a₁ : 電極 (3cm×3cm角銅板)
 a₂ : 電極 (直径11.2cm円形銅板)
 a₃ : 電極 (直径1.6cm長さ91.0cmの銅棒)
 b : 電極 (1m×1mアース銅板)
 b₁~b₆ : 電極 (3cm×3cm角銅板)
 ただし、a₃ 電極は第3図に対して前後方向に設置

4. 試験結果

(1) 原液の電気伝導性

第1表 直流電源による電気伝導率 (Ω⁻¹cm⁻¹)

原液温 (°C)	印加電圧 (V)	50	100	150
6		1.15×10 ⁻²	1.40×10 ⁻²	1.46×10 ⁻²
10		1.25 "	1.40 "	1.42 "
20		2.02 "	1.95 "	1.90 "
30		2.52 "	2.52 "	2.57 "
40		2.82 "	2.83 "	2.62 "

第2表 交流電源 (50HZ) による電気伝導率 (Ω⁻¹cm⁻¹)

原液温 (°C)	印加電圧 (V)	50	100	130
6		1.46×10 ⁻²	1.41×10 ⁻²	1.51×10 ⁻²
10		1.49 "	1.57 "	1.66 "
20		2.04 "	2.14 "	2.20 "
30		2.57 "	2.72 "	2.79 "
40		3.14 "	3.24 "	3.40 "

(2) 溶液の電気伝導性

第3表 直流電源による電気伝導率 (Ω⁻¹cm⁻¹)

液温 (°C)	印加電圧 (V)	50	100	150
3		5.49×10 ⁻⁴	5.66×10 ⁻⁴	5.86×10 ⁻⁴
10		7.07 "	6.80 "	6.80 "
20		8.63 "	8.63 "	8.58 "
30		11.00 "	10.70 "	11.00 "
40		—	—	—

第4表 交流電源 (50HZ) による電気伝導率 (Ω⁻¹cm⁻¹)

液温 (°C)	印加電圧 (V)	50	100	130
3		4.92×10 ⁻⁴	4.90×10 ⁻⁴	4.90×10 ⁻⁴
10		6.28 "	6.43 "	6.34 "
20		8.63 "	8.71 "	8.88 "
30		10.90 "	10.80 "	10.90 "
40		—	—	—

(3) 泡の電気伝導性

第5表 直流電源による電気伝導率 ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)

発泡倍率 泡体 使用水量	印加電 圧 泡温	発 泡 直 後			発 泡 後 3 分 経 過		
		50V	100V	150V	50V	100V	150V
450倍 ±50	7°C	4.68×10^{-7}	4.70×10^{-7}	4.71×10^{-7}	3.04×10^{-7}	3.12×10^{-7}	3.01×10^{-7}
	20	5.90 "	5.87 "	5.93 "	3.81 "	3.77 "	3.86 "
550 ±50	5	3.29 "	3.29 "	3.31 "	2.10 "	2.20 "	2.16 "
	20	4.85 "	4.98 "	4.90 "	3.09 "	3.08 "	3.10 "
650 ±50	5	2.82 "	2.74 "	2.84 "	1.80 "	1.80 "	1.81 "
	20	4.00 "	4.05 "	4.10 "	2.65 "	2.62 "	2.59 "
750 ±50	5	2.50 "	2.53 "	2.49 "	1.51 "	1.46 "	1.50 "
	20	3.48 "	3.47 "	3.50 "	2.30 "	2.35 "	2.36 "
850 ±50	5	2.10 "	2.24 "	2.20 "	1.37 "	1.40 "	1.39 "
	20	3.15 "	3.12 "	3.14 "	2.10 "	1.96 "	2.05 "
	30	3.79 "	3.78 "	3.80 "	2.40 "	2.39 "	2.39 "

第6表 交流電源による電気伝導率 ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)

発泡倍率 泡体 使用水量	印加電 圧 泡温	発 泡 直 後			発 泡 後 3 分 経 過		
		50V	100V	130V	50V	100V	130V
450倍 ±50	5°C	4.91×10^{-7}	4.92×10^{-7}	4.85×10^{-7}	3.84×10^{-7}	3.86×10^{-7}	3.88×10^{-7}
	20	7.75 "	7.80 "	7.89 "	6.10 "	6.12 "	6.14 "
550 ±50	5	4.01 "	3.99 "	4.02 "	3.15 "	3.16 "	3.14 "
	20	6.45 "	6.60 "	6.42 "	5.16 "	5.15 "	5.30 "
650 ±50	5	3.41 "	3.50 "	3.42 "	2.66 "	2.59 "	2.59 "
	20	5.50 "	5.50 "	5.51 "	4.30 "	4.25 "	4.28 "
750 ±50	5	2.95 "	2.96 "	2.97 "	2.30 "	2.30 "	2.31 "
	20	4.75 "	4.76 "	4.31 "	3.82 "	3.82 "	3.85 "
850 ±50	5	2.65 "	2.65 "	2.68 "	2.05 "	2.05 "	2.06 "
	20	4.21 "	4.22 "	4.23 "	3.30 "	3.30 "	3.29 "

第7表 交流高電圧による電気伝導率 ($\Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$)

	泡倍率	泡温	印加電圧		1.5	3.0	6.0	10.0
			kv					
発 泡 直 後	491	7°C	実測値	3.86×10 ⁻⁷	4.18×10 ⁻⁷	4.30×10 ⁻⁷	5.09×10 ⁻⁷	
			計算値	4.70 "	4.70 "	4.70 "	4.70 "	
	511	"	実測値	1.93 "	4.54 "	4.38 "	3.00 "	
			計算値	4.58 "	4.58 "	4.58 "	4.58 "	
	701	"	実測値	1.93 "	3.22 "	3.38 "	2.70 "	
			計算値	3.35 "	3.35 "	3.35 "	3.35 "	
	940	"	実測値	3.22 "	2.58 "	2.22 "	2.92 "	
			計算値	2.50 "	2.50 "	2.50 "	2.50 "	
発 泡 後 3 分 経 過	491	"	実測値	—	3.86 "	4.03 "	4.06 "	
			計算値	3.70 "	3.70 "	3.70 "	3.70 "	
	511	"	実測値	—	3.40 "	—	—	
			計算値	3.55 "	3.55 "	3.55 "	3.55 "	
	701	"	実測値	2.01 "	2.54 "	2.54 "	2.41 "	
			計算値	2.60 "	2.60 "	2.60 "	2.60 "	
	940	"	実測値	—	2.30 "	2.21 "	—	
			計算値	1.93 "	1.93 "	1.93 "	1.93 "	

第8表 泡のドレン状況

その1

経過時分	泡温	ドレン量	泡体積
0分	7°C	0c. c.	24544c. c. (100%)
1		1.5	"
2		5.0	"
3		11.0	"
4		16.0	"
5		19.0	"
最終		50.0	0%

その2

経過時分	泡温	ドレン量	泡体積
0分	7°C	0cc	24544c. c. 100%
1		1.0	"
2		2.5	"
3		4.0	"
4		6.0	"
5		7.0	"
10		14.0	"
15		17.0	90
20		19.0	88
25		20.0	85
30		21.5	80
35		22.0	76
40		23.0	74
最終		27.0	0

(4) 泡の電位傾度試験

第9表 泡体内の電位傾度

印加電圧	充電電極	測定の電極	測定点の電位(V)	測定点電極の電流(mA)	全体の漏洩電流(mA)	その他
2000V	a ₁	b ₁	280	2.0	6.9	資料 660倍 10°C
		b ₂	180	0.8	7.2	
		b ₃	50	0.5	6.8	
		b ₄	35	0.4	6.4	
		b ₅	240	1.5	6.4	
		b ₆	170	0.8	6.4	
	a ₂	b ₁	600	2.3	15.2	
		b ₂	280	1.2	14.4	
		b ₃	200	0.8	14.0	
		b ₄	120	0.6	13.6	
		b ₅	380	2.0	13.4	
		b ₆	250	1.1	12.8	
	a ₃	b ₁	750	3.0	19.0	
		b ₂	500	1.8	19.0	
		b ₃	360	1.2	19.0	
		b ₄	280	0.9	19.0	
		b ₅	650	2.5	19.0	
		b ₆	500	1.7	19.0	
6000V	a ₁	b ₁	1,100以上	5以上	18	
		b ₂	950	4.5	24	
		b ₃	400	1.4	23	
		b ₄	230	0.5	16	
		b ₅	850	5以上	24	
		b ₆	550	3.0	19	

(5) 印加電圧と泡の消滅度

第10表 泡消滅と漏洩電流

印加電圧	時間(秒)	0	5	10	25	30	60	その他
		電極周囲の泡消滅度(cm)	—	—	—	1	—	
1,000V	漏洩電流(mA)	4	2	2	0	0	0	
	"	—	—	—	1.5	2	2	
2,000	"	8	7	6	0	0	0	
	"	—	1	2	2.5	—	—	
3,000	"	10	2	0	0	0	0	
	"	1.5	2.5	3.0	—	3.5	—	
6,000	"	12	2	0	0	0	0	
	"	2	2.5	3.0	3.5	5.0	—	放電
10,000	"	14	4	0	0	0	0	

印加電圧	時間(秒)	0	5	10	25	30	60	その他
	15,000	"	2	—	3	—	6	
	"	15	0	0	0	0	0	

5. 結果の考察

(1) 原液の電気伝導性

原液そのものは電解液で、この特性は原液の電気伝導率からも明らかである。

すなわち液温の上昇とともに、この電気伝導率は大きくなる。このことは第1, 2表より、液温 0℃~40℃の範囲において、次の関係式が導きだされる。

ア 直流電源による電気伝導率は $\lambda \ominus S$
 $\lambda \ominus S = (0.53t + 8.50) \times 10^{-3}$ ……………(1)

イ 交流電源による電気伝導率 $\lambda \ominus S$ は
 $\lambda \ominus S = (0.53t + 11.0) \times 10^{-3}$ ……………(2)
 ここで(1), (2)式の t は液温 (℃) である。

(2) 溶液の電気伝導性

溶液すなわち原液の 1.5% 溶液の電気伝導率は、第3, 4表から、液温 0℃~40℃の範囲において次の関係式が導きだされる。

ア 直流電源による電気伝導率 $\lambda \ominus u$ は
 $\lambda \ominus u = (0.17t + 5.2) \times 10^{-4}$ ……………(3)

イ 交流電源による電気伝導率 $\lambda \ominus u$ は
 $\lambda \ominus u = (0.22t + 4.3) \times 10^{-4}$ ……………(4)
 ここで(3), (4)式の t は液温 (℃) である。

(3) 泡の電気伝導性

泡の電気伝導性は発泡倍率、泡温(溶液温)等の要素により変化するが、理論的には次の関係が成り立つはずである。

$$\text{泡の電気伝導率} = \frac{\text{溶液の電気伝導率}}{\text{泡の倍率}} \cdot K \dots\dots\dots(5)$$

すなわち発泡泡の直流電源による電気伝導率 $\lambda \ominus n$ は(3)式より

$$\lambda \ominus n = \frac{(0.17t + 5.2) \times 10^{-4}}{\text{泡の倍率}} \cdot K \dots\dots\dots(6)$$

で表わされる。この場合の K は定数で実験値より発泡直後で 0.31, 発泡後 3分経過で 0.20 である。

また泡の交流電源による電気伝導率 $\lambda \ominus n$ は(4)式より

$$\lambda \ominus n = \frac{(0.22t + 4.3) \times 10^{-4}}{\text{泡の倍率}} \cdot K \dots\dots\dots(7)$$

で表わされる。この場合の K は定数で実験値より発泡直後で 0.41, 発泡後 3分経過で 0.32 である。これらのことは第5, 6表の実験値分布からもおおむね証明で

きる。

さらにこのことは第7表に示す交流高電圧による電気伝導率の実測値にもあてはまる。

◎泡のドレン量と電気伝導率の関係

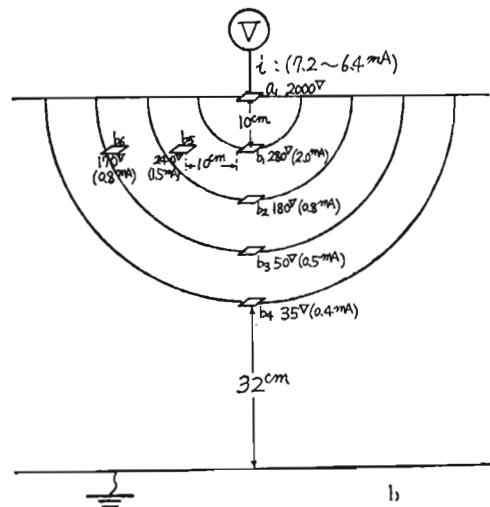
約 490 倍に発泡した泡の 3分経過後のドレン量は、第8表より全ドレン量の 22% であり、電気伝導率も発泡直後の 22% 減であるはずである。さらに 900 倍程度に発泡した泡の 3分経過後のドレン量は、第8表より全ドレン量の 15% であり、電気伝導率も発泡直後の 15% 減であるはずである。このことは第5, 6, 7表の測定結果からもおおむね一致する。

(4) 泡体内の電位傾度

第9表の結果を図面化すると第4図の如くなる、ここで電極 a_1 よりアース板 b に向かって平行に電流が流れているとすれば、均一な電導媒体内であるから抵抗に対する電圧分配によって次のようなことがいえるはずである。すなわち a_1 と b との距離が 72cm であり a_1 電位が 2000V であるから、 a_1 から 1cm 離れる毎に 28.0V 電位が減少するはずである。しかし、このことを図から見ると 10cm 離れた位置では 1720V であるべきところが 280V に、また 20cm 離れた位置では 1440V であるべきところが 180V にいちじるしく減衰している。

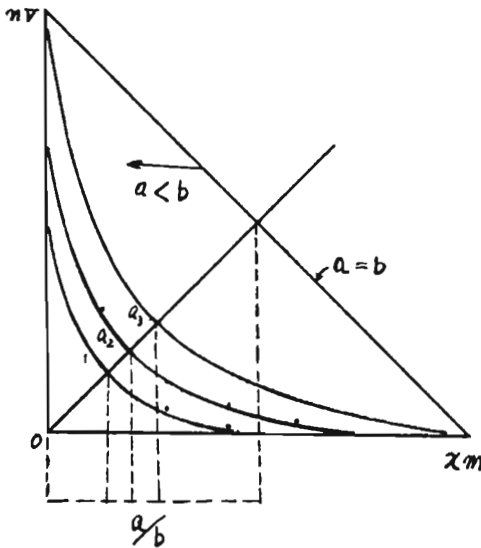
このことは当然であるが、電極の面積が $a_1 < b$ であるからであり $a_1 = b$ であれば直線上の勾配であり、これらは第5図に示すとおりとなる。

第4図 泡体内の電位傾度



今、縦軸に任意電圧 (nV) を、横軸に充電電極と接地面 (大地等) との距離 (xm) を、各々原点より a = b の直線の交わる両軸に等分して定め、a / b の割合に応じた曲線で任意点の電位が推定できるようである。また電気伝導率の判明によりある一定条件上において任意点の電位も計算できるはずである。しかしこの実験では、試験体である泡体の一様性等電気的精密条件設定に非常に困難を有するので、これら相関関係が成り立つことを証明するには、より実験を重ねる必要がある。今後の研究に委ねたい。

第5図 泡体の電位傾度



(5) 印加電圧と泡の消滅度

第10表より充電電極直近の泡体は消滅が激しいことがわかる。この時の時間に対する漏洩電流、泡の消滅度をグラフ化すると第6図の如くなる。

すなわち泡は印加電圧が高い程、また漏洩電流の大きい程早く消滅する。ここで使用した電極は3cm×3cmの銅板で片面を泡体に接したものであるから、漏洩電流密度は極めて小さい。したがって小さな電流でも泡を消滅することになる。しかし泡体と電極とが完全に分離してもさらに泡の消滅は進み最終的消滅度は電圧の高い程大きい。すなわち放電によっても消滅しているといえる。

このことは高圧電気室等の火災消火で送泡する場合重要かつ有効な要素となる。

(6) 電気室等の火災防ぎょの安全性

安全性の可否について実験結果から、この要素とな

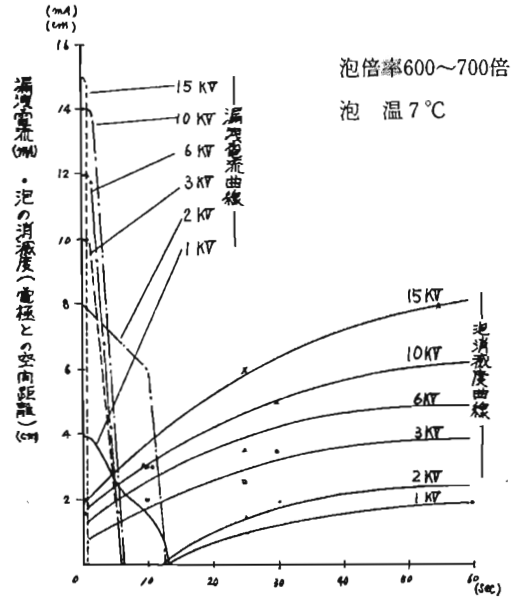
るものをあげると次のようなことがいえる。

ア 泡の電導率は温度、泡倍率等で変るが温度が0℃～30℃、泡倍率が400～900倍の範囲では $1 \sim 9 \times 10^{-7}$ であり半導体の部類にある。

イ 交流電流は泡体内で直流電流よりやや流れ易いがほぼ同一とみてよい。

ウ 泡体は発泡後時間を経過する程電気伝導率は小さくなり絶縁度が上る。

第6図 泡の消滅状況



エ 泡体内の充電電極から任意点への電位傾度は電極比 (充電電極/アース電極) の小さい程大きい。

すなわち密閉された電気室等への送泡では周囲が接地された状態となり、電極比は極めて小さく充電部から任意点への電位傾度は大きく任意点の電位は小さい。

オ 泡体の消滅は、そこを流れる電流密度が0.1 mA/cm² 以上であればただちに消滅し、0.2mA/cm² 以上であれば瞬間的に消滅する。その後泡体は高電圧放電等によりさらに消滅し1KVで2cm、2KVで2.5cm、3KVで3cm、6KVで3.5cm、10KVで5cm、15KVで8cm程度の消滅をする。

したがって一般電気室では接地面が大きいため、充電電極板付近の漏洩電流密度は大きく泡の消滅は当然発生し、その後漏洩電流は少なくなるか零となる。

すなわち一般電気室、地下鉄等では接地面が極めて大きいため電極比が小さくこれらに送泡した場合、充電部から直近で急激な電圧降下が発生し、さらに電極付近で電流密度が大きいこと、および高圧放電によ

て泡が消滅し電極と泡体とが融離される。また充電部に側面から送泡するような場合には、泡体は充電部付近でつぎつぎ消滅し、両者が接することもないような状態にもなる。

概して電気室等は建物の奥部にあり泡体を送泡する場合の泡体の接地面積は相当大きくなり、人体への感電の影響は少ないものと考えられる。

このことは充電部へ水を棒状放水した場合（電気火災消火では噴霧放水、不燃ガスが原則）に電流回路を充電部から消火栓までと考えれば、筒先を操作する隊員の電氣的位置は、充電極に近いといえること、およびこの場合の電極比は1（水の棒状放水、ホースライン内の電気回路では、充電部へ接する面積と接地面積がほぼ等しく考えられる）に近く、送泡時に比べて極端に大きい。すなわち送泡による消火は水を使用する

場合よりはるかに安全であるといえる。

しかし高低電圧を問わず充電部への直接または接近して送泡したり、泡体の中に進入し充電部に接近することは危険であるから火災防ぎよ等にあたっては特に注意を要する。

特にこの種の火災では送泡前の適確な現場見分が必要で検電器等の活用に留意すべきである。

6. お わ り に

この実験では多くの不定要素があり、実火災防ぎよへの直接の指針となるような適確かつ具体的なデータを得ることは極めて困難であるが、今回得たデータを基にさらに実大規模の実験を重ね有効な資料とした。