

# 平成 21 年度中学生・高校生の科学・技術研究論文



## 中学校個人研究の部 最優秀賞

「涼しい網戸の研究」

会津若松市立大戸中学校 3年 佐藤 蘭

### 1 今までの研究の流れ

「涼しい風も、網戸を閉めた途端に勢いが弱まり、涼しさが低下してしまうのはなぜか。」という日常生活でのちょっとした疑問について調べてきた。この研究も今年で3年目を迎えた。涼しさが低下する原因と、どのような網戸なら低下しにくいのか、という研究を行ってきた。その研究の流れを以下にまとめる。

#### < 1年目の研究成果 >

目的：涼しさが低下してしまう原因の追求。

結論：網を通過した直後に空気の流れに乱れが発生し、風速が低下してしまう。

(乱流による失速と思われる)

#### < 2年目の研究成果 >

目的：涼しさが低下しにくい網戸の研究。

結論：以下の3つの条件が効果的である。

条件 網1本1本の線(以下、素線)の径は細いほど良い。

条件 網を帆のような形状にすることが良い(風を受け止め易くなる)。

条件 網の目の形状は正六角形が良い(但し数学的な推測のみ)。

以上、詳細については添付資料Aに示す。

注)本研究では、“涼しさ”の代用特性を風速としている。風速は、後述する実験装置で測定しており、1分間当りのプロペラの回転数を風速値としている。なお、今年は実験装置の精度を向上させるために、装置の改良を行ったため、昨年までのデータとの単純な比較はできない。

### 2 研究の動機と目的

昨年までの研究により、涼しさが低下しにくい三つの条件を見出すことができた。しかし、以下のような課題を残したままであった。

課題 条件、それぞれについて効果を確認したが、その判断方法が風速の平均値の比較のみであり、ばらつきを考慮した統計的な検証まではできていない。

課題 条件については数学的推測に留まっており、実験による検証が行われていない。

課題 各条件を組み合わせた状態での効果を確認するところまで行っていない。

課題 条件間の交互作用の有無は確認できていない。

これらの課題を解決することで、昨年までの結論の信頼性を高め、さらに最適な組合せ条件の究明まで行うことを本年の目的とする。

### 3 実験方法

三つの条件を全て備えた網戸を実際に製作することはできないので、網のシミュレーションモデル（以下、網モデル）を製作することとした。今年の研究では、この網モデルを使った実験により効果を検証する。

#### (1) 実験計画

個々の条件の主効果及び交互作用の有無を、統計的に解析できるようにするために、表1のような“繰返しのある三元配置実験”を行い、分散分析ができるようにした。

表1 実験計画表

網目形状 A	メッシュ数 B	帆 C					
		無 (C 1)			有 (C 2)		
正方形 (A 1)	1 8 (B 1)	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6
	2 7 (B 2)	# 7	# 8	# 9	# 1 0	# 1 1	# 1 2
正三角形 (A 2)	1 8 (B 1)	# 1 3	# 1 4	# 1 5	# 1 6	# 1 7	# 1 8
	2 7 (B 2)	# 1 9	# 2 0	# 2 1	# 2 2	# 2 3	# 2 4
正六角形 (A 3)	1 8 (B 1)	# 2 5	# 2 6	# 2 7	# 2 8	# 2 9	# 3 0
	2 7 (B 2)	# 3 1	# 3 2	# 3 3	# 3 4	# 3 5	# 3 6

(補足説明)

# 1 ~ 3 6 までの測定を行う。例えば # 1 は「正方形の網目 + M 1 8 + 帆無し」という実験条件を表している。また # 1 ~ 3 は同条件の繰返し(3回)である。

Mとは“メッシュ”を意味し、M 1 8とは1インチ当り縦横それぞれ18本の素線で編まれていることを示している。よって数字が大きいほど素線径が細くなり、網目も小さくなっていく。この表記方法は市販の網戸に準じており、最も多く使用されている網戸はM 1 8と思われる(自宅の網戸が全てM 1 8であることより)。従って、前述の条件(素線径の大小)はこのM数を変動させることで設定できる。

#### (2) 実験の無作為化

統計的解析の精度を向上させるためには、極力実験誤差を小さくする必要がある。そのための一つの方法として、実験順序を無作為化することとした。無作為化の方法としては、ランダムサンプリング法を採用した。写真1の箱の中に実験番号(表1の# 1 ~ 3 6)を書いた木片を入れておき(写真2)、十分振ってから見えない状態で1個取り出し(木片は元に戻さない)、そこに書かれた番号の実験を行うこととした。



写真 1



写真 2

(3) 実験装置  
装置本体



写真 3 正面



写真 4 側面

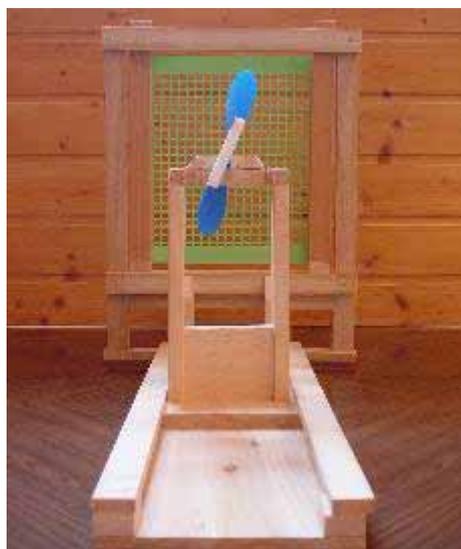


写真 5 背面

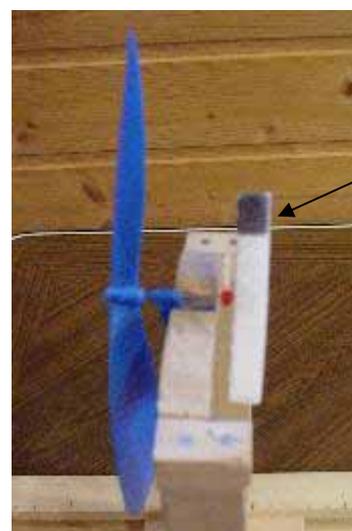


写真 6 拡大

観察部位

## 測定方法

写真 6 の観測部位が 1 分間に何回転するかをカウントする。よってデータの単位は (回転 / 分) となる。

## 網モデル一覧

表 2 網モデルの条件表

モデル No.	網目形状 ( A )			メッシュ数 ( B )	
	正方形 ( A 1 )	正三角形 ( A 2 )	正六角形 ( A 3 )	1 8 ( B 1 )	2 7 ( B 2 )
1					
2					
3					
4					
5					
6					

( 補足説明 )

- ・ 網モデル 1 は「網目が正方形 + M 1 8」となる。条件 の帆の有無については、写真 1 4 のように測定時に形成することで対応できるため、この条件表には書かれていない。よってこの網モデル 1 により実験 # 1 ~ 6 まで行える。6 つの網モデルで全ての実験が行なえる。
- ・ メッシュ数を 1 8 と 2 7 に設定した理由は以下の通りである。なお、網モデルの寸法計算方法については補足資料 B を参照。
- 設定理由 -
  - ・ 1 8 : 一般的に使用されている網戸であるため設定した。
  - ・ 2 7 : M 2 6 という網戸も実際に販売されているため設定した。数字が 1 つ大きくなったのは、モデルを製作する都合上、寸法計算をしやすくするために近い値を選んだためである。
- ・ 網モデル 1 ~ 3 は素線径と網目 1 個当りの面積が同じになっている。4 ~ 6 も同様である。

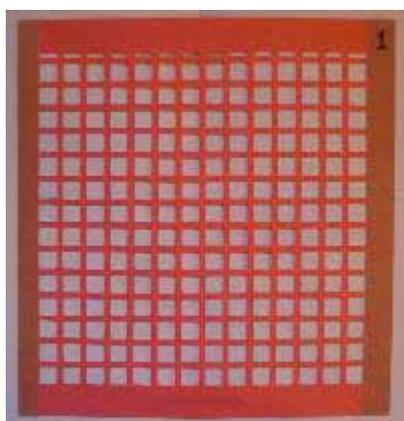


写真 7 ( No. 1 )

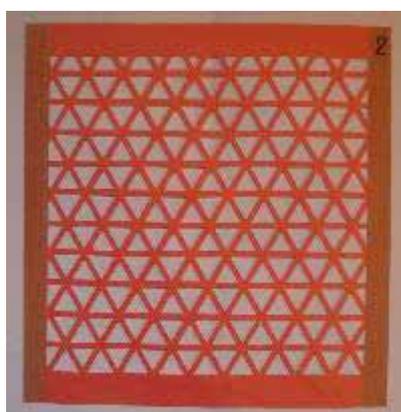


写真 8 ( No. 2 )

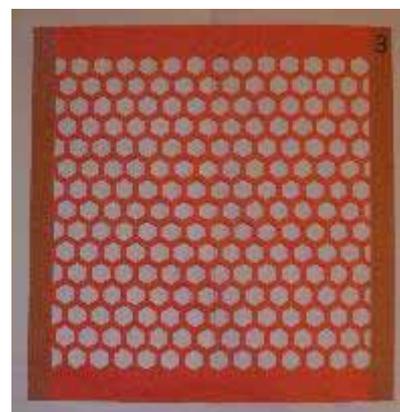


写真 9 ( No. 3 )

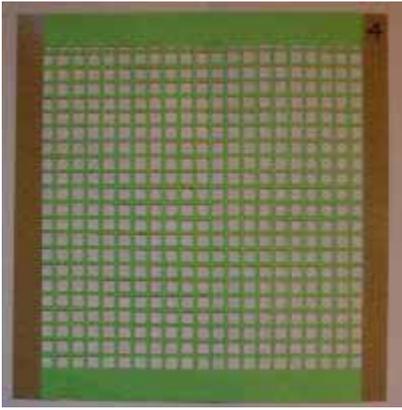


写真 1 0 ( No. 4 )

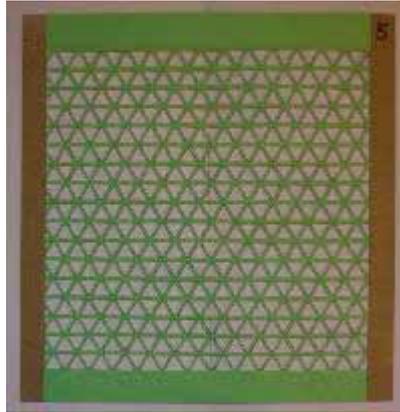


写真 1 1 ( No. 5 )

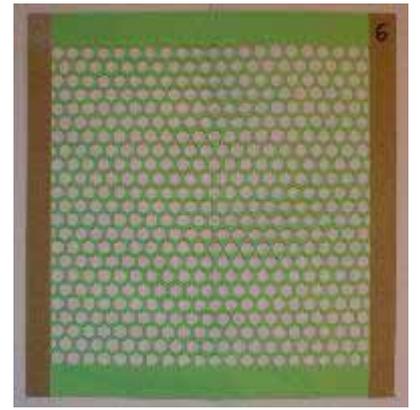


写真 1 2 ( No. 6 )



写真 1 3

帆無し  
の状態



写真 1 4

帆有り  
の状態

#### 4 実験結果と解析

##### (1) 実験結果

表 3 実験結果

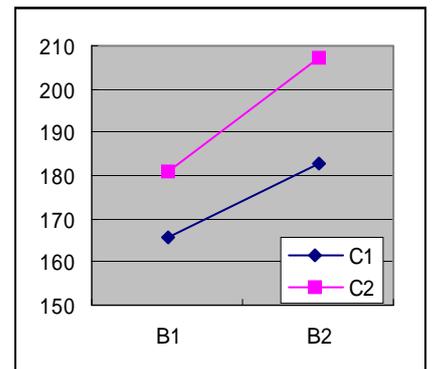
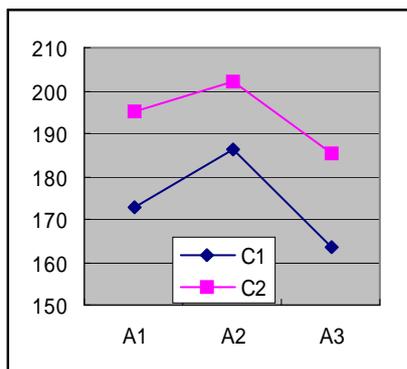
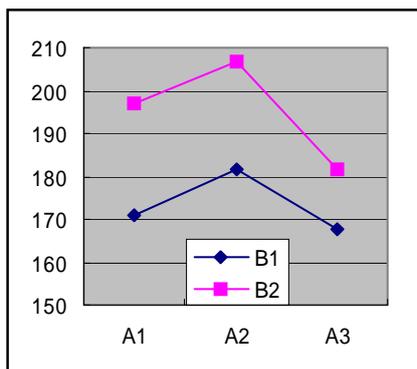
網目形状 A	メッシュ数 B	帆 C					
		無 ( C 1 )			有 ( C 2 )		
正方形 ( A 1 )	1 8 ( B 1 )	1 5 1	1 5 5	1 7 0	1 8 5	1 7 9	1 8 6
	2 7 ( B 2 )	1 9 6	1 7 5	1 8 9	2 2 0	2 0 0	2 0 1
正三角形 ( A 2 )	1 8 ( B 1 )	1 6 5	1 9 7	1 8 7	1 8 9	1 8 4	1 6 8
	2 7 ( B 2 )	1 9 0	1 8 3	1 9 7	2 1 1	2 2 6	2 3 4
正六角形 ( A 3 )	1 8 ( B 1 )	1 4 8	1 6 3	1 5 6	1 5 5	1 9 6	1 8 8
	2 7 ( B 2 )	1 7 1	1 7 4	1 7 0	1 9 4	1 9 6	1 8 4

( 単位 : 回転 / 分 )

(2) 分散分析の結果

表 4 分散分析表

要因	平方和	自由度	分散	F	群間 自由度	群内 自由度	F0.05	F0.01
A	2323	2	1161	9.27	2	33	3.32	5.39
B	4203	1	4203	33.54	1	34	4.17	7.56
C	3580	1	3580	28.56	1	34	4.17	7.56
A × B	273	2	136	1.09	2	30	3.32	5.39
A × C	90	2	45	0.36	2	30	3.32	5.39
B × C	191	1	191	1.53	1	32	4.17	7.56
A × B × C	827	2	413	3.30	2	24	3.49	5.85
誤差	3008	24	125	-	-	-	-	-
計	14495	35	-	-	-	-	-	-
修正項	1222130	-	-	-	-	-	-	-
総平方和	14495	-	-	-	-	-	-	-



グラフ 1 A × B

グラフ 2 A × C

グラフ 3 B × C

条件（素線径）は 1 % で有意。

条件（帆の有無）は 1 % で有意。

条件（網目形状）は 1 % で有意。

二条件間、三条件間共に有意差はない。つまり交互作用があるとは言えない。グラフからも傾きの変化や交差は無いことが分る。

(3) 考察

昨年までの研究で、効果が有ると結論付けていた三つの条件は、統計的解析でも効果があることが検証できた。

交互作用に関しては、A × B × C が 5 % で棄却されている。三条件を全て備えた網戸は、相乗効果が大きいかも知れないと期待したが、「統計的には相乗効果があるとは言えない」という結果が出た。しかし、5 % 棄却域 3.49 に対し 3.30 という結果を観ると、より精度の高い実験の結果次第では“効果有り”という結果がでるかも知れないと思う。

条件（網目形状）の効果は検証されたものの、形状による効果の順番は異なる結果がでた。数学的推測では表5のように、正三角形 正方形 正六角形の順で効果が高くなると考えた。しかし今回の実験結果では、正六角形 正方形 正三角形の順で効果が高くなっており1位と3位が逆転してしまった。

表5 . 網目形状の違いによる効果推測と実験結果の比較

網目形状	数学的推測 * 1	実験結果 * 2
正方形	1.00	1.00
正三角形	0.88	1.06
正六角形	1.08	0.95

(補足説明)

- ・ 数字は、正方形を1とした場合の風速の比率である。よって、1.08とは正方形の1.08倍の効果があることを示す。

- ・ \* 1の計算方法

正方形の全周長さを1とすると、正三角形は1.14、正六角形は0.93となる。よって効果は以下の通り。

$$\text{正三角形の効果} = 1 / 1.14 = 0.88 \text{ 倍}$$

$$\text{正六角形の効果} = 1 / 0.93 = 1.08 \text{ 倍}$$

- ・ \* 2の計算方法

正方形のデータ(#1~12)の平均 = 184

正三角形のデータ(#13~24)平均 = 194

正六角形のデータ(#25~36)の平均 = 175

同様に正方形を基準にすると、

$$\text{正三角形の効果} = 194 / 184 = 1.06 \text{ 倍}$$

$$\text{正六角形の効果} = 175 / 184 = 0.95 \text{ 倍}$$

今回の実験結果では、逆の現象が発生していることから、この前提条件(添付資料Aの2(3)参照)は崩れてしまった。素線全周長さではなく、網目1個当りの辺の数(正三角形 = 3、正方形 = 4、正六角形 = 6)が影響しているのかも知れない。いずれにしても、網目通過後の空気の流れをもっと詳細に観察しなければ、これ以上の推測はできない。

一般的に使われている市販の網戸(条件A1B1C1)と、最も効果が高いと思われる網戸(A2B2C2)の平均値はそれぞれ159、224となる。このことからA2B2C2のような網戸があれば、現在よりも約1.4倍(224/159=1.41より)涼しい網戸が作れる可能性がある。

## 5 結論

- (1) 三つの条件は統計的に判断しても効果があると言える。
- (2) 三つの条件間に交互作用があるとは言えない。
- (3) 今までの研究結果から最適な網戸の条件は、次のとおり。

正三角形の網目形状を持ち、  
M 2 7 以上の素線径で、  
帆を持った網戸、

このような網戸であれば、市販品の網戸 M 1 8 に比べ、約 1 . 4 倍の涼しさ向上効果が期待できる。

## 6 今後の研究課題

- (1) 交互作用に関しては  $A \times B \times C$  のさらなる研究が必要である。F 値が大きいことから、今回の実験だけで“相乗効果無し”とは断言しきれないと思う。
- (2) 網目形状に関しては、「網目 1 個当りの面積は同じなのに、なぜ多角形になるほど風速が低下してしまうのか」という点について課題が残された。この点については、かなり専門的な研究が必要になりそうである。

## 7 研究を終えて

今年の研究の特徴は、モデルによる実験であったこと、統計的解析を行ったことの 2 点である。いずれも、私にとっては初めての試みであった。

去年は、せっかく対策案を考えたものの、実際に自分で製作することはできなかったため、効果の検証を諦めていた。しかし今年は、「厚紙だったら作れるかも知れない」と思い、取り組んでみた。実際の網戸とは空気抵抗や空気の流れ方が違うので、解析できるようなデータが取れるか心配であったが、期待以上の結果が得られたと思う。

また、統計的解析については、このような方法があること自体に驚いた。この方法は、世の中のいろいろな実験で使われている事も知った。今までは、データがばらついてしまうことが悪いことであるかのように思っていたが、このバラツキを逆に利用し、サンプル間の差の有無を判断してしまうという理論があることに面白さを感じた。今回は分散分析の統計理論まで理解することはできなかったが、高校でもっと高等な数学を学んでいく中で勉強していきたいと思う。

### 【参考文献】

- ・「回帰分析」 久米均 / 飯塚悦功 著
- ・「実験計画法」 小木哲朗教授のウェブサイト

## 添付資料 A

< 昨年までの研究結果詳細 >

### 1 乱流による失速の状態

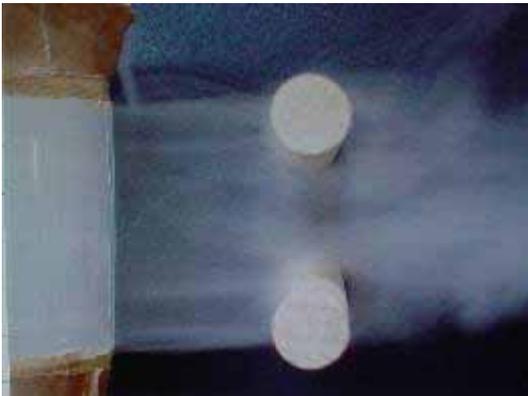


写真 A - 1

この影響で、網を通過後の風速は通過前に比べ、50%程度にまで低下してしまうことが分かった。

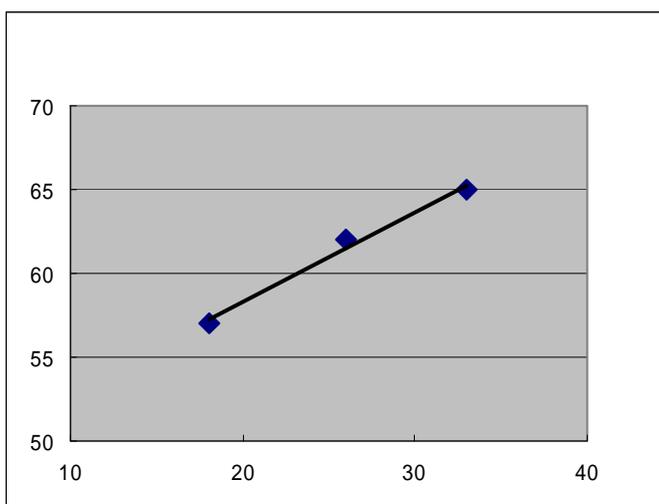
### 2 三つの条件の効果検証結果

#### (1) 条件（素線径）について

表 A - 1 M 1 8、M 2 6、M 3 3 の比較

	1 回目	2 回目	3 回目	平均	比率
網無し状態	1 4 7	1 5 0	1 5 0	1 4 9	-
M 1 8	8 8	8 6	8 2	8 5	5 7 %
M 2 6	9 3	9 3	8 9	9 2	6 2 %
M 3 3	1 0 0	9 8	9 2	9 7	6 5 %

(単位：回転 / 分)



グラフ A - 1

上表の結果をプロットすると、グラフ A - 1 のようになる。ほぼ直線上に並んでいることから、1次式で表せると考えられる。M 1 8 の座標 ( 18、57 ) と M 3 3 の座標 ( 33、65 ) の 2 点を結ぶ直線の式は次式のとおりである。

$$Y = 0.53X + 47.4$$

この式を用いれば、メッシュ数を変えた場合の風速の低下具合を予測することができる。

(2) 条件 (帆の有無) について

表 A - 2 帆の効果

	1 回目	2 回目	3 回目	平均	比率
網無し状態	1 3 4	1 3 2	1 3 0	1 3 2	-
帆 1 0 mm	7 6	8 3	7 9	7 9	6 0 %
帆 2 0 mm	8 6	8 7	8 1	8 5	6 4 %

(単位：回転 / 分)

注) 1 0、2 0 mm とは帆を形成するための網のたるみ量である。

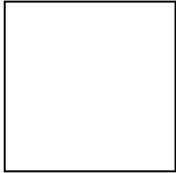
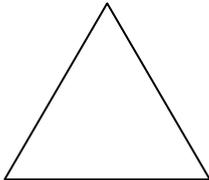
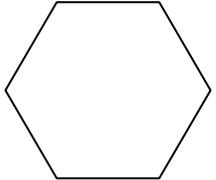
表 A - 1 の M 1 8 の 5 7 % と比べ効果があることが分る。

(3) 条件 (網目形状) について

数学的推測の前提条件は以下の通りである。

「空気が素線を通過することで渦が発生してしまう(添付資料 A の写真 A - 1 参照)。だから網目 1 個当たりの素線全周長さが長いほど影響を受け易いだろう。この長さが最も長い網目は正三角形(正方形・正三角形・正六角形すべての網目 1 個当たりの面積が等しい場合)であり、短いのは正六角形である。よって正三角形が最も不利であろう」

表 A - 3 数学的推測

	正方形	正三角形	正六角形
	1 辺を a とすると	1 辺を b とすると	1 辺を c とすると
面積	 $a^2$	 $3 \cdot b^2 / 4$	 $3 \cdot c^2 / 2$
全周長さ	$4 a$	$3 b$ これを a で表すと、 $a^2 = 3 \cdot b^2 / 4$ の関係を利用し、 $b = 2 a / \sqrt{3}$ よって、 $3 b = 2 a \sqrt{3}$	$6 c$ これを a で表すと、 $a^2 = 3 \cdot c^2 / 2$ の関係を利用し、 $c = 2 a / \sqrt{3}$ よって、 $6 c = 4 a \sqrt{3}$
全周長さの比	1 とすると	$1.155$	$0.93$

## 添付資料 B

### < 網モデル寸法計算方法 >

#### 1 基本条件

- (1) 基準とする網戸は市販の M 1 8 とする。(最も使われているため)
- (2) M 1 8 網戸を 1 0 倍したモデルとする。(これ以上小さな倍率では製作困難な為)

#### 2 計算方法

- ・ M 1 8 正方形モデル (網モデル 1 )  
M 1 8 (実物) は素線径 0 . 3 3 mm、網目 1 辺長さ 1 . 0 6 mm であるため、それぞれ 1 0 倍し 3 . 3 mm、1 0 . 6 mm とする。
- ・ M 1 8 正三角形モデル (網モデル 2 )  
網目 1 個の面積が網モデル 1 と等しくなるように 1 辺の長さを求める (表 A - 3 の式から求められる)。  
網モデル 1 の網目 1 個の面積  $1 . 1 2 \text{ mm}^2$   
 $b^2 \cdot 3 / 4 = 1 . 1 2$  より、 $b = 1 . 6 0 9 \text{ mm}$   
これを 1 0 倍し、1 辺は 1 6 . 1 mm。
- ・ M 1 8 正六角形モデル (網モデル 3 )  
上記と同様に計算すると、  
 $c^2 \cdot 3 / 2 = 1 . 1 2$  より、 $c = 0 . 6 6 \text{ mm}$   
これを 1 0 倍し、1 辺は 6 . 6 mm。
- ・ M 2 7 正方形モデル (網モデル 4 )  
製作し易く M 2 6 市販網戸に近い条件とするために網モデル 1 の 2 / 3 とすることとした。よって素線径は 2 . 2 mm で 1 辺の長さは 7.1mm となる。
- ・ M 2 7 正三角形モデル (網モデル 5 )  
網モデル 2 と同じ計算方法により、1 辺が 1 0 . 7 mm となる。
- ・ M 2 7 正六角形モデル (網モデル 6 )  
網モデル 3 と同じ計算方法により、1 辺が 4 . 4 mm となる。