

係留気球昇降機について*

中 島 正 一**

1. まえがき

係留気球をあげて観測をおこなうには気球の昇降操作がともなう。そしてこの作業を人力のみでおこなうには、人数の点から作業可能の風速は低く制約される。このために木框に係留索を巻きこむことから始めて、結局は動力に頼らざるを得なくなり、気球昇降機の導入にいたるのが普通である。そしてこの場合に注意すべきことは、係留索の円滑な巻きとりをはかることにあり、そのためにできるだけ衝げきを与えないように円滑な動作と、係留索を傷つけないように保護することが必要になることである。

係留気球を浮揚させていてもっとも警戒すべきは突風であろう。この場合にどのように対処すべきかはむずかしいことであるが、気球のうける風圧に対抗して巻きおろすだけの、係留索の強さと動力を備えることが必要である。しかしこれは意外に問題があり経済的にも制約をうける。現在までに究明したところでは、経済的に問題がなく、気球が耐えられずに破裂することを考えないならば、数 100 kg・w の力をもって巻きおろす昇降機と、気球および係留索を組み合わせて設計し、製作することは不可能ではない。しかし実際に地上付近で安全に操作できる風速は意外に小さく、周囲の状態にもよるが高々 7~8 m/s で、上空でも気球の抵抗を軽減し、浮力に十分な余力をもたせておかないと、12~15 m/s あたりの風速で急速に流されるのが通常である。

いままでに私が追求してきたのはより小形化への道であったが、最近観測上の要望から再び大形化への傾向をみせてきている。しかし積みあげてきた結果は基礎的なことで、新しい動向に対しても生かされると考えられるので、8台になる試作結果から気球昇降機として備えるべき必要条件と十分条件の究明結果を集約し、関心をお持の方々の参考に供し、無駄な繰り返しを防ぎたいと思う。

2. 本体について

気球昇降機として具備すべき条件は次のように要約される。

- I. 係留索を損傷しないこと。
- II. 円滑な昇降操作がたやすくできること。
- III. 観測対象の風速に耐えて巻きおろしができること。
- IV. 最大負荷での始動がたやすくできること。
- V. 騒音をできるだけださないこと。
- VI. すべての操作と保守はたやすく所要の人員は最小であること。
- VII. 移動を必要とする場合は重量その他を運搬しやすく配慮すること。

これらに対してどのように対応して解決をはかるかが設計の基本となるが、いままでの積みあげから本体についてはほぼきまった、といってよく既に8台同形式で作られたが不都合はおきていない。

写真1は最近の気象研究所用として完成したものの外観を示すが、鉄製アングルによる箱枠内に、原動機、係留索巻きとりドラムその他を組みこみ、鉄板をネジどめにより周囲をおおったものを、別に用意した鉄製台座にスラストベアリングを介して固定したもので、自由に回転できるようにしてある。そして巻きとりドラムの直前には係留索配分機 (traverser) を配し、その前方に鉄製パイプによる約 2 m のガイドアームを取付けてある。

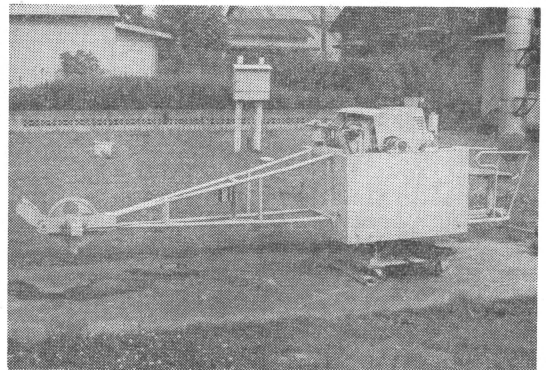


写真1

* Note on Winch for Tethered Balloon.

** M. Nakajima, 気象庁高層課

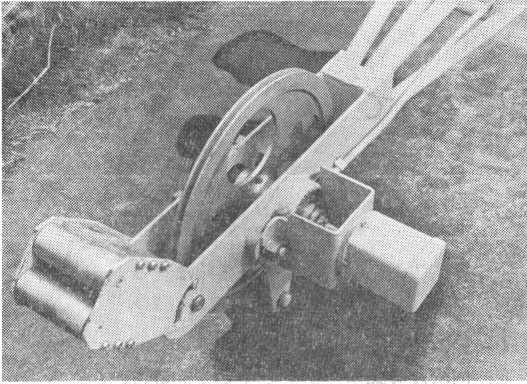


写真 2

そしてこの先端にはガイドホイールをつけ1周1mにして計測輪を兼ねさせている。ガイドホイールは溝を深く削りこんでおけば大体間に合うが、さらに安全をはかり4本のローラを組み合わせたガイドを前に配置してある(写真2)。

ガイドアームの反対側には椅子を取付け、その前面に指示計器、計数器(線長表示)などを配置し、左手操作の変速器、右手右足連動操作のブレーキが装備されている。また台座には小車輪4個を取りつけて、小規模の移動ができるようにしてあるが、本格的には3部分に解体して輸送する。はじめは小車輪を固定し、ネジで浮かせて観測するようにしたが重心が高くなるので改造した。

操縦席に人がのり気球の昇降、または停止中に風向の変化がおこると比較的によく従う。

正しく測ったことはないが、30m³の係留気球が約2m/sの風速をうけるときは、速かに風向に従って昇降機を回転させていく。

3. 動力について

一般に動力は回転運動について考えると、そのトルクを τ kg-m、回転数を N rpmとすると、出力 P kWは次式で与えられる。

$$P = 1.03 \tau N \times 10^{-3} \quad (1)$$

この式は小型化には τ を小さく N を大きくすること

を示している。

次に係留索巻きとりドラム軸のトルクを τ' kg-m、回転数を n rpm、ドラムの直径を D m、その巻きとり力を F kWとすると。

$$F = \tau' / D/2 = 2\tau' / D \quad (2)$$

原動機の回転数に比べてドラムのそれは小さいので、減速を兼ねた伝達機構が必要になる。この場合に伝達効率を ξ 、減速比(歯車比)を κ とすると

$$\tau' = \xi \kappa \tau \quad (3)$$

また P を1kwを100kg-m(工学的規準)と換算して

$$F = 100 \xi P / \pi D n' \quad (4)$$

ただし n' はrpsであらわしたドラムの回転数で、 $n/60 = n'$ であるから $N/60\kappa$ と換算されるので、(1)式とともに(4)式に代入して

$$F = 6.18 \xi \tau \kappa / \pi D \quad (5)$$

$$\tau = F \pi D / 6.18 \xi \kappa \quad (5)'$$

ドラム側からみて、ドラムの円周を l mとすると $\pi D = l$ 故(2)式を書きかえて

$$\tau' = Fl/2\pi = Fl/6.28 \quad (2)'$$

$$\tau = \tau' / \xi \kappa = Fl/6.28 \xi \kappa \quad (6)$$

ここで(5)'式と(6)式の間に差を生じたのは1kWを100kg-mと換算したためで、約2%の誤差となるが大勢にはほとんど問題はない。またほとんど回転数そのものは消えて、それらの比 $\kappa = N/n$ が関係していることは設計で注意を要する。

4. 実際の設計と試作例について

必要条件の(ii)および(vi)に対しては電動機が最適といえる。そして電動機の種類と特性は第1表のように示される。

誘導電動機は機械的変速機に頼らないと変速ができない。そして機械的変速機は連続的に変速できるよい機構のものがなく、低速側での伝達効率が特に悪くなる。ゴムベルトとプーリーの組合せで、プーリーの直径を変える方式のもの使用例¹⁾はあるが、3馬力の出力なのに、上空において20m/s程度の風速で起動不能におち

第1表 電動機とその特性

名 称	回 転 数	製作可能変速比	ト ル ク	起 動 力
誘 導 電 動 機	一 定	—	一 定	小
分 巻 電 動 機	設定値にて一定	サイリスタ方式で 1:1000	一 定	小
直 巻 電 動 機	負荷に対応	—	負荷に対応	大
複 巻 電 動 機	設定値にてほぼ一定	1:6	直巻に近い	直巻に近い

いることがしばしばあった。分巻電動機も同様に、1.5 kW の出力で起動可能な F は 53 kg・w に過ぎなかった。

複巻電動機が最適なので、実際の数値について計算してみると、まず必要条件の (iii) が問題になる。

対象とする気球は直径に対して長さが 2.5 倍の 30m³ 気流型係留気球で、上空で 20 m/s の風速に耐えて観測できることとする。したがって F は 200 kg・w² とみてよいか、l を 1 m にすると、(2)' 式から τ' は 31.8 kg-m と算出される。

(2)以後の関係では κ を考えればよいか、N は 1500 か 1800 rpm と制約されていることから後者をえらぶことにする。またドラムの巻きとり速度は 20~60 m/min で間に合うが速い方をのぼして 20~80 m/min とすると、 κ は 1800/80=22.5 ときめられる。この歯車比を一段で実現するには寸法の点で問題があるので、逆転防止もかねて 20:1 の歯車比をもつウオームギヤを採用し、軸間調整を兼ねてチェーン sprocket 1 段の組合せで、1.125:1 を分担させることにする。この結果総合伝達効率 は前者が 85%、後者が 98% (チェーンにたるみがないとき) として 83.3% となる。これから軸受などの摩擦損失やドラム、係留索配分機などの仕事損失を合せて 10% と見積り差引くと 73.3% となるので、(6) 式から τ は 1.93 kg-m と求められる。そして所要の出力は (1) 式により 3.58 kW となる。

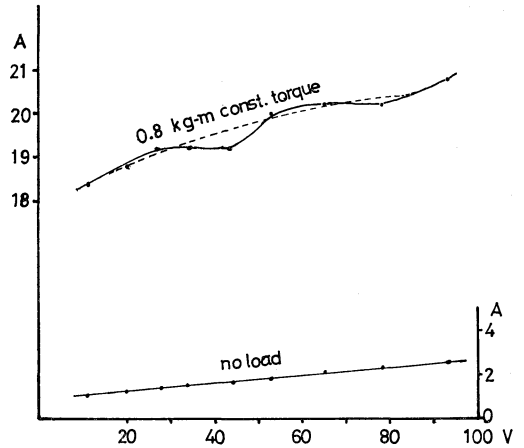
実際の観測では 14~15 m/s の風速にとどまるのが普通で、地上付近で強風のときはまず観測をあきらめなければならない。また台風時等を除くと上空で強い風速帯はそれほど厚くはない。これらのことから考えると、計算されたような出力を常備することは経済的にみて得策とはいえない。そこで最大トルクは最小回転数のときだけに限定すれば、所要の出力は 1/4 ですむことになり、0.87 kW となる。電動機の規格が 0.75 kW 単位で鉄心の大きさがきまるので、1.5 kW を採用しなければならない。したがって F 最大は (4) 式により 330 kg・w と算出され、26 m/s の風速まで巻きとりができることになる。

複巻電動機の変速も電機子回路の入力電圧を変えておこなうので、電圧の調節が必要になる。一般には直列抵抗の切換えによっているが、低速運転時には電圧が最大回転数のときの 40% に降下し、電流は 3 倍以上に増加するので、熱として失う電力の方が大きくなり総消費電力は 7.5 kW をこえるにいたる。これは野外観測では黙認

できないので、変圧器を導入することにし、2 次側に 10 V から 10V 毎にタップを出し、50V までは 70A、それ以上は 30A の電流をとり出せるようにした。また複巻電動機の界磁の強さは、分巻コイルが 20~30% の分担するように作られるが、低速運転ではこの割合が低下するために、直巻特性にかたより電機子電流は回転数の 2 乗に逆比例して急速に増加する。この対策として分巻コイルの電流容量を大きく作り、低速運転で負荷が増大するときには 3 倍の電流を流すようにした。

これらの計画に対し出来あがりの成績は、第 1 図から第 6 図に示すような特性となった。

第 1 図と第 5 図で特性曲線が波打ち、点線のような期待される曲線からずれたのは、変速化を 2:1 以上に

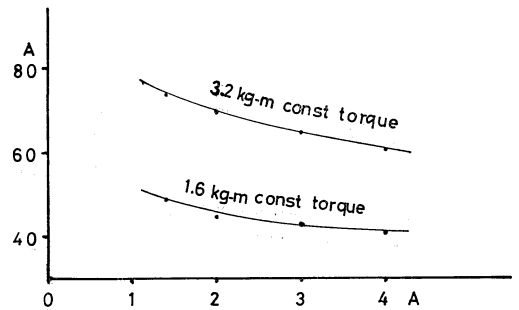


第 1 図 電機子回路の入力電圧と電流

横軸 直流電圧

縦軸 右側 無負荷時の電機子電流

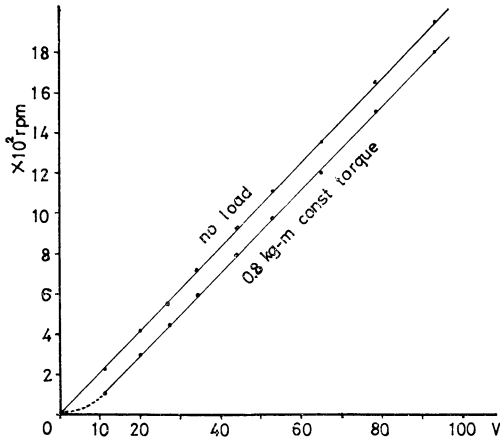
左側 一定トルク時の電機子電流



第 2 図 分巻界磁コイル電流と電機子電流

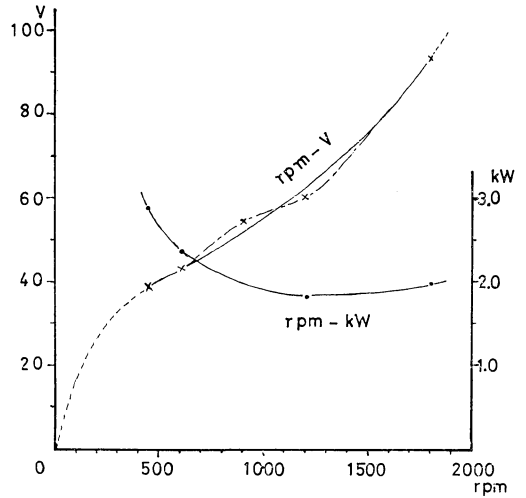
横軸 分巻界磁コイル電流

縦軸 電機子電流



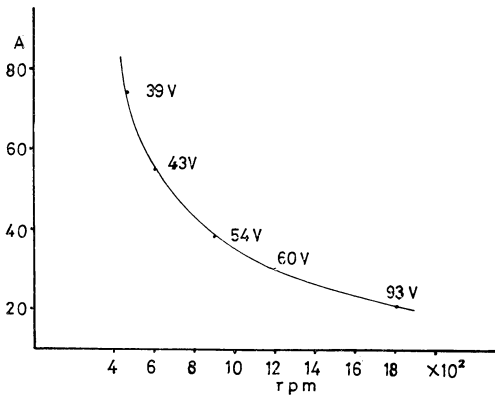
第3図 電機子回路入力電圧と回転数
(分巻界磁コイル電流 1.4A)

横軸 入力電圧 (D.C.)
縦軸 回転数



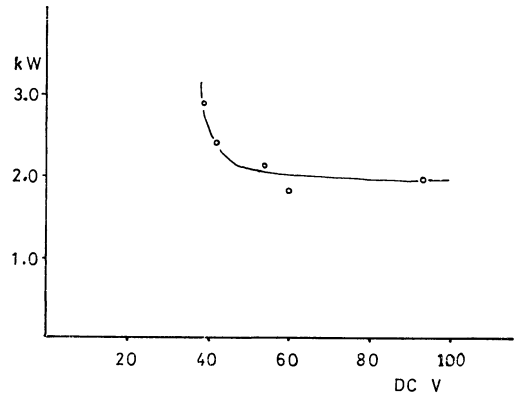
第5図 出力 (1.5 kW) 一定時の回転数と電機子回路の入力電圧および所要電力の関係 (分巻界磁コイル電流 1.4A)

横軸 回転数
縦軸 左側 入力電圧
右側 所要電力



第4図 出力 (1.5 kW) 一定時の回転数と電機子電流

横軸 回転数
縦軸 電機子電流



第6図 出力 (1.5 kW) 一定時の電機子回路の入力電圧と所要電力 (分巻界磁コイル電流 1.4A)

横軸 入力電圧
縦軸 所要電力

るときおこる欠陥で、補極や補償巻線により補正をはかるが小型ほど避けられない。第2図は分巻コイル電流を増した場合の効果を示し、450 rpmでトルクが3.2 kg・mのとき、分巻コイルの電流を1.4A 定格から4Aに増したときに、電機子電流が74Aから61Aに17.5%減少している。これは部品関係での恩恵も大きい。しかし今回はトランスの最大2次電圧に制限され2.5Aにとどまったため、電機子電流は67.6Aと約10%の減少にとどまった。また第6図の示すように低速でも大トルクを要求すると急速に消費電力は増加する。しかし出力一定の特性

はこのために維持されるのであって、限界を超えて使用すると電動機や変圧器を焼損することになる。

トルクが0.8 kg・mにとどまる限り回転数は変わっても電流は20Aではほぼ一定する。またこのときがこの電動機の能率は最高といえる。そして最大回転数での出力からFを(5)式により求めると81 kg・wとなり、13 m/s の

第2表 気球昇降機の運転特性

制御器ノッチ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
入力電圧 AC V	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
電機子回路入力電圧 DC V	18	27.5	36.5	45.7	54.6	63.7	73	82	91	100
電動機の回転数 rpm	(120)	(220)	(400)	780	985	1250	1470	1640	1780	(1860)
ドラムの回転数 rps	(0.1)	(0.2)	(0.3)	0.6	0.7	0.9	1.0	1.2	1.3	(1.35)
ドラムの最大巻きとり力 kg·w	—	—	(320)	182	155	121	109	91	84	(78)
巻きおろし可能風速 m/s	—	—	(25)	19.5	18.0	15.9	15.1	13.8	13.2	(12)

第3表 係留率の巻きとり速度と諸要素の設計値

制御器ノッチ番号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ドラムの回転数 rps	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
電動機の回転数 rpm	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1500	1800
電機子回路入力電圧 DC V	20	32	40	43	48	53	57	63	75	93
入力電圧 AC V	22	35	45	48	53	58	63	69	82	102
入力電圧製作値 AC V	25	35	45	50	55	60	65	70	85	105
電動機のトルク kg·m	—	—	1.60	1.21	0.97	0.81	0.69	0.61	0.49	0.40
ドラムのトルク kg·m	—	—	34.5	26.0	20.9	17.4	14.9	13.0	10.4	8.7
ドラムの最大巻きとり力 kg·w	—	—	216	163	131	109	93.7	81.8	65.4	54.7
巻きおろし可能風速 m/s	—	—	21.3	18.4	16.5	15.1	14.0	13.1	11.7	10.7

第4表 風速に対する所要の係留率巻きとり力と気球容積の関係

F kg·w	v m/s \ V m ³	10	12	14	16	18	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	10	24	34	46	60	76	93	103	113	123	134	146	157	170	182	196	209
15	31	44	59	77	98	121	133	146	159	173	188	203	219	236	253	271	
20	37	53	72	94	119	147	162	178	194	211	229	248	267	287	308	330	
25	43	61	83	109	137	170	187	205	224	244	265	286	309	332	356	381	
30	48	69	94	123	156	192	212	233	254	277	300	325	350	376	403	432	
35	53	77	104	136	172	212	234	257	281	306	332	358	387	416	446	477	
40	58	84	114	149	189	233	256	282	308	335	363	393	424	456	488	523	
45	63	91	124	161	204	252	278	305	333	362	393	425	458	493	529	566	
50	68	97	132	173	218	269	297	326	356	388	421	455	492	527	566	606	

気球は気流型で長さ/直径=2.5

風速に抗して巻きとれることになる。いいかえると 13 m/s の風速までは、巻きとり速さの心配はいらないことを意味する。

回転数制御は60A用のノッチとレバー方式の電圧切換え器で、左の片手操作はやや重い、20Vから10V毎の10接点で各接点に対する電圧、回転数などの算定値は第2表に示すとおりで、高速側での制御はこまかすぎるといえよう。これに対して係留索の巻きとり速さから対応

する電圧を逆算すべきである。と指摘されようが、電動機の特徴をつかめないためにこうしたに過ぎない。この立場からの計算結果は第3表のようになる。

ここで注意を要するのは、これらの計算値どおりに正確かつ精密に運転されると考えるのは無理で、負荷の変動に応じて多少の変動がおこることは避けられないが、係留気球の浮揚高度の算定方法の現状では、誤差として心配することは必要ないといえよう。したがって運転目

第5表 動力伝達効率と歯車比と巻きとり力の関係

ξ %	F kg·w					F kg·w					F kg·w							
	τ kg·m	0.4	0.8	1.6	3.2	4.8	τ kg·m	0.4	0.8	1.6	3.2	4.8	τ kg·m	0.4	0.8	1.6	3.2	4.8
40		18	36	72	144	216		20	40	80	160	240		22	45	90	180	271
45		20	41	81	162	244		22	45	90	180	271		25	51	101	203	305
50		22	45	90	180	271		25	50	100	200	301		28	57	113	226	339
55		24	50	99	198	298		27	55	110	221	331		31	62	124	248	373
60		27	54	108	217	325		30	61	120	241	361		33	68	135	271	406
65	18	29	59	117	235	352	20	32	66	130	261	391	22.5	36	74	146	293	440
70		31	64	126	253	379		35	71	140	281	422		39	80	158	316	474
75		33	68	135	271	406		37	76	150	301	452		42	85	169	339	508
80		36	73	144	289	434		40	81	160	321	482		45	91	180	361	542
85		38	77	153	307	461		42	86	170	341	512		48	97	192	384	576
90		40	82	162	325	488		45	91	180	361	542		50	103	203	406	610
40		25	50	100	200	301		27	55	110	221	331		30	61	120	241	361
45		28	57	113	226	339		31	62	124	248	373		33	68	135	271	406
50		31	63	125	251	376		34	69	138	276	414		37	76	150	301	452
55		34	69	138	276	414		38	76	151	303	455		41	83	165	331	497
60		37	76	150	301	452		41	83	165	331	497		45	91	180	361	542
65	25	40	82	163	326	489	27.5	44	90	179	359	538	30	48	99	195	391	587
70		43	89	175	351	527		48	97	193	386	580		52	106	211	422	633
75		47	95	188	376	565		51	104	207	414	621		56	114	226	452	678
80		50	101	200	401	602		55	111	221	442	663		60	122	241	482	723
85		53	108	213	427	640		58	118	234	469	704		64	129	256	512	768
90		56	114	226	452	678		62	125	248	497	746		67	137	271	542	813

小数以下切捨

安としては有用である。

450 rpm 以下の回転数での運転は負荷によっては機器の破壊につながるが、上昇時には便利で負荷も問題ないので設けた。しかし降下時には風速を注意しながら使用しなければならぬので、一応保安措置として100Aのヒューズをいれてある。これは整流器の限界値で、80A位に押えた方がよいとも考えられる。

各風速に対する所要の巻きとり力の計算値を第4表に示す。

完成試験で高所から吊下げた滑車を介して重量を巻きあげたところ、160 kg·w 位でウォームギヤが逆転防止の目的にそわなくなることがわかった。滑り面がラッピング仕上されて、能率が向上した反面逆転防止の効果がそがれるにいたったもので、使用にさいしては注意を要し風速にして15~16 m/s をこえることは無理であろう。したがって今後は使用しないでブレーキの検討をし

たい。またチェーンプロケットの2段構成にし、 ξ の向上をはかると86%まで期待できるので、 κ を少し大きく25にすると、 τ' は31.8 kg·m であるから τ は1.5 kg·m となり、0.75 kW の出力でまにあうことになる。そしてこの場合の τ の最大は1.6 kg·m で、 ξ が80%まで落ても200 kg·w の巻きとり力が出て、20 m/s の風速は十分に対抗できる計算になる。さらに巻きとりの速さを60 m/min までおそくすると、 κ を30まで大きくできるのでFは ξ が86%で259 kg·w、 ξ が80%でFは241 kg·w と計算され、それぞれ23 m/s と22 m/s の風速まで対抗して使えることになる。

このことは野外観測では重要なことで、製作費と運転経費の低減はもちろんのこと、それ以上に電力供給上の利点が大きく、経験してみるとすぐわかることである。

電動機の最大回転数は製作上1500ないし1800 rpm で、係留索の巻きとり速さは実用上20~60 m/min の前

後にそれほど大きくはひろがらないので、いままで述べてきたことから κ もほぼきまった数になり、 ξ も総合で90%をこえることは考えられないし、40%を割るようでは使いものにならない。このことを念頭において、考えられる ξ と κ および τ の組合せについてFを求めると第5表のようなになる。この表ではFの $\text{kg}\cdot\text{w}$ 以下は切捨ててある。

5. あとがき

気球昇降機の本質的または基本的な問題について考察し、その解決をはかった心算であるが、こまかい点については若干の問題を残したかと思う。しかし設計の基準は大筋においては解決したと考える。この種の機械の設計にあたっておこる問題は、設計者が十分に使用者側の意図を呑みこめないために生じる行違いで、作ってしまったからでは何かと大変な荷物となる恐れがおこり得る。私たち気象界のものもよく注意する必要がある。ここにとりあげた問題も工学界ではごく初歩的な究明であるが、私たちの間ではこう思う式か、メーカーに一任で製作される機械が多くある。しかしそれではほんとによ

いものではないか、できても高価なものとなるであろう。

今後は残された問題、ことに電気鉄道で見直され出した複巻電動機とそのサイリスタ制御の技術の導入、制動装置の改善などの解決とともに、材質の転換をはかっても軽量化を心がけ、あわせて固定方法も考えていきたいと思う。船上で使用する場合にはガイドアームを別の形式で考える必要があるが、基本的には変わらないと考えている。

今回の試作は気象研究所の根本茂技官その他の協力に負うところが大きい。また試作測定などにあたり多大の協力を払われた、KK大木製作所、田中電機工業所の方々に厚くお礼申上げる。

文 献

- 1) 中島正一(1967): 係留気球による低層気象観測について。測候時報, 34, 15.
- 2) 中島正一(1971): 係留気球について。研究時報, 23, 48頁表3

(以下562ページの続き)

選考委員会から次の3件が推薦され適当と認められたので、全理事に書面審査を依頼することになった。

1) 帯状降雨帯の研究

杉山清春, 竹内新(下関地方気象台)

2) リファレンス サイクロメーターの実験的研究

地迫良一(宇都宮地方気象台)

3) 主として暖候期のうず状じょう乱の研究

深津林, 清水喜允(福井地方気象台)

4. その他

1) 文部省編(学術用語集, 気象学編)の出版権設定について

イ. 本学会で出版を引受けることにする。

ロ. このため用語委員会を設ける。

ハ. 用語委員会は、文部省、気象学編の編さんを当面の目標とし更に用語の研究、より完全な用語集の編集を目的とする。

ニ. 用語委員会の委員は次のとおりとする。

大井正一(理事), 神山恵三(理事), 小沢正(気研予報), 俣野宏志(電計), 関口理郎(電計), 根本順吉(図書), 山田文雄(図書), 新田尚(電計)

ホ. 委員会費として外国委員会費1万円の振替を認める。

本件は全理事に書面審査を依頼する。

2) 学会の経理状況について

会計理事が資料を作成し次の常任理事会に提案する。

3) 八塚事務局員の停年延長について、次の常任理事会で検討する。

4) 気象集誌投稿者の資格について、次の全国理事会に提案する。

5. 全国理事会の議題について

イ. 春、夏の講演会の地方開催について

ロ. 天気編集地方委員の承認について

ハ. 学会の経理状況について

ニ. 気象集誌投稿の共著者の資格について

ホ. 大会プログラムの分類について(報告事項)

6. 気象研究所の筑波移転について

大井理事ほか4理事から「気象学のみならず、科学全般に大きな影響を与える」問題であるから気象学会において特に長期計画の面で取り上げてほしいと提案があり議論された。

7. 「構造物の耐風性に関するシンポジウム」の負担金として2万円を承認する。

承認事項 吉田徳雄ほか19名の入会を承認