

物理チャレンジ 2018 実験レポート

～フックの法則の成立条件と輪ゴムの応力-ひずみ曲線～

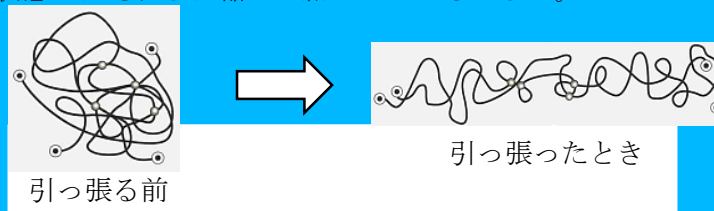
兵庫県立神戸高等学校 2年

このレポートでは、輪ゴムの引っ張る力と伸びの関係を調べた。目的は輪ゴムがどんな条件でフックの法則が成立するのかを調べることであり、そして輪ゴムの応力-ひずみ曲線の形状を調べることであり、実験により輪ゴムの伸びは時間によっても変化すること、分子間力の大きさがフックの法則が成立するかどうかが決める要因であること、輪ゴムの応力-ひずみ曲線は単調増加であることなどが分かった。

1. はじめに

1.1. 実験の目的

輪ゴムを引っ張ると伸びる、というのはごく一般的に知られた事実である。輪ゴムが引っ張ると伸びる理由はゴムが高分子鎖であり、元の状態ではそれらは縮んで絡まっているからだ。



上図を見ればゴムが伸びる理由は簡単に理解できる。

ゴムのほかに身近な弾性体としてばねがあげられるが、ばねが伸びる理由とゴムが伸びる理由は全く違う。従ってばねにおける、引っ張る力 F と自然長からの伸び Δx との間で成立するフックの法則 $F \propto \Delta x$ は、ゴムにおいて完全には成立しないと考えた。しかし、ゴムにおいても F が増加すれば Δx も増加することは想像できるので、部分的にフックの法則 $F \propto \Delta x$ が成立するかもしれない。この実験の目的の一つは、ゴムも部分的にフックの法則 $F \propto \Delta x$ が成立するのかを検証することにある。

次に、多くの弾性体は、応力-ひずみ線図によって比較できる。同じ大きさの力を与えて引っ張っても、物体の断面積によって伸びは変化してしまう。断面積が大きくなればなるほど伸びは減少する。そこで加えた力と伸びを比較するのではなく、単位面積当たりの加えた力と伸びを比較するのである。この力を応力と呼ぶ。即ち加えた力 F と断面積 S に対して、応力 σ は

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

と定義される。ここで、断面積 S は加えた力の大きさによって変化するが、体積 V は一定である。力 F を加えたときの長さを x とすると $V = x \cdot S$ より

$$\sigma = \frac{F \cdot x}{V}$$

である。ところが、同じ応力を加えても物体の長さによっても伸びは変化してしまう。そこで応力と伸びを比較するのではなく、応力と単位長さ当たりの伸びを比較するのである。この単位長さ当たりの伸びをひずみと呼ぶ。物体を伸ばすとき時々刻々と長さは変わっていくので、力 F 加えたときの長さを x とするとひずみ ϵ について

$$d\epsilon = \frac{dx}{x}$$

が成立する。従って初期状態での長さを x_0 とすれば、

$$\epsilon = \int_{x_0}^x \frac{dx}{x} = \ln \frac{x}{x_0}$$

となる。これら二つの物理量 σ 、 ϵ の関係を示したものが応力-ひずみ線図である。ゴムにおける応力-ひずみ線図を調べるのがこの実験の目的の二つ目である。

2. 実験

2.1. 実験材料

- ・ スタンド
- ・ 輪ゴム(5種類)
- ・ 重り(51 g, 25 g, 5.1 g)
- ・ 水平器
- ・ 目玉クリップ・クリップ
- ・ 定規(50 cm)
- ・ タイマー



輪ゴム 5 種類(番号をふってある。)



目玉クリップ、クリップ、重り(51 g,25 g,5.1 g)



水平器

2.2. 実験 1

① 実験内容

まず予備実験として、輪ゴム①に重りを一個ずつ増やしてつるしていき伸びを測定し大まかなグラフの形状を確認する。

② 実験方法

- (1) クリップ・おもりの重さを測定する。輪ゴムを切り、まっすぐにして自然長、断面積を図る。
- (2) スタンドを用意し、できるだけ長い定規を取り付ける。



- (3) 輪ゴムを切り一直線にする。両端に目玉クリップとクリップで 5 mm 挟む。この時輪ゴムを引っ張らずにたるんだまま行う。クリップの金具を一つ外す。



輪ゴムを目玉クリップとクリップで 5 mm 挟んだ状態 金具を外したクリップ(左)と金具(右)

- (4) 輪ゴムをたるませたまま目玉クリップをスタンドの留め具につけ、この時の輪ゴムの長さを測定する。
 (5) クリップに重りを一個ずつ加えていき、(4)の操作を繰り返し行う。



おもりを三個つなげた状態

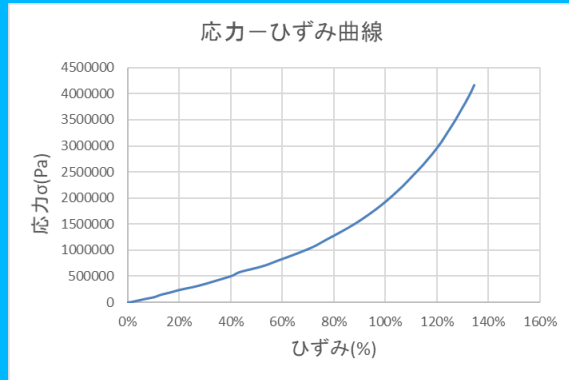
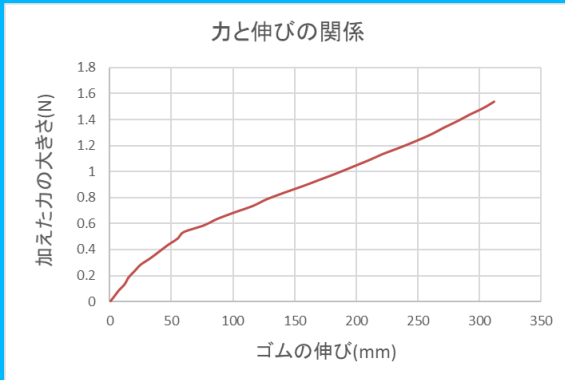
- (6) 計測した値をもとにして、加えた質量(g)・加えた力(N)・輪ゴムの長さ(mm)・輪ゴムの伸び(mm)・輪ゴムの長さの前項との差(mm)・ひずみ・応力(Pa)を求める。

③ 実験結果

以下の表のとおりとなった。

おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力σ (Pa)
0(クリップなし)	0	0	110	0	0	0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	113	3	3	0.02691	26305.7268
1	8.8	0.08624	117	7	4	0.06169	64779.661
2	13.9	0.13622	122	12	5	0.10354	106695.172
3	19	0.1862	125	15	3	0.12783	149428.608
4	24.1	0.23618	130	20	5	0.16705	197119.928
5	29.2	0.28616	135	25	5	0.20479	248020.031
6	34.3	0.33614	143	33	8	0.26236	308603.107
7	39.4	0.38612	150	40	7	0.31015	371841.294
8	44.5	0.4361	157	47	7	0.35577	439571.777
9	49.6	0.48608	165	55	8	0.40547	514915.254
10	54.7	0.53606	170	60	5	0.43532	585068.053
11	59.8	0.58604	186	76	16	0.52527	699816.641
12	64.9	0.63602	197	87	11	0.58272	804416.667
13	70	0.686	211	101	14	0.65138	929288.649
14	75.1	0.73598	226	116	15	0.72005	1067870.31
15	80.2	0.78596	237	127	11	0.76758	1195894.45
16	85.3	0.83594	251	141	14	0.82497	1347078.45
17	90.4	0.88592	266	156	15	0.88302	1512934.77
18	95.5	0.9359	280	170	14	0.93431	1682408.83
19	100.6	0.98588	294	184	14	0.9831	1860867.49
20	105.7	1.03586	307	197	13	1.02637	2041660.37
21	110.8	1.08584	320	210	13	1.06784	2230796.1
22	115.9	1.13582	332	222	12	1.10465	2420982.54
23	121	1.1858	346	236	14	1.14596	2634096.05
24	126.1	1.23578	359	249	13	1.18284	2848260.27
25	131.2	1.28576	371	261	12	1.21572	3062512.58
26	136.3	1.33574	381	271	10	1.24232	3267314.71
27	141.4	1.38572	392	282	11	1.27078	3487430.92
28	146.5	1.4357	402	292	10	1.29597	3705389.06
29	151.6	1.48568	413	303	11	1.32297	3939303.03
30	156.7	1.53566	422	312	9	1.34452	4160558.04

また、力と伸びの関係、応力—ひずみ曲線は以下のとおりである。



④ 考察

力と伸びの関係について、初めのほうは比較的大きい力をかけても伸びは小さくなっている。これはゴムが高分子材料であるために、伸びを大きくするとき分子同士が引き合う分子間力が大きく、伸ばすのにより大きな力が必要であるためだと考えられる。また、その後は分子は離れあって分子間力の影響は少なくなり、そのためフックの法則に従っておおよそ直線になっていると考えられる。つまり、初めは高分子材料というゴム特有の性質のために伸びにくく、フックの法則にしたがう条件は分子がある程度離れたときからだ、といえる。

次に応力—ひずみ曲線について、初めは小さい応力でひずみを生むことができたが、ひずみが 80%～100%付近になると大きい応力が必要になっている。このことは、後半部分では力と伸びの関係が直線で表されている。よって軸が伸びが単位長さ当たりの伸び、力が単位面積当たりの力に変化すると断面積は次第に小さく、長さは次第に大きくなっていくことを考慮に入ればグラフの形状が単調増加になっていることは納得できる。しかし、前半部分でなぜグラフがこのような形状になっているかはまだ不明である。

また、この実験では、時間による伸びの変化を考慮していなかった。輪ゴムをつるしてから測定するまでの時間を一定にすれば、時間による伸びの変化は無視できると考えられる。

2.3. 実験 2

① 実験内容

実験 1 で、輪ゴムの伸びは加えた力の大きさだけでなく、時間によっても変化が生じてしまっているのではないかと思います、それを調べるためにおもりの重さは一定にし時間経過とともにどう伸びが変化するかを測定する実験である。

② 実験方法

- (1) 輪ゴム①～④について実験 1 と同じ手順で(1)～(4)を行う。
- (2) 一定分の重りをつるし、180 s まで 20 s 間隔で輪ゴムの長さを計測する。

③ 実験結果

以下の表のとおりとなった。

条件		各時刻での輪ゴムの長さ(mm)								
ゴムの種類	おもりの重さ(g)	20s	40s	60s	80s	100s	120s	140s	160s	180s
①	25	135	136	136	137	137	137	137	138	138
①	51	176	177	177	178	178	178	178	178	178
①	153	357	359	361	362	363	363	364	364	365
②	102	446	450	451	453	453	456	458	459	460
③	153	243	244	245	245	246	247	247	248	248
④	306	312	312	313	313	315	316	316	317	318

④ 考察

上の三段を見れば、ゴムの種類が同じでも変化量に違いが生じていることが分かる。三段の中で最も変化が大きかったのはおもりが一番重かったものである。よって変化量はつるした重りの重さと正の相関があると予測したが、25 g と 51 g では 25 g のほうが変化量は大きい。この理由については 1mm 程度の差なので誤差の範囲であると考えているが、ここにもゴムの性質が絡んでいるのかもしれない。また、20 s ごとの変化量にもばらつきが大きく、いずれにせよ、6つの条件全てにおいてゴムの長さが長くなっているため、つぎの実験からは時間も考慮して伸びを計測する必要がある。

2.4. 実験 3

① 実験内容

実験2をふまえて、時間によって伸びが正確に測れないということを防ぐために、伸びを測定する時刻を輪ゴムを垂らしてから30s後に統一して実験1と同様なものを行う。

② 実験方法

- (1) 輪ゴム①、③、④について実験1と同様に(1)~(3)を行う。
- (2) 実験1の(4)を、輪ゴムを垂らしてから30s後に測ることに注意して行う。
- (3) 新しいゴムを用い、おもりをつなげた時も(2)と同様に行う。

③ 実験結果

(1) ゴム①、おもり5.1gのとき

おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力σ (Pa)
0(クリップなし)	0	0	110	0	0	0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	113	102	3	0.0269	263057.27
1	8.8	0.08624	117	106	4	0.0617	647796.61
2	13.9	0.13622	122	111	5	0.1035	1066951.7
3	19	0.1862	125	114	3	0.1278	1494286.1
4	24.1	0.23618	130	119	5	0.1671	1971199.3
5	29.2	0.28616	135	124	5	0.2048	2480200.3
6	34.3	0.33614	143	132	8	0.2624	3086031.1
7	39.4	0.38612	150	139	7	0.3102	3718412.9
8	44.5	0.4361	157	146	7	0.3558	4395717.8
9	49.6	0.48608	165	154	8	0.4055	5149152.5
10	54.7	0.53606	176	165	11	0.47	6057175.1
11	59.8	0.58604	186	175	10	0.5253	6998166.4
12	64.9	0.63602	197	186	11	0.5827	8044166.7
13	70	0.686	211	200	14	0.6514	9292886.5
14	75.1	0.73598	226	215	15	0.7201	10678703
15	80.2	0.78596	237	226	11	0.7676	11958945
16	85.3	0.83594	251	240	14	0.825	13470785
17	90.4	0.88592	266	255	15	0.883	15129348
18	95.5	0.9359	280	269	14	0.9343	16824088
19	100.6	0.98588	294	283	14	0.9831	18608675
20	105.7	1.03586	307	296	13	1.0264	20416604
21	110.8	1.08584	320	309	13	1.0678	22307961
22	115.9	1.13582	332	321	12	1.1047	24209825
23	121	1.1858	346	335	14	1.146	26340960
24	126.1	1.23578	359	348	13	1.1828	28482603
25	131.2	1.28576	371	360	12	1.2157	30625126
26	136.3	1.33574	381	370	10	1.2423	32673147
27	141.4	1.38572	392	381	11	1.2708	34874309
28	146.5	1.4357	402	391	10	1.296	37053891
29	151.6	1.48568	413	402	11	1.323	39393030
30	156.7	1.53566	422	411	9	1.3445	41605580
31	161.8	1.58564	433	422	11	1.3703	44079489
32	166.9	1.63562	440	429	7	1.3863	46203955
33	172	1.6856	451	440	11	1.411	48806215
34	177.1	1.73558	459	448	8	1.4286	51144788
35	182.2	1.78556	465	454	6	1.4416	53305431
36	187.3	1.83554	478	467	13	1.4691	56329489
37	192.4	1.88552	484	473	6	1.4816	58589605
38	197.5	1.9355	492	481	8	1.498	61136749
39	202.6	1.98548	501	490	9	1.5161	63862704

(2) ゴム③、おもり5.1gのとき

おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力(Pa)
0(クリップなし)	0	0	146	0		0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	147	1	1	0.0068	10152.49
1	8.8	0.08624	149	3	2	0.0203	24474.99
2	13.9	0.13622	151	5	2	0.0337	39178.27
3	19	0.1862	151	5	0	0.0337	53553.03
4	24.1	0.23618	155	9	4	0.0598	69727.21
5	29.2	0.28616	157	11	2	0.0726	85572.86
6	34.3	0.33614	158	12	1	0.079	101159.1

7	39.4	0.38612	160	14	2	0.0916	117671.1
8	44.5	0.4361	162	16	2	0.104	134563.9
9	49.6	0.48608	165	19	3	0.1223	152763.3
10	54.7	0.53606	167	21	2	0.1344	170512.9
11	59.8	0.58604	169	23	2	0.1463	188643.3
12	64.9	0.63602	172	26	3	0.1639	208365.9
13	70	0.686	175	29	3	0.1812	228659.7
14	75.1	0.73598	177	31	2	0.1925	248122.8
15	80.2	0.78596	179	33	2	0.2038	267966.8
16	85.3	0.83594	182	36	3	0.2204	289783.7
17	90.4	0.88592	185	39	3	0.2367	312171.8
18	95.5	0.9359	187	41	2	0.2475	333348.5
19	100.6	0.98588	190	44	3	0.2634	356783.8
20	105.7	1.03586	193	47	3	0.2791	380790.3
21	110.8	1.08584	197	51	4	0.2996	407436.1
22	115.9	1.13582	202	56	5	0.3247	437006.9
23	121	1.1858	206	60	4	0.3443	465271.2
24	126.1	1.23578	209	63	3	0.3587	491943.1
25	131.2	1.28576	213	67	4	0.3777	521635.3
26	136.3	1.33574	216	70	3	0.3917	549544.9
27	141.4	1.38572	221	75	5	0.4146	583304.4
28	146.5	1.4357	227	81	6	0.4413	620750.4
29	151.6	1.48568	231	85	4	0.4588	653679.3
30	156.7	1.53566	236	90	5	0.4802	690294.7

(3) ゴム④、おもり 5.1 g のとき

おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力(Pa)
0(クリップなし)	0	0	185	0		0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	185	0	0	0	12436.23
1	8.8	0.08624	186	1	1	0.0066	29737.93
2	13.9	0.13622	188	3	2	0.0198	47477.49
3	19	0.1862	189	4	1	0.0263	65242.49
4	24.1	0.23618	190	5	1	0.0328	83192.81
5	29.2	0.28616	192	7	2	0.0456	101859
6	34.3	0.33614	193	8	1	0.052	120272.6
7	39.4	0.38612	194	9	1	0.0583	138871.5
8	44.5	0.4361	195	10	1	0.0645	157655.7
9	49.6	0.48608	196	11	1	0.0708	176625.3
10	54.7	0.53606	197	12	1	0.077	195780.2
11	59.8	0.58604	198	13	1	0.0831	215120.4
12	64.9	0.63602	200	15	2	0.0953	235825
13	70	0.686	201	16	1	0.1014	255628.5
14	75.1	0.73598	202	17	1	0.1074	275617.3
15	80.2	0.78596	204	19	2	0.1193	297248.5
16	85.3	0.83594	206	21	2	0.131	319250.4
17	90.4	0.88592	208	23	2	0.1427	341622.8
18	95.5	0.9359	209	24	1	0.1484	362630.9
19	100.6	0.98588	211	26	2	0.1598	385652
20	105.7	1.03586	212	27	1	0.1655	407123.3
21	110.8	1.08584	213	28	1	0.1711	428780
22	115.9	1.13582	214	29	1	0.1768	450622
23	121	1.1858	215	30	1	0.1823	472649.2
24	126.1	1.23578	217	32	2	0.1934	497152.9
25	131.2	1.28576	219	34	2	0.2043	522027.1
26	136.3	1.33574	221	36	2	0.2151	547272
27	141.4	1.38572	223	38	2	0.2258	572887.6
28	146.5	1.4357	224	39	1	0.2311	596212.1
29	151.6	1.48568	226	41	2	0.2416	622476.2
30	156.7	1.53566	228	43	2	0.2521	649111

(4) ゴム③、25g のとき

おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力(Pa)
0(クリップなし)	0	0	150	0		0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	152	2	2	0.01325	10217.87
1	28.7	0.28126	159	9	7	0.05827	82907.56
2	53.7	0.52626	170	20	11	0.12516	165858.7
3	78.7	0.77126	182	32	12	0.19337	260232.3
4	103.7	1.01626	203	53	21	0.30257	382463.4
5	128.7	1.26126	220	70	17	0.38299	514418.2
6	153.7	1.50626	241	91	21	0.47416	672986
7	178.7	1.75126	272	122	31	0.59517	883097.4
8	203.7	1.99626	305	155	33	0.70968	1128771
9	228.7	2.24126	341	191	36	0.82125	1416889
10	253.7	2.48626	376	226	35	0.91895	1733099
11	278.7	2.73126	412	262	36	1.01039	2086168
12	303.7	2.97626	444	294	32	1.08519	2449869
13	328.7	3.22126	474	324	30	1.15057	2830696
14	353.7	3.46626	524	374	50	1.25086	3367297

(5) ゴム④、25g

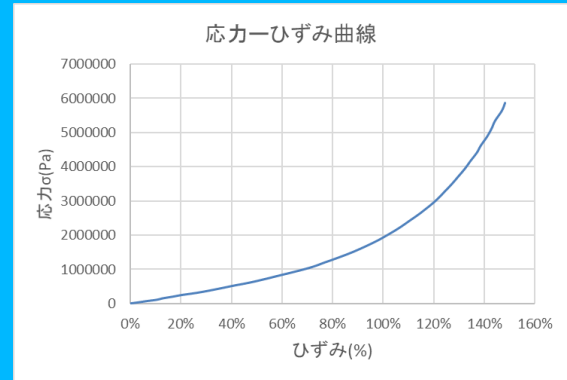
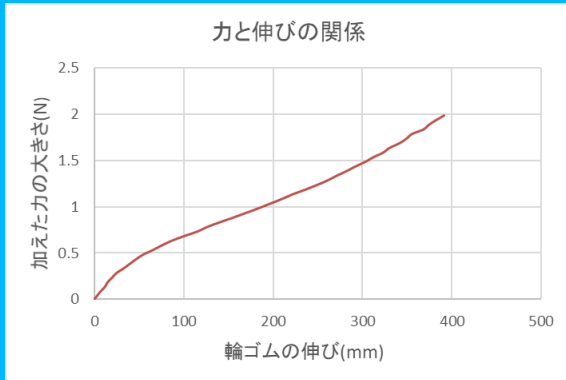
おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力(Pa)
0(クリップなし)	0	0	185	0		0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	186	1	1	0.0066	12503.448
1	28.7	0.28126	192	7	6	0.0456	100114.79
2	53.7	0.52626	197	12	5	0.077	192201
3	78.7	0.77126	206	21	9	0.131	294548.68
4	103.7	1.01626	213	28	7	0.1711	401304
5	128.7	1.26126	221	36	8	0.2151	516756.51
6	153.7	1.50626	229	44	8	0.2572	639476.34
7	178.7	1.75126	240	55	11	0.3124	779203.56
8	203.7	1.99626	251	66	11	0.3646	928923.36
9	228.7	2.24126	263	78	12	0.4187	1092790.8
10	253.7	2.48626	277	92	14	0.4783	1276777.9
11	278.7	2.73126	294	109	17	0.5462	1488673.4
12	303.7	2.97626	311	126	17	0.6098	1716012
13	328.7	3.22126	330	145	19	0.6763	1970737.5
14	353.7	3.46626	351	166	21	0.7451	2255575.2
15	378.7	3.71126	377	192	26	0.8242	2593891.4
16	403.7	3.95626	399	214	22	0.8865	2926488.2
17	428.7	4.20126	421	236	22	0.9452	3279070.2
18	453.7	4.44626	444	259	23	1.0031	3659880.3
19	478.7	4.69126	466	281	22	1.0555	4052886.8
20	503.7	4.93626	490	305	24	1.1097	4484181.3
21	528.7	5.18126	509	324	19	1.1506	4889249.8

(6) ゴム④、51g

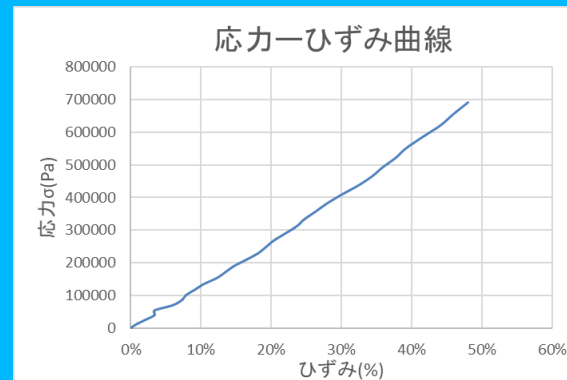
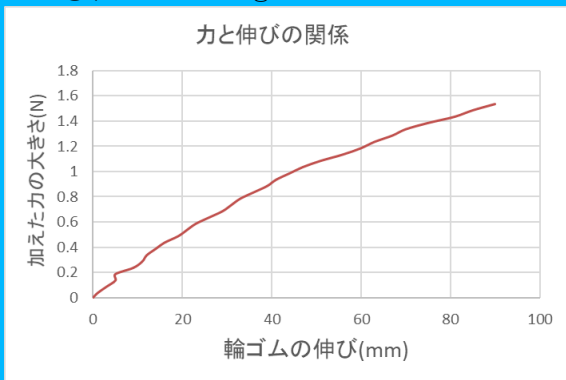
おもりの個数	加えた質量(g)	加えた力(N)	ゴムの長さ(mm)	ゴムの伸び(mm)	前項との差(mm)	ひずみ	応力(Pa)
0(クリップなし)	0	0	185	0		0	0
0(クリップあり)	3.7	0.03626	187	2	2	0.0132	12570.671
1	54.7	0.53606	198	13	11	0.0831	196773.97
2	105.7	1.03586	214	29	16	0.1768	410964.11
3	156.7	1.53566	232	47	18	0.2726	660498.92
4	207.7	2.03546	257	72	25	0.392	969805.75
5	258.7	2.53526	285	100	28	0.5108	1339542.3
6	309.7	3.03506	323	138	38	0.6523	1817434.9
7	360.7	3.53486	369	184	46	0.8005	2418174.5
8	411.7	4.03466	416	231	47	0.9322	3111639.9
9	462.7	4.53446	463	278	47	1.0485	3892204.3
10	513.7	5.03426	551	366	88	1.2355	5142523.7

また、それぞれの力と伸びの関係、応力—ひずみ曲線は以下のとおりである。

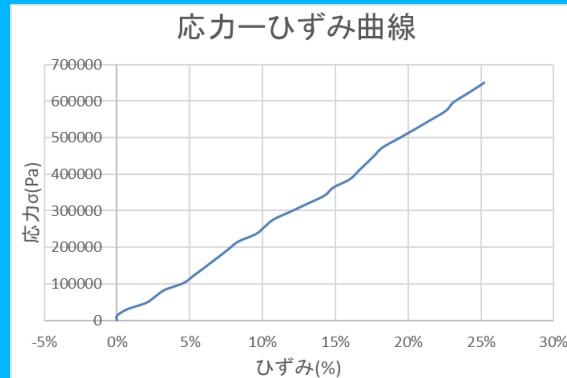
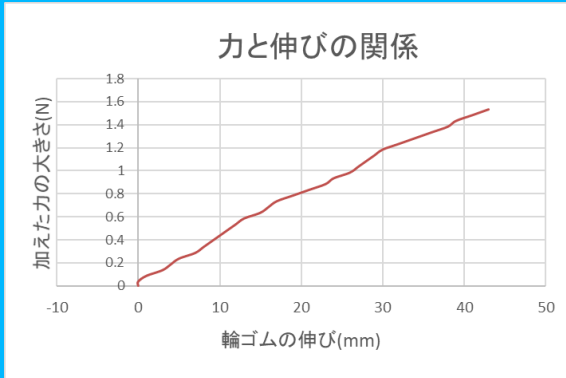
(1) ゴム①、おもり 5.1 g のとき



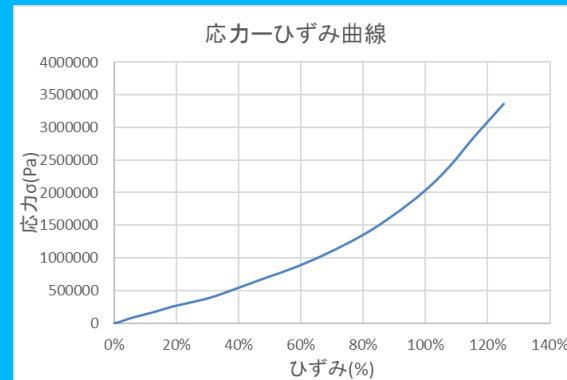
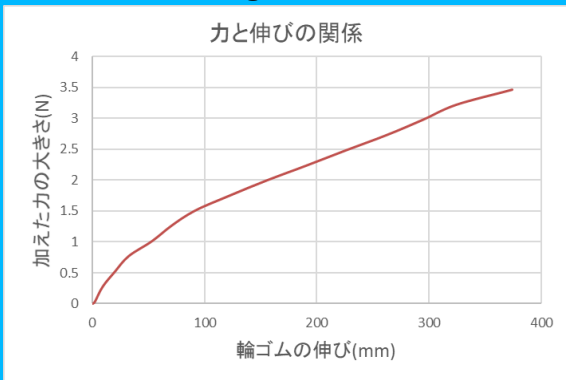
(2) ゴム③、おもり 5.1 g のとき



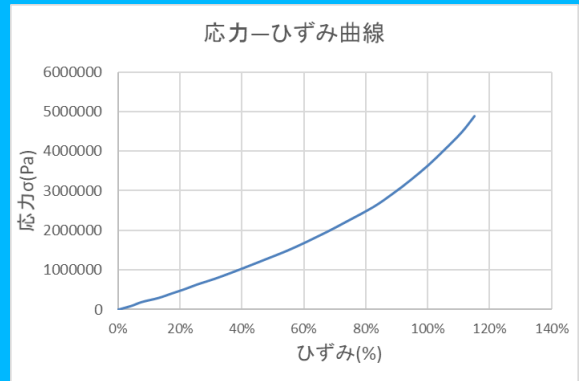
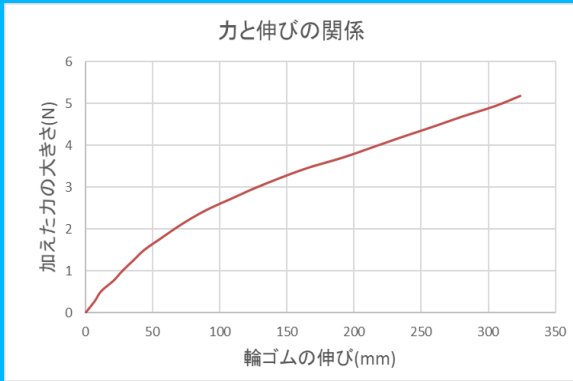
(3) ゴム④、おもり 5.1 g のとき



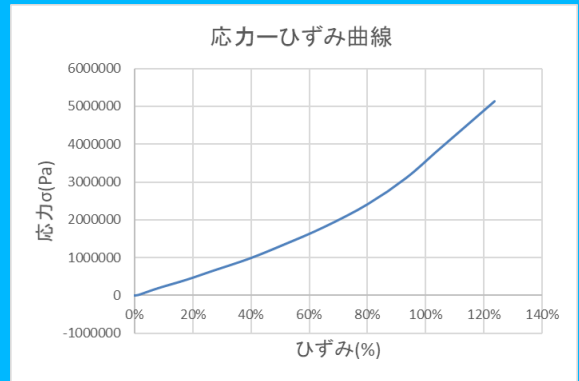
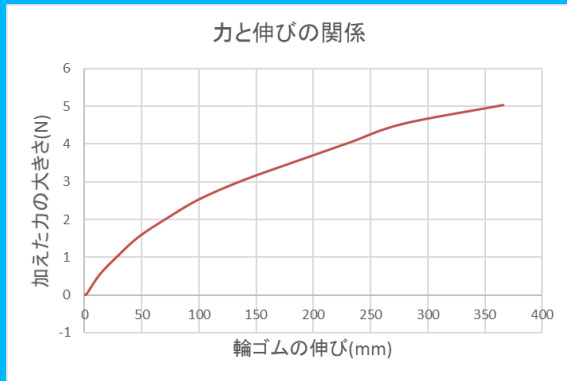
(4) ゴム③、おもり 25 g のとき



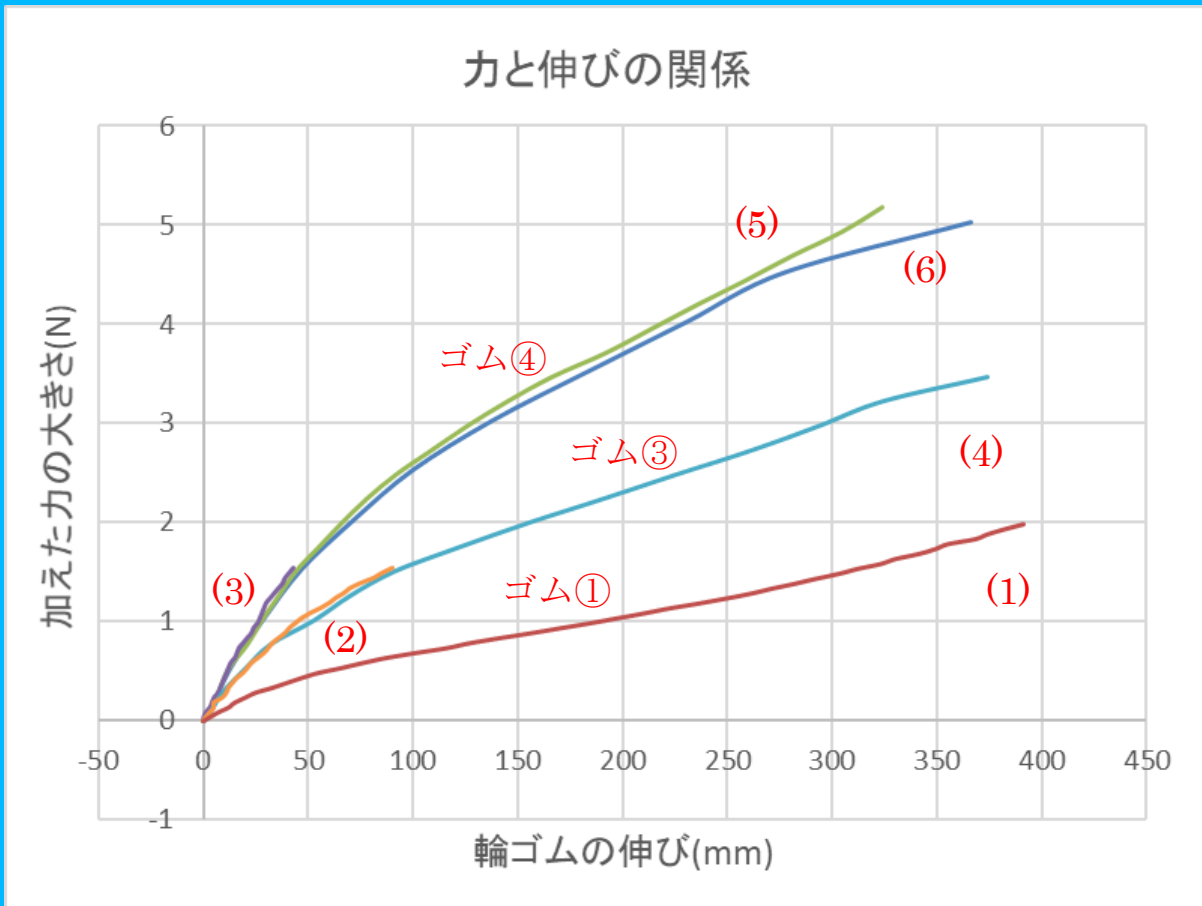
(5) ゴム④、おもり 25 g のとき

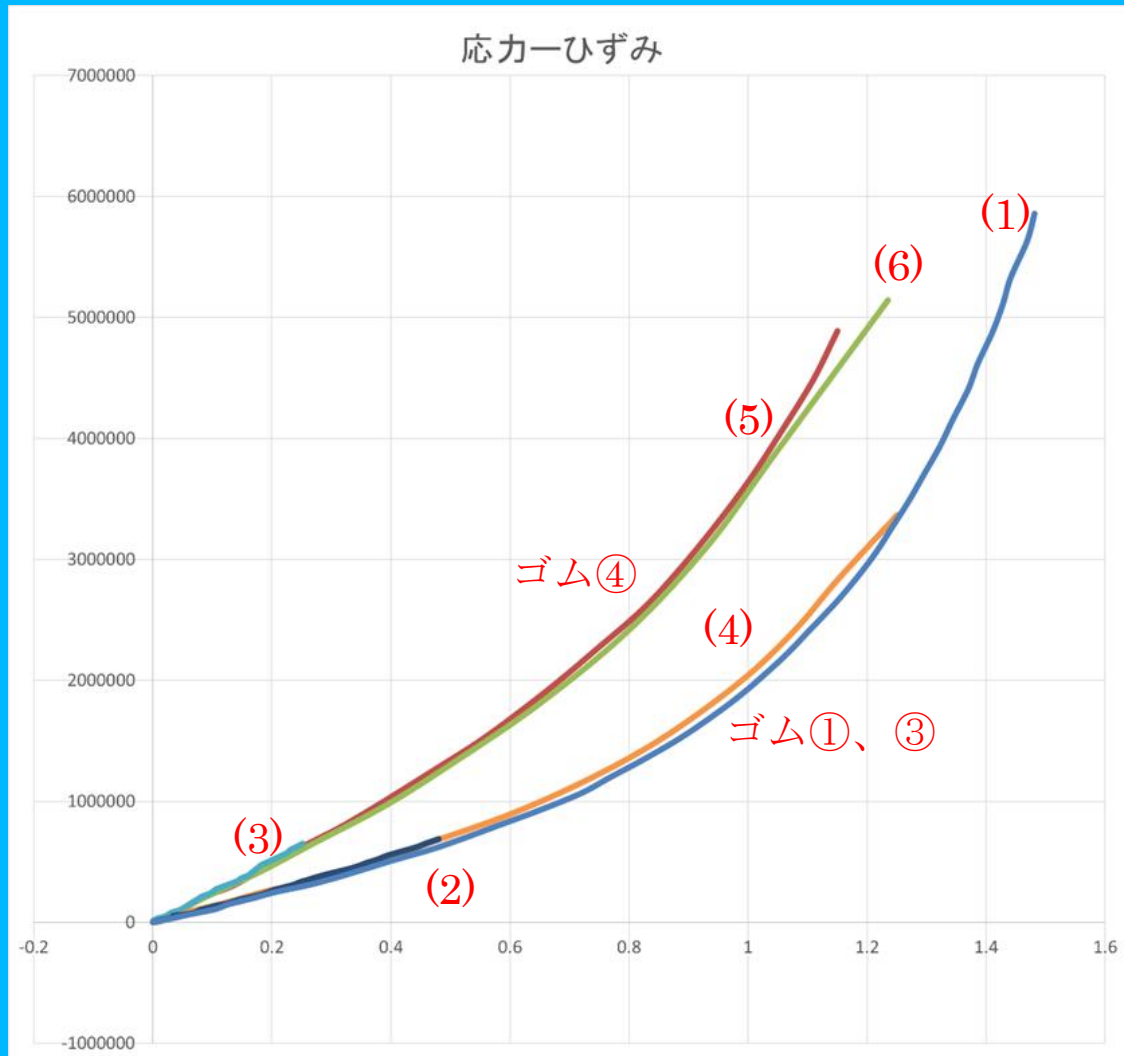


(6) ゴム④、おもり 51 g のとき



(1)~(6)をまとめると、次のようになる。





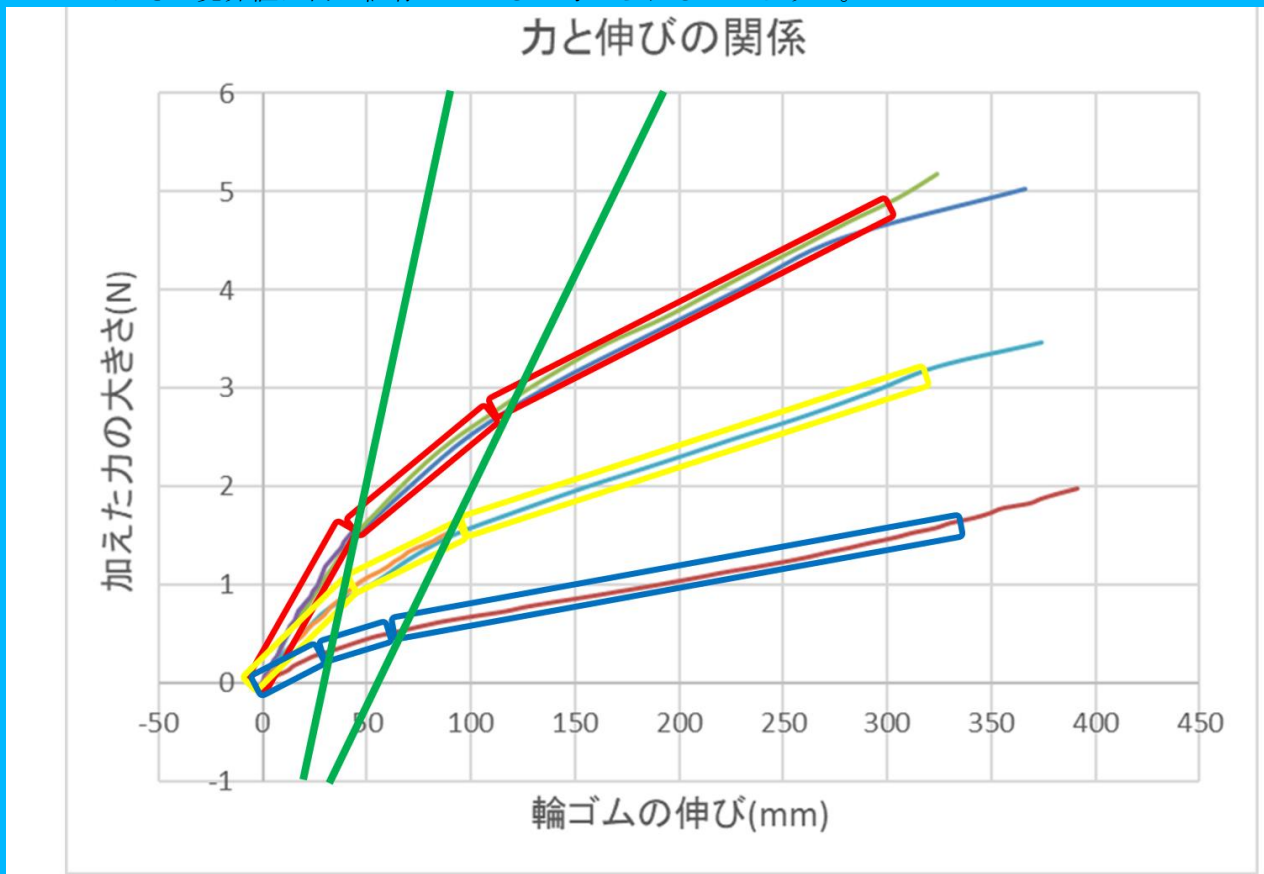
④ 考察

まず、力と伸びの関係について、グラフがちょうど3つに分かれている。これらはゴムの種類によって分かれていて、同じゴムの種類ではグラフは一致している。また、(3)のグラフは、単体のグラフで見るとおおよそ比例しているように見えるが、その部分は全体のグラフで見ればはじめに位置している。よって他のグラフの最初の部分も比例していることが予測され、実際ゴムの種類によらず最初のある一定の部分は原点を通る直線となっている。ここで、実験1の考察も含めると、最初は分子間力が大きいためにはば一定と考えられ、大きい傾きでかつ比例のグラフとなる、といえる。

その部分を過ぎると、徐々に傾きが緩やかとなって、ある程度伸びると再び直線となっている。これは分子間力の影響がほとんど無視できるようになったためだと考えられる。

よって、フックの法則が成立する条件は分子間力が大きく一定とみなせるときまたは分子間力が無視できるようになった時である、といえる。

ではその境界値は何に依存していると考えられるのだろうか。



3つのグラフをそれぞれ分子間力が大きい部分、徐々に減っていく部分、無視できる部分の3つに分けた。その結果、その境界にあたる部分がおおよそ同一直線上にあることが分かった。これが偶然でないならば、境界値は傾きに依存し、傾きが小さければ全体を通しほぼ同一直線上にあるといえることが分かる。

次に、応力-ひずみ曲線について、2つのグラフができています。上側がゴム④で、これは力と伸びの関係で一番上だったグラフのゴム番号と一致する。ところがゴム①と③については、力と伸びの関係では③が上に位置していたが応力-ひずみ曲線ではほとんど一致している。よって応力-ひずみ曲線は力と伸びの関係に直接的に関係しているとは言えない。また、すべてのグラフが単調増加であり、その理由として、実験1の考察同様後半部分は力と伸びが一直線なので単調増加となる。前半部分については、分子間力によって同じ長さを伸ばすのに必要な力の大きさは大きいですが、単位面積当たりの力で考えると傾きは小さくなる。さらに伸びについても最初は長さが短いので単位長さ当たりの伸びを考えるとより一層傾きが小さくなる。従って輪ゴムの応力-ひずみ曲線は単調増加となる。

また、フックの法則が成立するとき応力-ひずみ曲線は比例のグラフであり、確かに最初の部分は直線とみなせる。

3. 結論

- 輪ゴムについてもフックの法則が成立する部分がある。
- その部分は分子間力が極端に大きいまたは小さい部分である。
- その境界値は傾きすなわちヤング率に依存している。
- 応力-ひずみ曲線は力と伸びの関係と直接的には関係がない。
- 輪ゴムの応力-ひずみ曲線は単調増加なグラフである。
- その理由は単位長さ当たりの伸び、単位面積当たりの力を考えるからである。

4. 参考

- (1) [応力-ひずみ曲線 - Wikipedia](#)
- (2) ゴムはなぜ伸びる?: 伊藤眞義 - とね日記 - Goo ブログ

5. 謝辞

今回の実験をするにあたって様々なアドバイス、ご指摘をいただいた 先生、先生をはじめとする神戸高等学校の職員と、共同実験者の 、 、 にここで感謝を述べたいと思います。有難うございました。