

呉工業高等専門学校

研究報告

第6巻 第2号 (通巻第8号)

昭和46年3月 (1971)

目次

1. AUDIO-LINGUAL THEORY OF LANGUAGE LEARNING AND THE TEACHING OF READING	熊川良治	1
2. 本校学生の体位・体力・運動能力に関する調査研究 (第1報)	堀石 嶋 武 篤 夫	7
3. 陸上競技の決勝線における順位判定に関する研究	堀石 嶋 武 篤 夫	21
4. むだ時間要素を含む線形制御系の安定性の解析について	小富 池田 政 夫 今 井 豊 勲	29
5. 圧延された銅板の粒度と残留応力	大 下 隆 章	37
6. 平面研削されたS45Cの粒度と残留応力	大 下 隆 章	43
7. 往復等加速度カムの滑り率の研究 (第2報)	糸 島 寛 典	49
8. 往復等速度カムの滑り率の研究 (第1報)	糸 島 寛 典	61
9. 4歯車リンク機構の研究 (第3報)	糸 島 寛 典	75
10. 低照度における色相の見え方	原 田 一 彦	83
11. 演色性の作業能率に及ぼす影響	原 田 一 彦	89
12. 温度補償されたFET除算器	太田垣 博 黒 瀬 能 幸	93
13. 交通騒音に関する研究 (第4報) (新幹線騒音について)	藤 井 健	99

AUDIO-LINGUAL THEORY OF LANGUAGE LEARNING AND THE TEACHING OF READING

(英 語) 熊 川 良 治

Ryoji KUMAGAWA

The author wishes to review the teaching principles underlying the audio-lingual theory of language learning, specifically from the point of teaching how to read. He finds the following points still disputable: (1) the principle that teaching materials should be so arranged that they are self-explanatory, (2) the principle which holds listening-speaking-reading-writing sequence as the only order of language learning, (3) the assumption that transition from the listening-speaking stage to reading may be easily achieved, and (4) the confusion of the speaking material with the reading material.

In this paper, I intend to present what I still believe to be disputable in the prevalent theories of language teaching, with my argument confined mainly to the problems of the teaching of reading. By "prevalent theories of language teaching", I have in mind the 'oral approach' and all the other theories based on similar linguistic principles but termed otherwise, such as the 'audio-lingual approach', 'aural-oral approach', 'structural approach' and so on. These theories have had the good fortune to meet with great support ever since they were introduced to our country in the mid 1950's, and though it must be admitted that in many cases they have undergone adaptation, yet they remain today the most influential of guiding principles in many of our English classrooms.

No doubt, these theories and the classroom procedures they advocate have helped to modernize the English lessons in our schools, but they have at the same time brought about a shift in the objectives of foreign language teaching. For a long time, reading was considered by many to be the one basic goal of language learning, but the change in the objectives have shifted the emphasis to the aural-oral aspect of language learning. The assumptions that language is primarily speech, that written language is a mere graphic representation of speech and that therefore learning to read must come after one has acquired the habits of responding to vocal signals, have led many English teachers to believe that the aural-oral aspect of language learning is of primary importance and that reading and writing only secondary. It may be said that the emphasis on the importance of hearing and speaking has in many cases eclipsed the importance of reading and writing, and while efforts have been concentrated in the direction of developing techniques for teaching aural-oral skills, applied linguistics has not told us much about how an effective reading course should be conducted.

Despite this emphasis on the aural-oral ability, we realize the importance and the necessity of developing the reading skill. We are well aware that the final goal of language teaching is not to endow our students with skill in translating, but our reading lessons are almost invariably drills in grammar and translation, presumably from lack of a better method of instruction.

The followings are some of the doubts left after a study of the audio-lingual theory as to its validity in the teaching of reading to students whose main goal of language learning is to acquire reading ability.

1 In spite of their efforts to base their linguistic techniques on rigorous scientific procedures, the audio-lingual theorists have naturally advanced some of their theories on insufficient evidence. Theories as such need not be avoided. On the contrary, they may even be invaluable to the researcher. The problem lies in that these theories have been widely accepted as statement of facts rather than as hypotheses that must be tested. It is important either in devising or improving a method to maintain a strict distinction between what has been proved as fact and what has not.

In the oral approach, presentation of the teaching material through consecutive dialogue in a tightly woven sequence of basic structural contrasts is considered to be one of the fundamental tenets. In the teaching materials thus prepared, each step is to provide the necessary means of introducing the next step so that explanation of the new structure or meaning becomes unnecessary. The contrastive small steps of structural patterns are so organized that they are self-explanatory. Charles C. Fries and Agnes C. Fries in their *Foundations for English Teaching*, suggesting a need for a teachers' guide to accompany these materials, warn classroom teachers that it is not their function to enter into explanation of the structure.

It (=the teachers' guide) should not attempt to point out and explain the structural patterns that are embedded in the dialogs in order that they may be practiced in context without having attention attracted to them. They should be left unnoticed. The guides should first of all warn the teachers not to talk about the language, nor try to explain the structures, nor to translate the materials into Japanese.¹

A suggestion for conducting pattern practice may illustrate this theory.² In teaching the usage of an adverb of frequency, for example, students are not to be taught the rule by being explained that an adverb of frequency is placed before the verb, except when the verb is *be*. Instead, the students are to be presented with a set of examples, for instance, "I am *sometimes* hungry," and "I *sometimes* go there," and thoroughly drilled through substitution of other adverbs of similar function, *always*, *never*, *often*, etc. The aim is to condition these patterns until they become automatic habits.

This claim that a student can learn the structure of a new language more effectively by studying carefully constructed dialogues, through which the structural items to be learned "reveal their own meanings" than by having those structural items explained to him by a teacher, has been contended with by Robert L. Allen of Teachers College, Columbia University. He says that to the best of his knowledge this claim has never been proved and that his experience in the teaching of English as a foreign language suggests that "the more intelligent student wants to know what he is being taught and profits considerably from brief explanations of the structural items he is trying to learn."³

Another principle which possibly has received undue attention is that which concerns vocabulary. The immediate goal of the oral approach is to lead the learner to a satisfactory control of basic structural patterns and to enable him to produce them orally, no matter what the ultimate purpose of the learner may be. To attain this goal, it is considered necessary to limit the vocabulary in order to make concentration on the study and practice of the basic patterns possible. It assumes that the acquisition of further vocabulary follows comparatively easily after the learner has attained this stage of mastery.

It is likely that this attitude has brought about undue neglect of vocabulary both on the part of the teacher and the learner. It is known that one's ability to read and one's vocabulary are highly correlative. Enlargement of vocabulary is therefore essential to efficient reading, since this will have direct bearing on reading. Furthermore, I do not think that the acquisition of vocabulary is so easy even after gaining satisfactory control of the basic patterns of the target language. Henry Sweet has well said in his *The Practical Study of Language* that "the real difficulty is in the vocabulary."⁴

2 The basic principle for the audio-lingual approach is that listening and speaking must be taught before reading and writing.⁵ This is apparently based on the findings of structural linguistics that language is primarily speech and that writing is but its imperfect graphic representation. From this view, reading is defined as a "process of decoding a particular writing system into language – the transference from the written to the oral form."⁶

This view is held by many linguists, and is now taken almost for granted. It is followed faithfully or is intended to be followed faithfully in many language programs.

The emphasis on the necessity and importance of aural-oral command is such that in many cases the main force of language teaching and language learning seems to have gone into aural-oral work. Reading, which once was an objective in itself, seems now to have degenerated into a mere reinforcement of the oral work preceding it.

There are, however, signs which show that re-examination of this well-established theory has begun. Qualified experts are beginning to question the validity of the listening-speaking-reading-writing sequence as the only proper way of language learning. An example of this is seen in Robbins Burling of the University of Michigan, who expresses his doubts:

"We have tended to assume that the shortest route to reading knowledge is to learn the spoken language first, but I believe this assumption has been more often proclaimed than demonstrated."

and continues to say that we should not be prevented from "trying to design a course with the over-riding goal of imparting a reading knowledge."⁷

Robert L. Allen, quoting from James J. Asher, *Sensory Interrelationships in the Automated Teaching of Foreign Languages* (San Jose State College, 1961) says that experiments recently carried out with two groups of college students studying Spanish suggested for the first time that "under all conditions, subjects who learned visually and relearned aurally achieved a superior performance in comparison to subjects who learned aurally and relearned visually."⁸

These arguments and experiments naturally lead us to a reappraisal of the listening-speaking-

reading-writing sequence of language learning. If reading could be taught effectively without preliminary exposure to the aural-oral work, much of it may then be eliminated from our routine classwork, leaving more time as well as energy for the acquisition of the reading skill – a skill which is likely to remain essential to most of the learners.

3 The listening-speaking-reading-writing sequence of language learning also assumes that the acquisition of an aural-oral mastery of the basic structural patterns smooths the way to reading and writing. The assumption is that transition from the spoken to the written may be achieved fairly easily, with limited help or in some cases with no help at all.

It is clear that languages which have a high degree of sound-spelling correlation would be more likely to validate the accepted learning sequence. But English, according to Richard C. Bedford, is *not* a language with a high degree of sound-spelling correlation. He mentions that “the two forms of expression – oral and written – can be shown to differ quite markedly in morphology, in syntax, and in vocabulary,” and questions “whether the acquisition of ability to hear and to speak English is likely to facilitate to a significant degree the ability to read and write the language.”⁹ If, as Bedford points out, the degree of sound-spelling correlation is not as high as is often assumed, then we may be justified in seeking other approaches to teach reading irrespective of the accepted learning sequence.

Furthermore, there is the lack of aural-oral fluency on the part of the teacher. It has apparently been assumed that the audio-lingual approach would be implemented by native speakers of English or by those who possess virtually a native speaker's aural-oral fluency, but it must be admitted that English programs in foreign countries, or at least in Japan, are almost invariably taught by non-native speakers of English. With teachers who cannot themselves speak recognizable English, distortion in pronunciation by both teachers and students cannot be avoided. It follows in these cases that the more it is distorted, the less correlation will there be between the spoken and the written.

And finally, in spite of the emphasis on the aural-oral fluency before reading and writing, little that is truly convincing has been done to help the transference of the aural-oral ability to reading and writing. To the best of my knowledge, a systematic approach has not yet been shown.

4 The acquisition of aural-oral fluency expected before reading and writing calls for oral practice of basic structural patterns and lexical items contained in the reading material. It must then be expected that materials both suitable and unsuitable for conversation will be taken up for oral practice. Though, admittedly, the aural-oral work preceding reading and writing is not the same as conversation, the structures and vocabulary thus practiced will naturally tend to slip into conversation. The possibility is that the English of the student's conversation will become distorted with the oddly colloquialized written English which he has been practicing.

This leads me to conclude that it is necessary to maintain a distinction between the spoken form and the written form of the language wherever it is possible, and to develop a different approach to initiate the students into the structural and lexical items which are considered exclusively written. In the latter, aural-oral work may be kept to the minimum – just enough to facilitate reading – since the students will not be expected to produce or converse in such literary expressions except on very special occasions.

-
- 1 Charles C. Fries and Agnes C. Fries, *Foundations for English Teaching* (Kenkyusha, 1961) p. 24
 - 2 "Pattern Practice" *A Cyclopedia of English for Junior High School Teachers* (Sanseido, 1966)
 - 3 Robert L. Allen, "A Reassessment of the Role of the Language Laboratory," *English Teaching Forum*, Vol. IV, No. 3, (Autumn 1966) p. 3
 - 4 Henry Sweet, *The Practical Study of Language* quoted in 佐藤博著「英語の学力差に応ずる教育」(開隆堂, 昭38) p. 22
 - 5 Robert Lado, *Language Teaching* (He Graw-Hill, Inc., 1964) p. 50
 - 6 Faye L. Bumpass, "Learning to Read in a Foreign Language" *English Teaching Forum*, Vol. IV, No. 1 (Spring 1966) p. 8
 - 7 Robbins Burling, "Some Outlandish Proposals for the Teaching of Foreign Languages," *Language Learning : A Journal of Applied Linguistics* (Research Club in Language Learning, University of Michigan, June 1968) Vol. XVIII, Nos. 1 and 2, p. 62
 - 8 Allen, *op. cit.*, p. 4
 - 9 Richard C. Bedford, "The Aural-Oral Approach Re-viewed," *English Teaching Forum*, Vol. 7, No. 3, (May-June 1969) p. 3

(昭和46年1月10日受付)

本校学生の体位・体力・運動能力に関する調査研究（第1報）

（保健・体育） 堀 武 夫・石 嶋 篤 司

“Studies on the Physical Standard and Strength and the Exercise Ability of Our College Students” (Repout 1)

(Health and Physical Education) Takeo HORI and Tokushi ISHIJIMA

The rapid change in the social life of our country nowadays has been greatly influencing her many various fields. For instance, the follow-ing problems are pointed out--- physically, the acceleration of growth and the increase of the number of fat children and morally, autism, reluctance to going to school and the increase of juvenile delinquency. Under these conditions the people's interest in the physical build-up is gradually heightening and the problem of youth's sports-test is being seriously considered. Our college can not be considered to be an ex-ception. So, here in this report 1 are examined the actual conditions of health and physical growth of both the boarding students and the commuting ones.

§ 1 緒 言

文部省においては、昭和38年4月に中学生以上の学生・生徒および勤労青少年を対象とし、同昭和40年4月に小学校高学年児童を対象としたスポーツテストを作成し、実施を奨励している。

現在、わが国ですすめているスポーツテストの目的は、文部省の資料によると、次のように著述している。「人々が自分の体力やスポーツ活動の基本となる運動能力の現状をたしかめ、その結果に基づいて、不足している能力を高めるように努力するとともに、各種のスポーツ活動に親しみ、ますます心身を鍛錬して、その健全な発達を図り、健康に自信をもって生活できるようにするために行なうものである」。そして、その解説書（松島茂善編著、昭和38年）では、「人間の活動力の源泉である体力を高めることに基本的な目標をおきながら、最終的には、これをスポーツ奨励、スポーツの生活化に発展させようと意図したものである」と述べている。

本校においても第2報では学生個々についての実状を把握しようとしたものであり、今般の調査研究も同様にスポーツテストが身体的な側面であ

る体位・体力診断・運動能力などの要因別（敏しょう性、瞬発力、筋力、柔軟力、持久力や走、跳、投、懸垂、持久走）に分類して測定し、実態を把握するとともに、原因や条件に即して適切な各種の運動を処方することによって、高等専門学校教科体育、スポーツ活動あるいは家庭生活の全体的な傾向を知る具体的解決の資料を得るために寮生、通学生の基礎調査の結果との関連などの吟味を通して検討を試みた。

§ 2 研究対象および研究方法

体位・体力診断・運動能力の対象、時期は、毎年5月全学生の定期健康診断における身体計測の結果を年令別に集計し、体力診断テストならびに運動能力テストは、体育授業および特別に編成した時間を、5月初めから6月初めの時期に設けて、全学生を対象とし、年令の算定は5月1日現在をもって満年令（15才を1年、16才、17才、18才、19才をそれぞれ2年、3年、4年、5年）とし、棄権学生と、20才以上または、女子学生については少人数のために除外し、集計人員は種目によって異なっている。

測定方法は、定期健康診断の身体計測、文部省

種 目		15 才			16 才			17 才			18 才			19 才		
		N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D
座 高 (cm)	全 国		88.0	3.59		89.3	3.30		89.9	3.22		90.2	3.28		90.1	3.26
	寮 生	101	89.4	2.62	75	89.7	2.31	45	90.2	2.67	37	90.4	2.70	15	90.3	2.20
	通学生	49	89.2	2.79	39	88.9	2.72	54	89.7	2.74	75	89.9	2.40	75	89.2	2.66
	平均値差		1.4			0.4			0.3			0.2			0.2	
	有意性		***			(0.4)			(0.2)			(0.3)			(0.9)	

(注) 全国の平均値は昭和42年度文部省調査による。表中平均値差に()印のあるのは本校寮生・通学生が劣ることを示す。有意性のらんに*印のものは5%水準、**印のものは1%、***印のものは0.1%にて有意であることを示す。

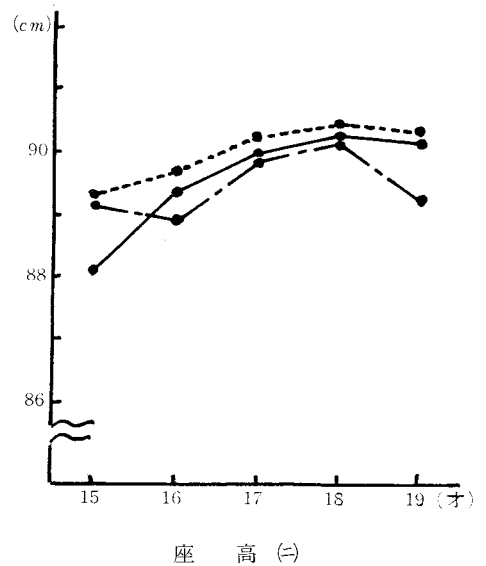
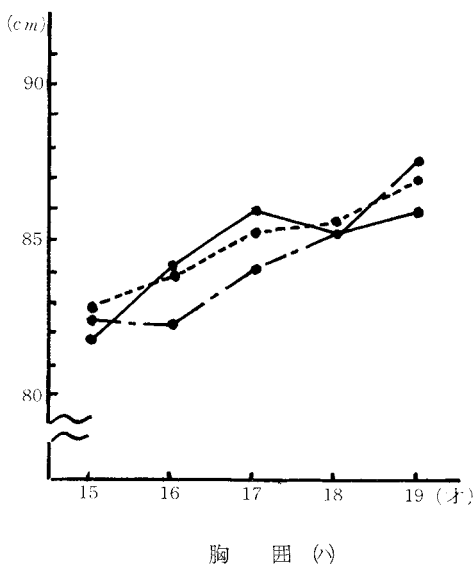
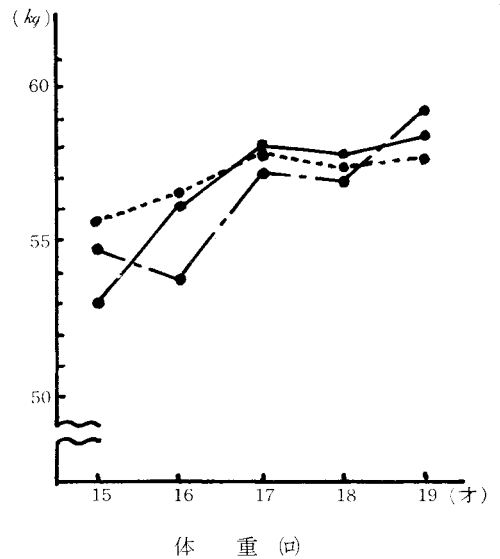
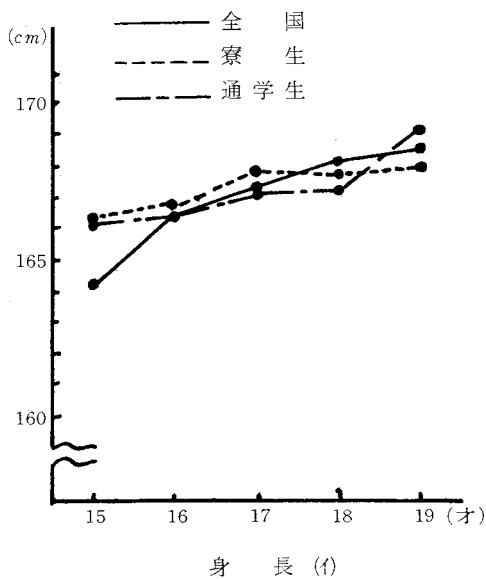


図1 全国と本校寮生・通学生との年令別体位全国平均値の変動

本校寮生・通学生の体位については同年令全国平均値とそれほど差は認められなかった。ただし体重、胸囲においては僅少であるが、15才を除く各年令では暫時減少の傾向が認められた。なかでも16才の通学生は体重2.4kg, 胸囲1.9cmと、17才の胸囲2.0cmが目立ち、第2報での報告も劣位が生じ、今般も同様では一考を要すると思う。15才においては全体を通してみると全国平均値よりも優位であることを示している。以上のうち、15才の寮生は体重・座高に0.1%, 身長で1%, 胸囲で5%水準で有意性が認められた。

通学生においては、15才の身長・座高で5%水準で有意性があると認められ、16才、19才の体重・胸囲においては0.1%と5%水準にて有意性が認められたことから、本校寮生、通学生の体格の特徴を全国平均値と比較し述べれば相対的にクレッチマー気質の分類に分裂気質が明示されているように、近似体型と考えざるをえない。

表2、図2より体力診断テストを種目別に比較すると、本校寮生、通学生は各年令とも反復横とび、垂直とび、背筋力、伏臥上体そらしは全国平均値より優位である傾向を示している。特に反復横とびの16才、垂直とびの18才、通学生の19才、

背筋力の各年令ともすぐれているが目立ち、それぞれに0.1%~1%水準にて有意性が認められる傾向を示した。

その他の種目別集計については、握力、立位体前屈、踏み台昇降運動については全国平均値より劣っている。特に寮生、通学生を年令別に比較すると、寮生は立位体前屈の16才、17才、踏み台昇降運動の15才、16才が全国平均値よりも最も劣位の傾向が認められた。通学生については握力の16才、立位体前屈の15才、17才、踏み台昇降運動の15才、16才が寮生と同様に劣位の傾向が示された。

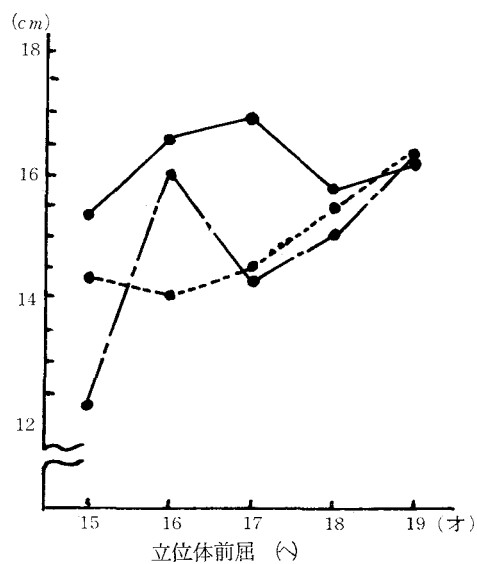
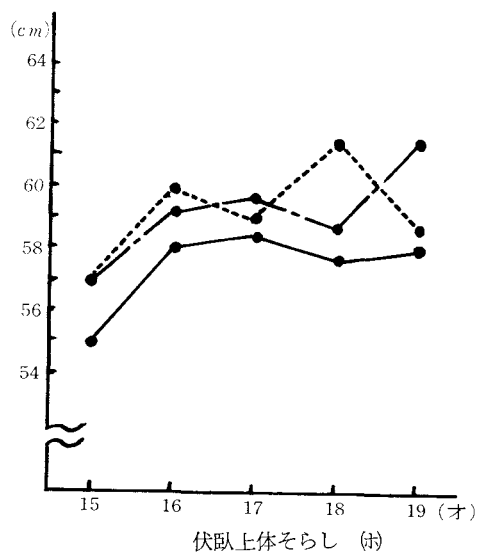
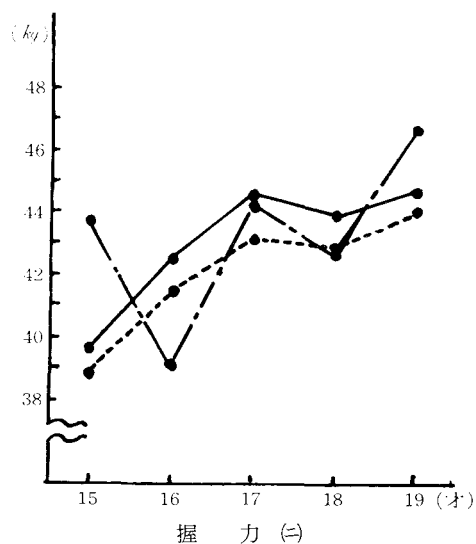
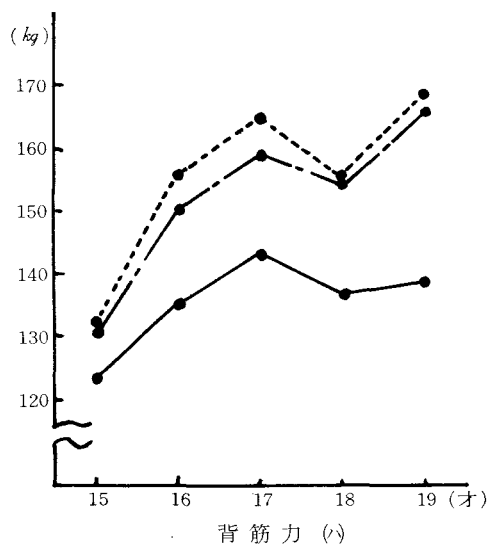
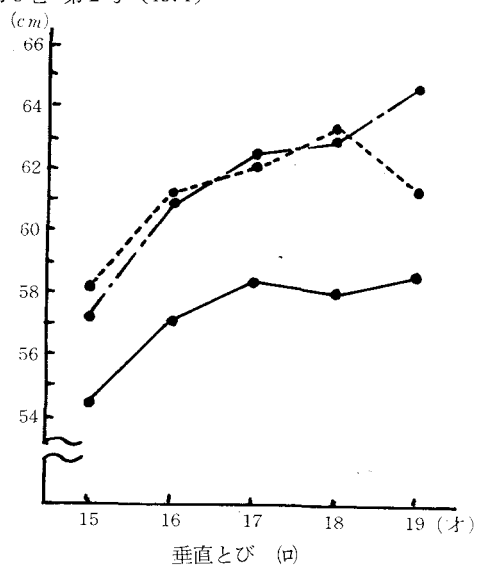
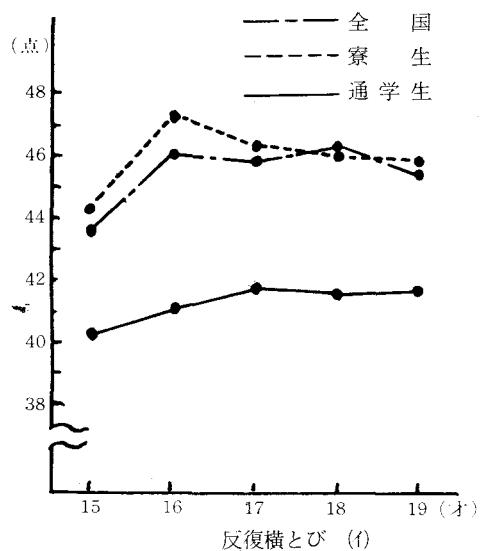
以上のように示された本校寮生、通学生の体力診断テストの特徴は身体的要因のうち特に劣位の傾向を示していたのが持久性(踏み台昇降)、次いで柔軟性(立位体前屈)、筋力(握力)である。優位の傾向を示すものは、敏しょう性(反復横とび)、瞬発力(垂直とび)、筋力(背筋力)、柔軟性(伏臥上体そらし)が認められたことは、本校の測定が極めて被検者に有利な条件が整いすぎているとも考えられる。しかし優劣があまりにも極端な差が生じたことには一考を要する。

表2 全国と本校寮生・通学生との年令別体力診断テスト平均値一覧表

種 目		15 才			16 才			17 才			18 才			19 才			
		N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	
反復横とび(点)	全 国		40.4	4.45		41.2	4.54		41.8	4.60		41.5	4.29		41.6	4.13	
	寮 生	101	44.6	3.63	75	47.3	3.19	54	46.4	4.17	37	46.1	3.54	15	45.9	2.94	
	通学生	49	43.8	2.85	39	46.2	2.93	54	45.9	3.42	75	46.2	2.87	75	45.5	2.94	
	平均値差	寮		4.2			6.1			4.6			4.6			4.3	
		通		3.4			5.0			4.1			4.7			3.9	
	有意性	寮		***			***			***			***			**	
		通		***			***			***			***			***	
垂直とび(cm)	全 国		54.3	7.09		57.1	7.09		58.3	7.07		57.9	6.70		58.7	6.82	
	寮 生	99	58.1	6.23	75	61.4	5.25	54	62.1	5.87	40	63.6	5.57	14	61.6	5.99	
	通学生	51	56.6	5.83	37	61.0	5.99	65	62.4	5.28	76	63.2	5.60	73	64.9	6.11	
	平均値差	寮		3.8			4.3			3.8			5.7			2.9	
		通		2.3			3.9			4.1			5.3			6.2	
	有意性	寮		***			***			***			***				
		通		*			**			***			***			***	

種 目		15 才			16 才			17 才			18 才			19 才		
		N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D	N	\bar{x}	S・D
背 筋 力 (kg)	全 国		124.2	24.78		136.8	24.39		144.5	26.13		136.4	21.85		138.0	22.72
	寮 生	99	132.6	19.70	75	157.5	18.29	54	165.7	24.41	40	156.2	19.68	14	168.7	24.95
	通学生	51	132.3	29.40	37	150.0	23.76	65	159.3	24.19	76	155.6	18.28	73	166.4	23.21
	平均値差		8.4			20.7			21.2			19.8			30.7	
	有意性		8.1			13.2			14.8			19.2			28.4	
	有意性		**			***			***			***			***	
握 力 (kg)	全 国		39.5	6.84		42.5	6.38		44.7	6.53		44.0	6.17		44.8	6.41
	寮 生	101	38.8	5.09	75	41.6	5.58	45	43.4	6.22	37	42.9	6.07	15	44.0	5.46
	通学生	49	43.7	5.86	39	39.0	6.34	54	44.4	7.01	75	42.6	6.29	75	46.8	6.31
	平均値差		(0.7)			(0.9)			(1.3)			(1.1)			(0.8)	
	有意性		4.2			(3.5)			(0.3)			(1.4)			2.0	
	有意性		***			**									**	
伏臥上体そらし (cm)	全 国		55.0	7.65		58.0	7.92		58.5	8.09		57.6	7.80		58.0	7.78
	寮 生	101	57.0	5.51	75	61.1	5.80	45	59.3	6.44	37	61.6	6.41	15	58.8	8.36
	通学生	49	57.0	6.31	39	59.1	6.26	54	59.9	5.47	75	58.7	7.82	75	61.6	6.35
	平均値差		2.0			3.1			0.8			4.0			0.8	
	有意性		2.0			1.1			1.4			1.1			3.6	
	有意性		**			**									***	
立位体前屈 (cm)	全 国		15.4	5.14		16.6	5.09		16.9	5.14		15.8	5.20		16.2	5.14
	寮 生	101	14.3	5.36	75	14.0	5.03	45	14.5	5.53	37	15.5	5.55	15	16.4	4.27
	通学生	49	12.3	5.56	39	16.0	5.18	54	14.3	4.41	75	15.0	5.20	75	16.4	4.45
	平均値差		(1.1)			(2.6)			(2.4)			(0.3)			0.2	
	有意性		(3.1)			(0.6)			(2.7)			(0.8)			0.2	
	有意性		***			***			**							
踏み台昇降	全 国		66.1	12.27		66.6	13.16		67.3	13.06		58.1	9.92		57.8	10.04
	寮 生	101	59.7	10.09	75	57.3	8.12	45	66.0	12.49	37	60.4	7.85	15	64.0	10.35
	通学生	49	56.7	8.86	39	59.9	10.17	54	64.7	11.17	75	60.0	9.43	75	66.6	12.41
	平均値差		(6.4)			(9.3)			(1.3)			2.3			6.2	
	有意性		(9.4)			(6.7)			(2.6)			1.9			8.8	
	有意性		***			***									*	
	有意性		***			**									***	

(注) 全国の平均値は昭和42年度文部省調査による。表中平均値差に()印のあるのは本校寮生・通学生が劣ることを示す。有意性のらん中に*印のものは5%水準, **印のものは1%, ***印のものは0.1%にて有意であることを示す。



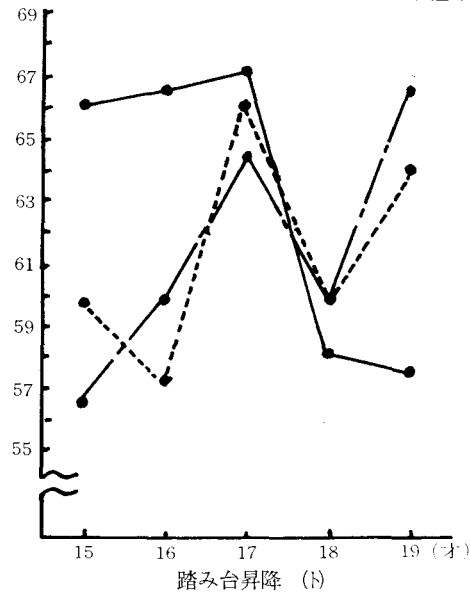


図2 全国と本校寮生・通学生との年齢別体力診断全国テスト平均値の変動

表3, 図3より基礎運動能力のうち, 各種目の寮生, 通学生年齢別全国平均値と比較対象してみると, 寮生は各年齢とも優位の傾向を示しているが, 全体的には特別にすぐれているとは考えられないし, 逆にハンドボール投げについては劣位が認められる。50m走, 走り幅とび, 懸垂等に0.1%~5%水準にて有意性が認められた。

通学生については16才, 17才が各種目とも劣る傾向を示し, 寮生と同様に特別優位である種目は見受けられない。有意性においても寮生と同等に

50m走, 走り幅とび, 懸垂等に0.1%~5%水準にて有意性が認められた。

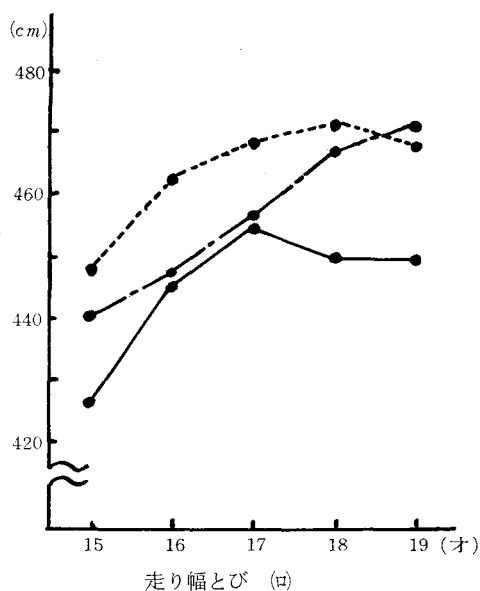
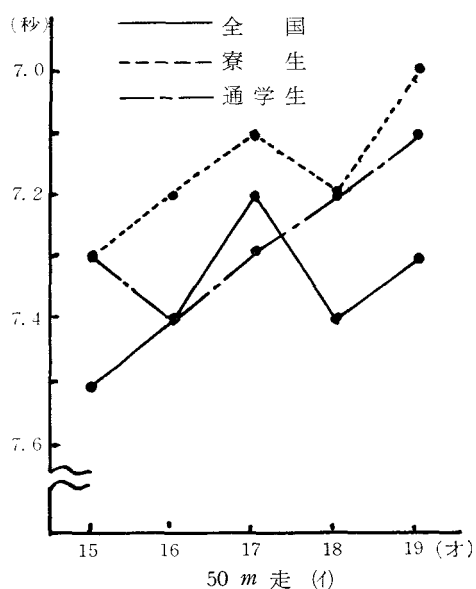
以上の事柄から本校寮生, 通学生の運動能力の特徴は第2報で述懐しているように狭胸型であり, トレーニング不足の傾向が全学生に認められるといっても過言ではない。また身長, 体重の増加の割に胸囲が少なく, さらに投力, 懸垂力が劣っていることも多少関連があることかもしれない。特にこれらの問題についてはあらゆる視野から究明を進めていきたい。

表3 全国と本校寮生・通学生との年齢別運動能力テスト平均値一覧表

種目		15 才			16 才			17 才			18 才			19 才		
		N	\bar{x}	S.D	N	\bar{x}	S.D	N	\bar{x}	S.D	N	\bar{x}	S.D	N	\bar{x}	S.D
50m走(秒)	全 国		7.5	0.45		7.4	0.42		7.2	0.41		7.4	0.39		7.3	0.37
	寮 生	99	7.3	0.39	74	7.2	0.34	48	7.1	0.35	29	7.2	0.38	13	7.0	0.24
	通学生	50	7.3	0.31	38	7.4	0.33	67	7.3	0.31	81	7.2	0.33	67	7.1	0.33
	平均値差		0.2			0.2			0.1			0.2			0.3	
	有意性		***			***			(0.1)			0.2			0.2	
	有意性		***			***			*			***			***	
	有意性		*			*			*			***			***	
走り幅とび(cm)	全 国		427.1	41.76		445.7	39.79		456.9	39.98		450.0	38.54		450.0	38.60
	寮 生	99	448.5	39.25	74	463.3	32.25	48	469.8	30.25	29	473.3	46.50	13	469.0	33.25
	通学生	50	440.0	36.25	38	447.3	34.50	67	457.3	33.75	81	467.8	37.50	67	473.5	37.00
	平均値差		21.4			17.6			12.9			23.3			19.0	
	有意性		12.9			1.6			0.4			17.8			23.5	
	有意性		***			***			*			***			***	
	有意性		*			*			*			***			***	

種 目		15 才			16 才			17 才			18 才			19 才		
		N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D	N	\bar{x}	S·D
ハンド ボール 投 (m)	全 国		26.4	4.33		28.0	4.22		29.4	4.40		28.0	4.17		28.4	4.23
	寮 生	99	26.6	3.38	75	28.4	4.22	54	28.8	4.06	40	29.9	3.85	14	28.7	3.53
	通学生	51	26.4	3.14	37	27.2	4.46	65	28.3	3.37	76	28.6	3.42	73	30.0	3.02
	平均値差		0.2			0.4			(0.6)			1.9			0.3	
	有意性		0			(0.8)			(1.1)			0.6			1.6	
	有意性								*			**			**	
懸 垂 (回)	全 国		7.2	3.33		8.3	3.45		9.2	3.74		7.8	3.45		8.1	3.50
	寮 生	101	8.0	3.17	75	8.9	3.09	45	9.1	3.71	37	9.4	4.10	15	10.8	2.19
	通学生	49	7.3	3.24	39	8.1	3.15	54	7.8	2.88	75	9.3	3.22	75	10.2	3.64
	平均値差		0.8			0.6			(0.1)			1.6			2.7	
	有意性		0.1			(0.2)			(1.4)			1.5			2.1	
	有意性		*						**			***			***	
1500m 走 (秒)	全 国		355.0	28.62		352.0	29.66		352.1	30.17		364.9	31.50		366.3	33.98
	寮 生		351.9	23.35		350.4	26.70		341.6	27.19		351.2	30.26		364.1	33.91
	通学生		362.3	30.59		358.3	33.64		348.3	24.51		356.5	31.00		373.5	34.39
	平均値差		2.1			1.6			10.5			13.7			2.2	
	有意性		(7.3)			(6.3)			3.8			8.4			(7.2)	
	有意性								*			*			*	

(注) 全国の平均値は昭和42年度文部省調査による。表中平均値差に()印のあるのは本校寮生・通学生が劣ることを示す。有意性のらんに*印のものは5%水準、**印のものは1%、***印のものは0.1%にて有意であることを示す。



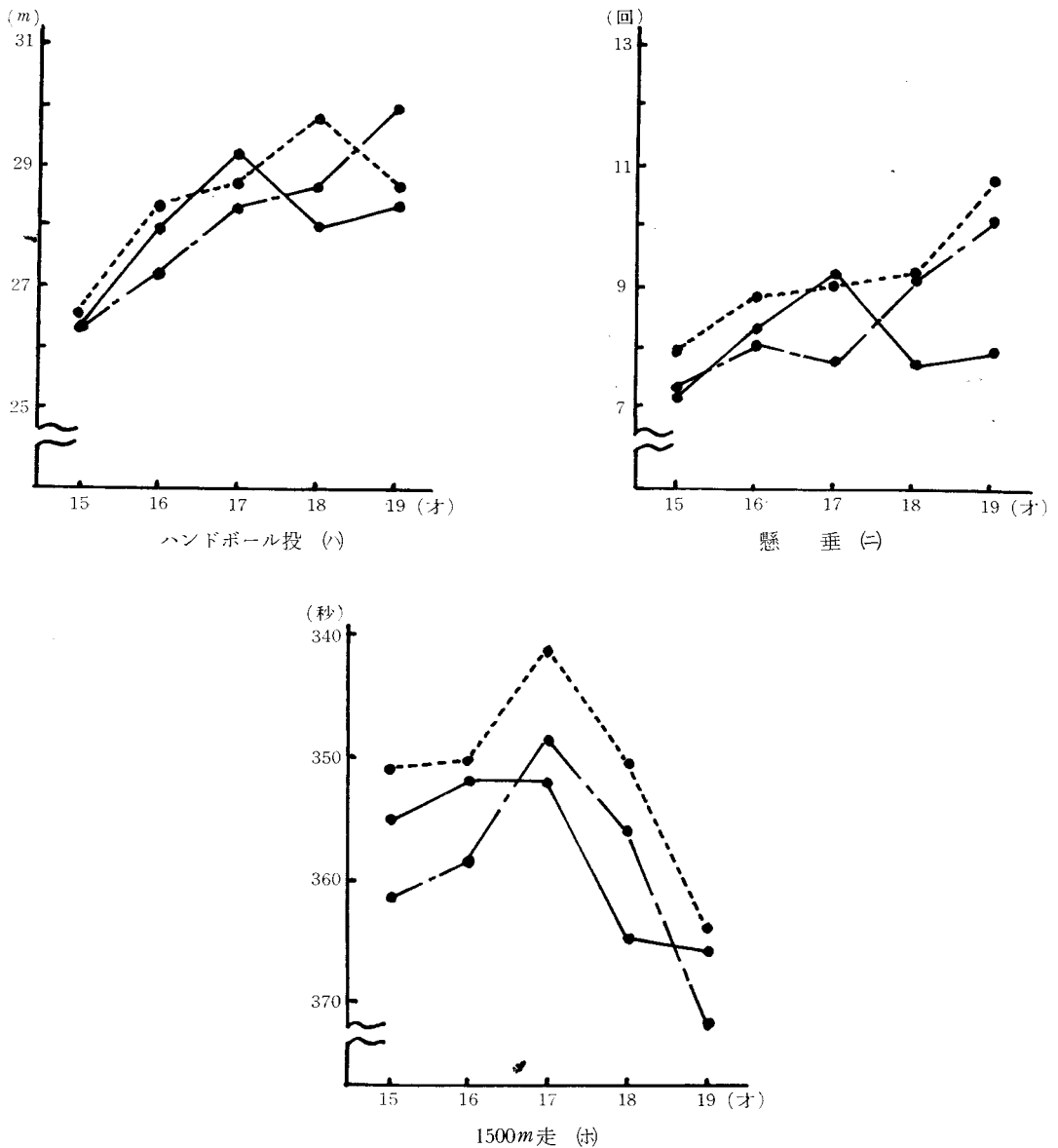


図3 全国と本校寮生・通学生との年齢別運動全国能力平均値の変動

表4（体位）、表5（体力診断）、表6（運動能力）からT-スコアによる得点表の設定を本校寮生、通学生各人に側面からの観察を自覚させ、自己の能力を增強させるために次の公式を作成した。

$$T\text{-スコア} = 50 + \frac{10(X-x)}{S \cdot D}$$

体位および運動能力の相関係数とその有意差について本校寮生、通学生16才を対象として、全種目別に相関係数を使用し、相関表と有意差を算出した結果表7に示すように認められた。

表4 T-スコアによる体位得点表

種目		T-スコア	15 才	16 才	17 才	18 才	19 才	
身長 (cm)	寮生	5	65 以上	174.0以上	175.3以上	176.0以上	173.7以上	174.8以上
		4	55 ～ 64	169.0～173.9	170.4～175.2	170.7～175.9	169.7～173.6	170.2～174.7
		3	45 ～ 54	163.9～168.9	164.4～170.3	165.3～170.6	165.6～169.6	165.5～170.1
		2	35 ～ 44	158.9～163.8	159.5～164.3	159.9～165.2	161.6～165.5	160.8～165.4
		1	34 以下	158.8以下	159.4以下	159.8以下	161.5以下	160.7以下
	通学生	5	65 以上	174.6以上	173.7以上	176.3以上	173.4以上	176.4以上
		4	55 ～ 64	169.1～174.5	168.9～173.6	170.3～176.2	169.4～173.3	171.6～176.3
		3	45 ～ 54	164.5～169.0	164.0～168.8	164.3～170.2	165.3～169.3	166.7～171.5
		2	35 ～ 44	159.1～164.4	159.2～163.9	158.3～164.2	161.3～165.2	161.9～166.6
		1	34 以下	159.0以下	159.1以下	158.2以下	161.2以下	161.8以下
体重 (kg)	寮生	5	65 以上	63.8以上	65.0以上	66.9以上	64.3以上	65.0以上
		4	55 ～ 64	58.4～ 63.7	59.6～ 64.9	61.0～ 66.8	59.9～ 64.2	60.2～ 64.9
		3	45 ～ 54	53.0～ 58.3	54.0～ 59.5	54.9～ 60.9	55.3～ 59.8	55.3～ 60.1
		2	35 ～ 44	47.7～ 52.9	48.6～ 53.9	49.0～ 54.8	50.9～ 55.2	50.5～ 55.2
		1	34 以下	47.6以下	48.5以下	48.9以下	50.8以下	50.4以下
	通学生	5	65 以上	62.2以上	60.7以上	56.5以上	64.6以上	68.5以上
		4	55 ～ 64	57.3～ 62.1	56.1～ 60.6	60.2～ 65.4	59.6～ 64.5	62.4～68.4
		3	45 ～ 54	52.4～ 57.2	51.4～ 56.0	54.7～ 60.1	54.6～ 59.5	56.2～ 62.3
		2	35 ～ 44	47.6～ 52.3	46.8～ 51.3	49.4～ 54.6	49.6～ 54.5	50.2～ 56.1
		1	34 以下	47.5以下	46.7以下	49.3以下	49.5以下	50.1以下
胸囲 (cm)	寮生	5	65 以上	88.8以上	90.3以上	91.8以上	90.9以上	92.9以上
		4	55 ～ 64	85.0～ 88.7	86.1～ 90.2	87.4～ 91.7	87.3～ 90.8	89.0～ 92.8
		3	45 ～ 54	81.0～ 84.9	81.8～ 86.0	82.9～ 87.3	83.7～ 87.2	85.0～ 88.9
		2	35 ～ 44	77.2～ 80.9	77.7～ 81.7	78.4～ 82.8	8.1～ 83.6	81.1～ 84.9
		1	34 以下	77.1以下	77.6以下	78.3以下	80.0以下	81.0以下
	通学生	5	65 以上	87.9以上	88.0以上	89.9以上	91.6以上	94.0以上
		4	55 ～ 64	84.3～ 87.8	84.2～ 87.9	86.0～ 89.8	87.3～ 91.5	89.7～ 93.9
		3	45 ～ 54	80.6～ 84.2	80.3～ 84.1	82.1～ 85.9	82.9～ 87.2	85.4～ 89.6
		2	35 ～ 44	77.0～ 80.5	76.5～ 80.2	78.2～ 82.0	78.7～ 82.8	81.1～ 85.3
		1	34 以下	76.9以下	76.4以下	78.1以下	78.6以下	81.0以下
座高 (cm)	寮生	5	65 以上	93.5以上	93.3以上	94.3以上	94.5以上	93.7以上
		4	55 ～ 64	90.9～ 93.4	91.0～ 93.2	91.6～ 94.2	91.8～ 94.4	91.5～ 93.6
		3	45 ～ 54	88.1～ 90.8	88.6～ 90.9	88.8～ 91.5	89.0～ 91.7	89.2～ 91.4
		2	35 ～ 44	85.5～ 88.0	86.3～ 88.5	86.2～ 88.7	86.3～ 88.9	87.0～ 89.1
		1	34 以下	85.4以下	86.2以下	86.1以下	86.2以下	86.9以下
	通学生	5	65 以上	93.4以上	93.1以上	93.9以上	93.6以上	93.8以上
		4	55 ～ 64	90.7～ 93.3	90.4～ 93.0	91.2～ 93.8	91.2～ 93.5	91.2～ 93.7
		3	45 ～ 54	87.8～ 90.6	87.6～ 90.3	88.3～ 91.1	88.7～ 91.1	88.4～ 91.1
		2	35 ～ 44	85.0～ 87.7	84.9～ 87.5	85.6～ 88.2	86.3～ 88.6	85.7～ 88.3
		1	34 以下	84.9以下	84.8以下	85.5以下	86.2以下	85.6以下

表5 T-スコアによる体力診断テスト得点表

種目		T-スコア	15 才	16 才	17 才	18 才	19 才		
反復横とび (点)	寮	5	65 以上	50.2以上	52.2以上	52.8以上	51.5以上	50.4以上	
		4	55 ～ 64	46.6～ 50.1	49.0～ 52.1	48.6～ 52.7	48.0～ 51.4	47.5～ 50.3	
		3	45 ～ 54	42.8～ 46.5	45.7～ 48.9	44.3～ 48.5	44.4～ 47.9	44.4～ 47.4	
		2	35 ～ 44	39.2～ 42.7	42.6～ 45.6	40.2～ 44.2	40.8～ 44.3	41.5～ 44.3	
	生	1	34 以下	39.1以下	42.5以下	40.1以下	40.7以下	41.4以下	
		通	5	65 以上	48.2以上	50.7以上	51.1以上	50.6以上	50.0以上
			4	55 ～ 64	45.4～ 48.1	47.8～ 50.6	47.7～ 51.0	47.7～ 50.5	47.1～ 49.9
			3	45 ～ 54	42.4～ 45.3	44.8～ 47.7	44.2～ 47.6	44.7～ 47.6	44.0～ 47.0
			2	35 ～ 44	39.5～ 42.3	41.8～ 44.7	40.7～ 44.1	41.9～ 44.6	41.1～ 43.9
		1	34 以下	39.4以下	41.7以下	40.6以下	41.8以下	41.0以下	
垂直とび (cm)	寮	5	65 以上	67.6以上	69.4以上	71.0以上	72.1以上	70.7以上	
		4	55 ～ 64	61.3～ 67.5	64.1～ 69.3	65.1～ 70.9	66.5～ 72.0	64.7～ 70.6	
		3	45 ～ 54	55.0～ 61.2	58.8～ 64.0	59.1～ 65.0	60.8～ 66.4	58.6～ 64.6	
		2	35 ～ 44	48.8～ 54.9	53.5～ 58.7	53.3～ 59.0	55.2～ 60.7	52.6～ 58.5	
	生	1	34 以下	48.7以下	53.4以下	53.2以下	55.1以下	52.5以下	
		通	5	65 以上	65.4以上	70.0以上	70.4以上	71.7以上	74.1以上
			4	55 ～ 64	59.6～ 65.3	64.1～ 69.9	65.1～ 70.3	66.1～ 71.6	68.0～ 74.0
			3	45 ～ 54	53.7～ 59.5	58.0～ 64.0	59.7～ 65.0	60.4～ 66.0	61.8～ 67.9
			2	35 ～ 44	47.8～ 53.6	52.0～ 57.9	54.4～ 59.6	54.8～ 60.3	55.7～ 61.7
		1	34 以下	47.7以下	51.9以下	54.3以下	54.7以下	55.6以下	
背筋力 (Kg)	寮	5	65 以上	162.2以上	185.1以上	202.4以上	185.8以上	206.2以上	
		4	55 ～ 64	142.5～162.1	166.8～185.0	178.0～202.3	166.2～185.7	181.3～206.1	
		3	45 ～ 54	122.7～142.4	148.4～166.7	153.5～177.9	146.4～166.1	156.2～181.2	
		2	35 ～ 44	103.0～122.6	130.1～148.3	129.1～153.4	126.7～146.3	131.3～156.1	
	生	1	34 以下	102.9以下	130.0以下	129.0以下	126.6以下	131.2以下	
		通	5	65 以上	176.5以上	185.7以上	195.7以上	183.1以上	201.3以上
			4	55 ～ 64	147.1～176.4	161.9～185.6	171.5～195.6	164.9～183.0	178.1～201.2
			3	45 ～ 54	117.6～147.0	138.0～161.8	147.2～171.4	146.5～146.8	154.8～178.0
			2	35 ～ 44	88.2～117.5	114.3～137.9	123.0～147.1	128.2～146.4	131.6～154.7
		1	34 以下	88.1以下	114.2以下	122.9以下	128.1以下	131.5以下	
握力 (Kg)	寮	5	65 以上	46.6以上	50.1以上	52.8以上	52.1以上	52.3以上	
		4	55 ～ 64	41.5～ 46.5	44.5～ 50.0	46.6～ 52.7	46.1～ 52.0	46.8～ 52.2	
		3	45 ～ 54	36.3～ 41.4	38.9～ 44.4	40.2～ 46.5	39.9～ 46.0	41.3～ 46.7	
		2	35 ～ 44	31.2～ 36.2	33.2～ 38.8	34.0～ 40.1	33.8～ 39.8	35.8～ 41.2	
	生	1	34 以下	31.1以下	33.1以下	33.9以下	33.7以下	35.7以下	
		通	5	65 以上	52.6以上	48.6以上	55.1以上	52.2以上	56.3以上
			4	55 ～ 64	46.3～ 52.5	42.2～ 48.5	48.0～ 55.0	45.9～ 52.1	50.0～ 56.2
			3	45 ～ 54	40.8～ 46.2	35.8～ 42.1	40.9～ 47.9	39.5～ 45.8	43.6～ 49.9
			2	35 ～ 44	34.9～ 40.7	29.4～ 35.7	33.9～ 40.8	33.2～ 39.4	37.3～ 43.5
		1	34 以下	34.8以下	29.3以下	33.8以下	33.1以下	37.2以下	

種目		T-スコア	15 才	16 才	17 才	18 才	19 才	
伏臥上体そらし (cm)	寮	5	65 以上	65.4以上	69.9以上	69.1以上	71.3以上	71.4以上
		4	55 ～ 64	59.9～ 65.3	64.1～ 69.8	62.6～ 69.0	64.9～ 71.2	63.0～ 71.3
		3	45 ～ 54	54.3～ 59.8	58.2～ 64.0	56.1～ 62.5	58.4～ 64.8	54.6～ 62.9
	生	2	35 ～ 44	48.8～ 54.2	52.4～ 58.1	47.7～ 56.0	52.0～ 58.3	46.2～ 54.5
		1	34 以下	48.7以下	52.3以下	47.6以下	51.9以下	46.1以下
	通	5	65 以上	66.6以上	68.5以上	68.2以上	70.6以上	71.2以上
		4	55 ～ 64	60.2～ 66.5	62.3～ 68.4	62.7～ 68.1	62.8～ 70.5	64.9～ 71.1
		3	45 ～ 54	53.8～ 60.1	55.9～ 62.2	57.1～ 62.6	54.8～ 62.7	58.4～ 64.8
	学	2	35 ～ 44	47.5～ 53.7	49.7～ 55.8	51.6～ 57.0	47.9～ 54.7	52.1～ 58.3
		1	34 以下	47.4以下	49.6以下	51.5以下	46.9以下	52.0以下
立位体前屈 (cm)	寮	5	65 以上	22.5以上	21.6以上	22.9以上	23.9以上	22.9以上
		4	55 ～ 64	17.1～ 22.4	16.6～ 21.5	17.4～ 22.8	18.3～ 23.8	18.6～ 22.8
		3	45 ～ 54	11.7～ 17.0	11.4～ 16.5	11.8～ 17.3	12.7～ 18.2	14.2～ 18.5
	生	2	35 ～ 44	6.3～ 11.6	6.4～ 11.3	6.2～ 11.7	7.1～ 12.6	10.0～ 14.1
		1	34 以下	6.2以下	6.3以下	6.1以下	7.0以下	9.9以下
	通	5	65 以上	20.7以上	23.8以上	21.0以上	23.1以上	23.1以上
		4	55 ～ 64	15.2～ 20.6	18.7～ 23.7	16.6～ 20.9	17.7～ 23.0	18.7～ 23.0
		3	45 ～ 54	9.5～ 15.1	13.4～ 18.6	12.1～ 16.5	12.4～ 17.6	14.1～ 18.6
	学	2	35 ～ 44	3.9～ 9.4	8.2～ 13.3	7.7～ 12.0	7.2～ 12.3	9.7～ 14.0
		1	34 以下	3.8以下	8.1以下	7.6以下	7.1以下	9.6以下
踏み台昇降	寮	5	65 以上	75.0以上	69.6以上	84.8以上	72.3以上	79.6以上
		4	55 ～ 64	64.9～ 74.9	61.5～ 69.5	72.3～ 84.7	64.5～ 72.2	69.3～ 79.5
		3	45 ～ 44	54.7～ 64.8	53.3～ 61.4	59.7～ 72.2	56.5～ 64.4	58.8～ 69.2
	生	2	35 ～ 44	44.6～ 54.6	45.2～ 53.2	47.2～ 59.6	48.7～ 56.4	48.5～ 58.7
		1	34 以下	44.5以下	45.1以下	47.1以下	48.6以下	48.4以下
	通	5	65 以上	70.1以上	75.3以上	81.6以上	74.3以上	85.3以上
		4	55 ～ 64	61.2～ 70.0	65.1～ 75.2	70.4～ 81.5	64.8～ 74.2	72.9～ 85.2
		3	45 ～ 54	52.2～ 61.1	54.8～ 65.0	59.1～ 70.3	55.3～ 64.7	60.4～ 72.8
	学	2	35 ～ 44	43.4～ 52.1	44.7～ 54.7	48.0～ 59.0	45.9～ 55.2	47.9～ 60.3
		1	34 以下	43.3以下	44.6以下	47.9以下	45.8以下	47.8以下

表6 T-スコアによる運動能力得点表

種目	T-スコア		15 才	16 才	17 才	18 才	19 才	
50m走 (秒)	寮	5	65 以上	6.6以上	6.6以上	6.5以上	6.5以上	6.5以上
		4	55 ~ 64	7.0~ 6.7	7.0~ 6.7	6.9~ 6.6	6.9~ 6.6	6.8~ 6.6
		3	45 ~ 54	7.5~ 7.1	7.4~ 7.1	7.3~ 7.0	7.4~ 7.0	7.2~ 6.9
	生	2	35 ~ 44	7.9~ 7.9	7.8~ 7.5	7.7~ 7.4	7.7~ 7.5	7.4~ 7.3
		1	34 以下	8.0以下	7.9以下	7.8以下	7.8以下	7.5以下
	通	5	65 以上	6.8以上	6.8以上	6.7以上	6.6以上	6.5以上
		4	55 ~ 64	7.1~ 6.9	7.1~ 6.9	7.0~ 6.8	6.9~ 6.7	6.8~ 6.6
		3	45 ~ 54	7.5~ 7.2	7.6~ 7.2	7.4~ 7.1	7.3~ 7.0	7.3~ 6.9
	学	2	35 ~ 44	7.8~ 7.6	7.9~ 7.7	7.7~ 7.5	7.7~ 7.4	7.6~ 7.4
		1	34 以下	7.9以下	8.0以下	7.8以下	7.8以下	7.7以下

種目		T—スコア	15 才	16 才	17 才	18 才	19 才	
走り幅とび (cm)	寮	5	65 以上	507.5以上	511.7以上	515.2以上	543.1以上	519.0以上
		4	55 ～ 64	468.2～507.4	479.5～511.6	485.0～515.1	496.6～533.0	485.7～518.9
		3	45 ～ 54	428.9～468.1	447.1～479.4	454.6～484.6	450.0～496.5	452.4～485.6
		2	35 ～ 44	389.6～428.8	414.9～447.0	424.4～454.5	403.5～449.9	419. ～452.3
	生	1	34 以下	389.5以下	414.8以下	424.3以下	403.4以下	419.0以下
		5	65 以上	494.5以上	499.1以上	510.5以上	524.0以上	529.1以上
	通	4	55 ～ 64	458.2～494.4	464.6～499.0	474.2～510.4	486.5～523.9	492.1～529.0
		3	45 ～ 54	421.9～458.1	430.0～464.5	440.4～474.1	449.0～486.4	455.0～492.0
	学	2	35 ～ 44	385.6～421.8	395.5～429.9	404.1～440.3	401.5～448.9	418.0～454.9
		1	34 以下	385.5以下	395.4以下	404.0以下	401.4以下	417.9以下
ハンドボール投 (m)	寮	5	65 以上	31.8以上	34.8以上	35.0以上	35.7以上	34.1以上
		4	55 ～ 64	28.4～ 31.7	30.6～ 34.7	30.9～ 34.9	31.9～ 35.6	30.6～ 34.0
		3	45 ～ 54	24.9～ 28.3	26.3～ 30.5	26.8～ 30.8	27.9～ 31.8	26.9～ 30.5
		2	35 ～ 44	21.5～ 24.8	22.0～ 26.2	22.7～ 26.7	24.1～ 27.8	23.4～ 26.8
	生	1	34 以下	21.4以下	21.9以下	22.6以下	24.0以下	23.3以下
		5	65 以上	31.2以上	34.0以上	33.5以上	33.9以上	34.6以上
	通	4	55 ～ 64	28.1～ 31.1	29.5～ 33.9	30.1～ 33.4	30.4～ 33.8	31.6～ 34.5
		3	45 ～ 54	24.8～ 28.0	24.9～ 29.4	26.6～ 30.0	26.9～ 30.3	28.5～ 31.5
	学	2	35 ～ 44	21.7～ 24.7	20.5～ 24.8	23.3～ 26.5	23.5～ 26.8	25.5～ 28.4
		1	34 以下	21.6以下	20.4以下	23.2以下	23.4以下	25.4以下
懸 垂 (回)	寮	5	65 以上	12.8以上	13.6以上	14.8以上	15.6以上	15.1以上
		4	55 ～ 64	9.7～ 12.7	10.5～ 13.5	11.1～ 14.7	11.5～ 15.5	12.3～ 15.0
		3	45 ～ 54	6.4～ 9.6	7.3～ 10.4	7.3～ 11.0	7.3～ 11.4	9.4～ 12.2
		2	35 ～ 44	3.2～ 6.3	4.2～ 7.2	3.5～ 7.2	3.2～ 7.2	6.6～ 9.3
	生	1	34 以下	3.1以下	4.1以下	3.4以下	3.1以下	6.5以下
		5	65 以上	12.2以上	12.9以上	12.2以上	14.2以上	15.8以上
	通	4	55 ～ 64	9.0～ 12.1	9.8～ 12.8	6.4～ 12.1	11.0～ 14.1	12.2～ 15.7
		3	45 ～ 54	5.7～ 8.9	6.5～ 9.7	6.4～ 9.3	7.7～ 10.9	8.4～ 12.1
	学	2	35 ～ 44	2.4～ 5.6	3.4～ 6.4	3.5～ 6.3	4.5～ 7.6	4.8～ 8.3
		1	34 以下	2.3以下	3.3以下	3.4以下	4.4以下	4.7以下
1500m走 (秒)	寮	5	65 以上	316.8以上	310.3以上	300.7以上	305.7以上	313.1以上
		4	55 ～ 64	340.1～316.9	337.0～310.4	327.9～300.8	336.0～305.8	347.0～313.2
		3	45 ～ 54	363.6～340.2	363.8～337.1	355.2～328.0	366.3～336.1	381.0～347.1
		2	35 ～ 44	386.9～363.7	390.5～363.9	382.4～355.3	396.6～366.4	414.9～381.1
	生	1	34 以下	387.0以下	390.6以下	382.5以下	396.7以下	415.0以下
		5	65 以上	316.3以上	307.8以上	311.5以上	309.9以上	321.8以下
	通	4	55 ～ 64	346.9～316.4	341.4～307.9	336.0～311.6	340.9～310.0	356.2～321.9
		3	45 ～ 54	377.6～347.0	375.2～341.5	360.6～336.1	372.0～341.0	390.7～356.3
	学	2	35 ～ 44	408.2～377.7	408.8～375.3	385.1～360.7	403.0～372.1	425.1～390.8
		1	34 以下	408.3以下	408.9以下	385.2以下	403.1以下	425.2以下

表7 相関係数の有意水準表

()印16才の調査標本数

		体 重	胸 囲	座 高	50m走	走 幅 と び	ハ ン ド ボ ー ル 投	懸 垂	持 久 走 1500m走	
寮 生	身 長	0.43 ** (38)	0.10 — (38)	0.60 *** (38)	0.31 * (38)	0.38 ** (38)	0.19 — (38)	0.07 — (38)	0.18 — (35)	通 学 生
	0.49 *** (77)	体 重	0.64 *** (38)	0.28 — (38)	0.45 ** (38)	0.56 *** (38)	0.49 *** (38)	0.03 — (36)	0.09 — (35)	
	0.36 *** (77)	0.83 *** (77)	胸 囲	0.07 — (38)	0.45 ** (38)	0.62 *** (38)	0.56 *** (38)	0.32 * (38)	0.26 — (35)	
	0.71 *** (77)	0.54 *** (77)	0.40 *** (77)	座 高	0.02 — (38)	0.10 — (38)	0.15 — (38)	0.07 — (38)	0.07 — (35)	
生	0.12 — (75)	0.14 — (73)	0.23 * (73)	0.04 — (71)	50 m 走	0.68 *** (38)	0.29 — (38)	0.20 — (38)	0.33 * (35)	生
	0.37 *** (74)	0.21 — (74)	0.28 ** (74)	0.17 — (74)	0.58 *** (72)	走 幅 と び	0.50 *** (36)	0.16 — (38)	0.29 — (35)	
	0.20 — (74)	0.37 *** (74)	0.30 ** (74)	0.26 ** (74)	0.42 *** (73)	0.41 *** (74)	ハ ン ド ボ ー ル 投	0.24 — (38)	0.27 — (35)	
	0.13 — (75)	0.05 — (75)	0.09 — (75)	0.04 — (75)	0.18 — (73)	0.12 — (74)	0.05 — (74)	懸 垂	0.31 * (35)	
	0.08 — (74)	0.23 * (74)	0.27 ** (74)	0.07 — (72)	0.22 * (72)	0.22 * (73)	0.18 — (73)	0.21 — (74)	持 久 走 1500m走	
	身 長	体 重	胸 囲	座 高	50 m 走	走 幅 と び	ハ ン ド ボ ー ル 投	懸 垂		

相関係数と有意差の検定は次の公式によって算出した。

$$r = \frac{S \times Y}{\sqrt{S(XX) S(YY)}} \quad t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$$

r = 相関係数, t = 相関のあるなしの検定, 表7の相関表の有意差を示すため次の記号であらわす。

$P > 0.05$ ならば差なしとして記号—

$P \leq 0.05$ ならば差ありとして記号 *

$P \leq 0.01$ ならば差ありとして記号 **

$P \leq 0.001$ ならば差が著しいとして記号 ***

表7の結果から寮生について述べると、高い相関のある種目は身長と体重・胸囲・座高、体重と胸囲・座高・ハンドボール投げ、胸囲と座高、50m走と走り幅とび・ハンドボール投げ、走り幅とびとハンドボール投げ。

かなりの相関のある種目は胸囲と走り幅とび・ハンドボール投げ・持久走、座高とハンドボール投げ。

低い相関にある種目は体重と持久走、胸囲と50m走、50m走と持久走、走り幅とびと持久走。

通学生については高い相関のある種目は胸囲と体重、座高と身長、走り幅とびと体重・胸囲・50m走、ハンドボール投げと体重・胸囲・走り幅とび。

かなりの相関のある種目は体重と身長、50m走と体重・胸囲、走り幅とびと身長。

低い相関のある種目は50m走と身長、懸垂と胸囲、持久走と50m走・懸垂、その他の種目における相関は殆んどないという結果が寮生においても認められた。

§4 総 括

スポーツテストを中心とした測定記録を資料として考察した結果、本校寮生・通学生の体位においては、15才を除く各年令とも全国平均値より劣位である傾向を示しているのが認められた。

体力診断・運動能力では全般的に全国平均値を上まわっている。しかし体力診断では、立位体前屈・握力・踏み台昇降運動、運動能力では持久走が劣っているのでその原因を追究し学生の能力の向上に努力したい。

今後、現在までの資料を基盤として、学生個々あるいは全体的についての発達の推移等について研究を進めていきたい。

最後にこの稿をなすにあたって、調査に御協力いただいた非常勤の橋本・平松教官に感謝するとともに御礼申し上げます。

文 献

- 1) 文部省体育局昭和42年度体力・運動能力調査報告書
- 2) 松島茂善スポーツテスト
- 3) 日丸哲也・永田晟体力統計法
- 4) 松井三雄他体力測定法
- 5) 野口義之運動能力の測定

(昭和46年1月8日受付)

陸上競技の決勝線における順位判定に関する研究

(保健・体育) 堀 武 夫 ・ 石 嶋 篤 司

A Study of Ranking Decision on the Finish Line of Track and Field

Takeo HORI and Tokushi ISHIJIMA

In all racing events the ranking decision at the finish on the occasion of a close game needs the high sense and skill. It is not to be inferred, however, that there never occur any mis-judgements by the superior sense and technique at all. So, we study the cause of mis-judgement after comparing the above-mentioned decision with the decision reached through the examination of the photo-chart.

§ 1 緒 言

陸上競技の競走において正しい着順を判定することは、かなり熟練を要することであり、わが国においてはオリンピック東京大会を契機として、全日本選手権大会・国民体育大会・全国高等学校対校選手権大会と国際大会の一部については毎年着順判定写真とあわせて電気計時装置で計時することになったのである。写真判定と電気計時装置を併用したのは、オリンピック東京大会が国際的に最初であり、その後国内において、これを積極的に利用している国は、わが国を除いて外国にはあまり例のない状態である。

しかし、外国はもちろん、わが国内においても、大部分の公認競技会は定められた規則にしたがって人間が判断することにより順位判定と所要時間を決定しているわけである。この人間（審判員）の判断による順位判定の結果と、写真判定によって判定した結果とを比較し、人間（審判員）の判断による判定資料にどの程度の誤りが発生するものか、その誤りの原因を究明することにより一層確実な判定に資したいと考えるのである。

なお、計時に関する問題点も付随的に指摘することもあり得るが、このことについては別に報告

したので、ここでは最少限にとどめる。

§ 2 測定の方法

(1) 被検者は1968年度、秩父宮賜杯全国高校対校陸上選手権大会における、男子種目100・400・110H・200H・400Rと女子種目100・200・80H・400Rの各種目に出場した934名の全国各都道府県代表選手である。

(2) 写真判定は専門の有資格者がこれを担当した。

(3) 人間による着順の判定は、日本陸上競技連盟競技規則によって有資格公認審判員25名をもってこれにあたった。

その判定方法は、審判員1人が第1着を、1人が第1着と第2着を、1人が第2着と第3着を、というように以下順次第8着まで合計8名の審判員が必要で、それらがすべて決勝線の延長線上5メートルはなれた階段式スタンドの上から判定したものである。集計はこうにして判定した総数2,290回を整理したものである。

(4) 着順判定写真の装置は、計時記録装置を並有する着順判定カメラと電気計時装置とからなっている。このカメラ部は一種のスリットカメラであって普通のカメラのように瞬間撮影をするものではない。ゴールライン上の現象の時間的变化を

逐次撮影するもので、撮影された写真の横方向は時間軸であり、その構造は、写真レンズの後方、フィルムの前側に、約 $3/100$ ミリのスリットが設けられ、フィルムはスリットと直角の方向に連続的に送られることが特徴である。レンズを通してフィルム上に結ばれる像はスリットの幅だけしか写らない。今カメラをゴールラインを含む垂直平面内に設置し、ゴールラインの像をスリットと一致させればフィルム上にはゴールライン上の現象のほかは、スリットにさえぎられて写らない。フィルムを被写体（ランナー）の映像の速度とほぼ同じ速度で移動させれば、フィルム上にはゴールライン上の現象の時間的変化が連続的に撮影される。

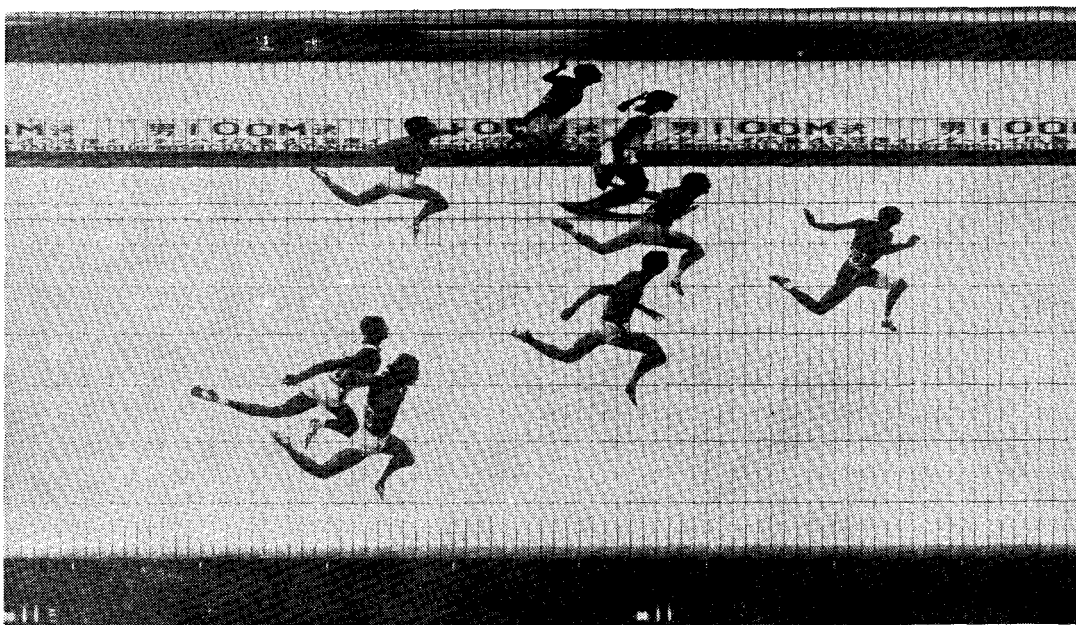
このようにして撮影された写真は、一見瞬間撮影のものと似ているが、本質的にはちがうものである。決して先頭がゴールインしたときの瞬間写真ではない。ただこの写真は、ゴールラインに先に入ったランナーが先に写っていることは明瞭である。したがってこの写真により着順の判定

ができるのである。（写真参照）なお写真に記録されている縦線は、スリットを $1/100$ 秒毎に瞬間閉鎖し、露出を遮断することによって生じたものであってゴールラインの代用となる判定線である。この線の1間隔だけ離れて写っているランナーの着差は $1/100$ 秒ということになる。

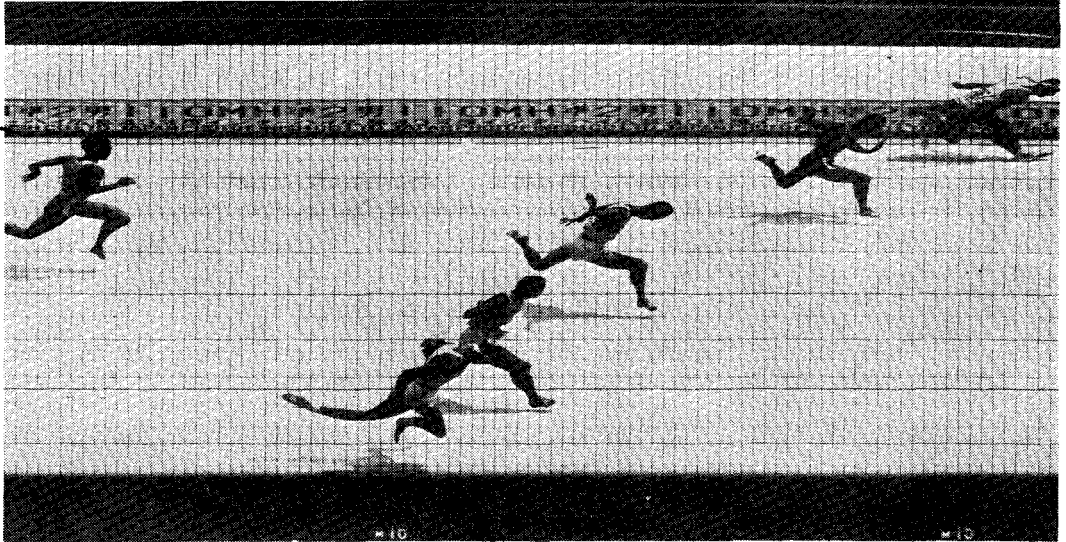
(5) 順位判定の基準

陸上競技では、ランナーの「胴体」のどのような部分でも決勝線のスタート線により近い端を含む垂直面に到着すればよいことになっているので、この判定基準によった

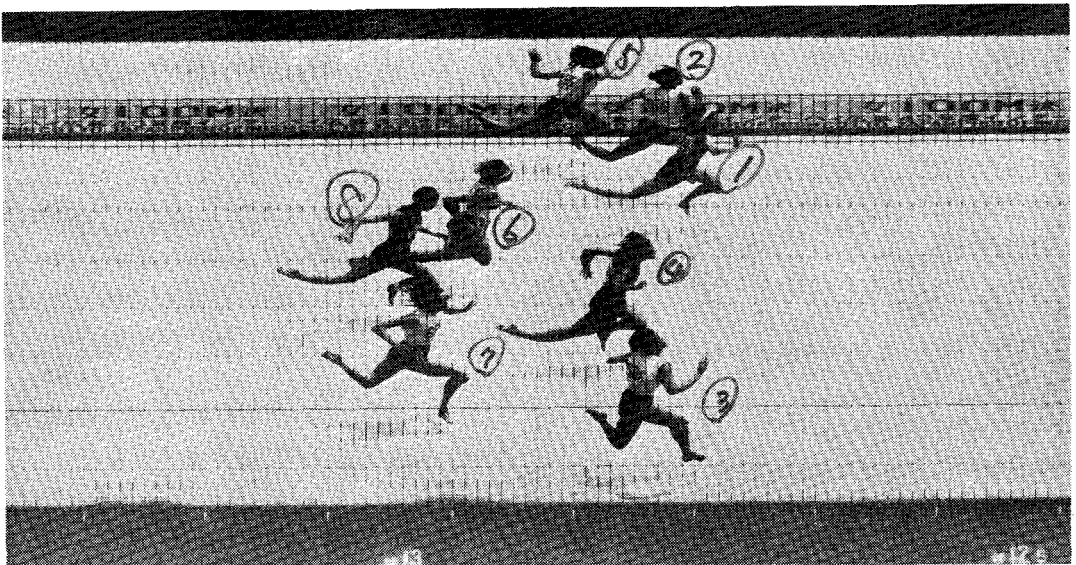
* 胴体とは昭和45年度陸上競技規則によると頭・頸・腕・脚・手・足を含まない部分をいう。胴体と頸の境界は胸骨上部の凹んだ部分と第7頸椎の突起部を結んだ線とし、腕との境界は肩胛骨の外端とする、と規定されている。しかし、昭和43年度までは胴体には、頸を含むと規定されていたので、この資料は、頸を含む判定基準により集計した。



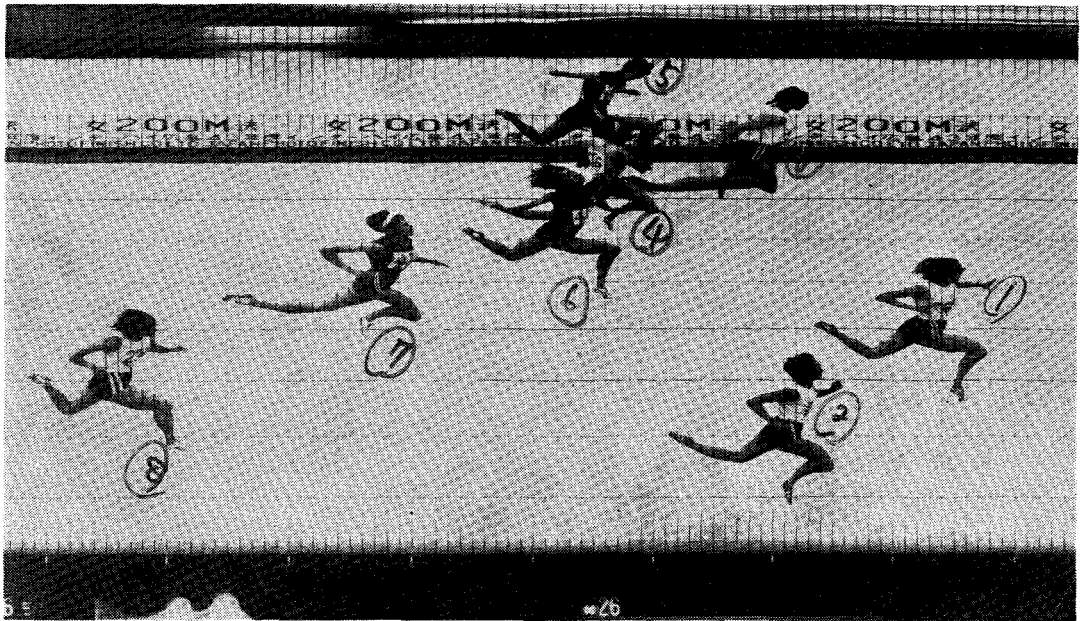
(写真1) 男 100M決勝



(写真2) 男 110MH準決勝2組



(写真3) 女 100M決勝



(写真4) 女 200M決勝

§ 3 結果と考察

(A) 決勝線に最初に到着した胴体の部分について

前記の方法によって写した130組の写真について、決勝線にもっともはやく到着したランナーの胴体の部分について分析した結果が、表1である。これによると男子種目では頸のはやく到着したランナーが57.2%，胸が42.8%であるのに対し、女子では反対に頸が28.1%，胸が71.9%で、決勝線における男女選手のフォームの違いがみうけられ、いずれも有意な差を認めることができた。到着した部分が、頸の場合は決勝線において上体を前傾したフォームにみうけられ、その傾向の強い種目は男子100M・110MH・400MRであった。反対に上体をおこしたフォームは、胸で到着する場合でそれは男子種目では400Mだけ、女子種目では80Hをのぞきその他のすべての種目にその傾向をみることもできた。この到着した胴体の部分の二者の間に差異がなかった種目には、男子200M・200Hと女80Hの3種目であった。

決勝線に到着した胴体の部分の分析結果、各種目間の比較検定をした表が表1の右側部分に示したものである。これは各種目間の決勝線における

競技性質を比較(独立性の検定)したものであって、各種目間に有意な差が認められないものと同じ性質(フォーム)をもった競技種目であると考えた。これによると、特に男100M・110MH・男400MRと、女200Mとは、決勝線のフォームの面からみると、競技種目としてはかなり異質なものであることがわかった。なおその他の種目についてもある程度の関係をそれぞれの種目間にみうけることができたが、さらに明確なグループに区別することはできなかった。

これらのことは「くび」で到着し前傾したフォームの例を写真1(男100M)と写真2(男110MH)にみることができ、写真3(女100M)と写真4(女200M)に胸で到着する例をみるのである。

男女共通に、短距離は接戦のため決勝線における前傾姿勢が多いのであるが、この表の結果では、女200M・女100M・女400MR・男400Mにおいては、決勝線までに全力を出しきってしまい、到着した瞬間に上体を前傾して倒し込み、少しでもはやく到着しようとする力がでなく、全力疾走のままで到着する選手が多いための結果ではないかと考えられる。

表1 決勝線に到着した胴体の部分

種 目	検 査 選手数	胴 体		有意性	種 目 間 の 比 較 検 定 表									種 目
		く	び		200	400	110H	200H	400R	女100	女200	80H	女400R	
男	100	98	72(73.5)	26(26.5)	***	***	***	—	***	—	***	***	***	100
	200	96	45(46.9)	51(53.1)	—	—	***	—	*	***	***	—	**	200
	400	77	26(33.8)	51(66.2)	**		***	—	***	—	**	—	—	400
	110H	93	66(71.0)	27(29.1)	***			**	—	***	***	**	***	110H
	200H	93	45(48.4)	48(51.6)	—				*	***	***	—	**	200H
	400R	92	60(65.2)	32(34.8)	**					***	***	*	***	400R
女	100	97	23(23.7)	74(76.3)	***						—	***	—	女100
	200	93	12(12.9)	81(87.1)	***							***	*	女200
	80H	97	47(48.5)	50(51.5)	—								**	80H
	400R	98	26(26.5)	72(73.5)	***									
男 計		549	314(57.2)	235(42.8)	***									
女 計		385	108(28.1)	277(71.9)	***									

(B) 種目別にみた順位判定の誤りについて

表2は各審判員の判定した資料を、着順判定用写真と比較した結果、その判定を誤っていたものの集計である。誤判定とは他の選手と間違えて判定した場合や、ゼッケン番号を間違えて判定した

場合のことで、無判定とは例えば2着は確認したが3着の選手がわからなかった、という場合のことであり、ともに与えられた審判員の責任である正しい判定のできなかったもので、その誤り判定発生比率は、男子100Mの31.1%を最高に、女100M 17.7%と続いている。これらはいずれも

表2 種目別にみた順位を誤った判定数

判定数		総 判 定 数	正しい判定数	誤 っ た 判 定 数		
種 目				誤 判 定	無 判 定	計 (%)
男	1 0 0	245	154	50	41	91 (37.1)
	2 0 0	232	212	12	8	20 (8.6)
	4 0 0	219	205	11	3	14 (6.4)
	1 1 0 H	235	208	19	8	27 (11.5)
	2 0 0 H	228	205	19	4	23 (10.1)
	4 0 0 R	227	205	12	10	22 (9.7)
	計 (%)	1,386 (100)	1,189 (85.8)	123 (8.9)	74 (5.3)	197 (14.2)
女	1 0 0	215	177	32	6	38 (17.7)
	2 0 0	226	188	26	12	38 (16.8)
	8 0 H	214	184	19	11	30 (14.0)
	4 0 0 R	249	244	5	0	5 (2.0)
	計 (%)	904 (100)	793 (87.7)	82 (9.1)	29 (3.2)	111 (12.3)
合 計 (%)		2,290 (100)	1,982 (86.6)	205 (9.0)	103 (4.5)	308 (13.4)

1/100 秒をあらそう短時間の 接戦種目で、決勝線における順位判定の困難さをうかがうことができる。なお、誤った判定のうち、約 2/3 が誤認判定で、あと 1/3 無判定の傾向がみうけられた。これらは、危険率 5% 以下では、男女により誤判定発生率に差があるとは認められなかった。

(C) 着順別にみた順位判定の誤り発生の状況
 ↳ 順位を判定する場合もっとも困難視される着順

は、3 番 4 番であると推測されてきたが、表 3 の資料の結果からも、ほぼその傾向がみうけられ、正しくない判定の約 70% は 3, 4, 5 番に発生していることがわかった。ここに例示した写真には、いずれにもその傾向がみうけられ、危険率 5% 以下では、男女によりその発生の傾向に差のあることは認められなかった。

表 3 着順別にみた順位判定誤り発生状況

(×誤判定・△無判定)

着 順		1	2	3	4	5	6	7	8	× + △
種 目		× △	× △	× △	× △	× △	× △	× △	× △	
男	1 0 0	2 —	5 1	12 3	16 11	6 10	3 8	5 8	1 —	91
	2 0 0	— —	1 —	4 —	4 3	3 4	— 1	— —	— —	20
	4 0 0	1 —	— —	1 —	2 —	5 —	1 2	1 1	— —	14
	1 1 0 H	— —	4 —	8 —	7 1	— 6	— —	— 1	— —	27
	2 0 0 H	— —	1 —	9 1	8 —	2 2	— —	— —	— —	23
	4 0 0 R	— —	2 —	3 1	4 1	2 1	1 2	— 5	— —	22
	計	3 0	13 1	37 5	41 16	18 23	5 13	6 15	1 0	197
× + △		3	14	42	57	41	18	21	1	
女	1 0 0	4 —	8 —	9 2	9 1	2 1	— 1	— 1	— —	38
	2 0 0	2 —	1 1	6 2	9 2	5 3	2 2	1 2	— —	38
	8 0 H	1 —	3 —	2 6	2 1	6 1	3 1	2 2	— —	30
	4 0 0 R	— —	— —	— —	1 —	3 —	1 —	— —	— —	5
	計	7 0	12 1	17 10	21 4	16 5	6 4	3 5	0 0	111
× + △		7	13	27	25	21	10	8	0	
男 + 女 (%)		10 (3.2)	27 (8.8)	69 (22.4)	82 (26.6)	62 (20.1)	28 (9.1)	29 (9.4)	1 (0.3)	308

(D) 誤り判定発生の要因

〔1〕 走路別にみた順位判定の誤り

表 4 の 1 は、走路別にみた誤り発生の状況を調べたもので、写真判定の結果では、内側コースの選手が決勝線に、はやく到着しているにもかかわらず誤って外側コースを走った選手をはやく到着した、と判定した例が、この表に示すごとく、男女種目とも約 70% 以上みうけられ、人間が順位を判定する場合かなり留意すべき重要なポイントではないかと考えられる。なおこの傾向は男女によ

りその発生率に危険率 5% 以下では差があるとは認められなかった。写真では、男子 100M 決の外側 4 着を 3 着に、内側 3 着を 4 着にし、また外側 7 着を 6 着に、内側 6 着を 7 着に誤って判定し、女子 100M 決では外側 3 着を 2 着に、内側 2 着を 3 着に判定した例をあげることができる。

〔2〕 選手数別にみた判定の誤り

表 4 の 2 は、誤判定が発生した場合に 4/100 秒以内にいた選手の数で大別したもので、2 人で接戦した場合より、3 人以上の混戦に誤り判定の大

表4 各項目別にみた誤り判定発生状況

() 内%

項目 種目	1			2		3		4		計	5		
	走 路 別		選 手 数		時 間 差		フ ォ ー ム		着順見おとし				
	外側有利	内側有利	3人以上	2人	1/100	2/100 以上	上体	手その他	前		後	計	
男	100	46	4	45	5	27	23	42	8	50	6	35	41
	200	10	2	7	5	10	2	5	7	12	0	8	8
	400	8	3	4	7	3	8	6	5	11	1	2	3
	110H	9	10	12	7	6	13	8	11	19	0	8	8
	200H	12	7	6	13	15	4	11	8	19	0	4	4
	400R	8	4	4	8	3	9	5	7	12	2	8	10
	計	93 (75.6)	30 (24.4)	78 (63.4)	45 (36.6)	64 (52.0)	59 (48.0)	77 (62.6)	46 (37.4)	123	9 (12.2)	65 (87.8)	74
	有意性	***		**		—		**			***		
女	100	25	7	30	2	14	18	16	16	32	1	5	6
	200	21	5	16	10	16	10	18	8	26	2	10	12
	80H	9	10	14	5	3	16	6	13	19	2	9	11
	400R	4	1	5	0	1	4	2	3	5	0	0	0
	計	59 (72.0)	23 (28.0)	65 (79.3)	17 (20.7)	34 (41.5)	48 (58.5)	42 (51.2)	40 (48.8)	82	5 (17.2)	24 (82.8)	29
	有意性	***		***		—		—			**		
男女の比較		—		*		—		—		—			

部分が発生していることが明らかになった。男子種目より女子にその傾向のつよいことが検定の結果認められた。

〔3〕時間差別にみた判定の誤り

表4の3はその結果を示したものであるが、男子100Mのフィニッシュにおける1/100秒差ということは長さにして約10cmの差である。この着順の判定を逆転した例が誤判定総数の約半数みうけられたのである。これは人間の判定としてはやむを得ない結果であるかも知れないが、2/100秒以上の誤差をもって到着したにもかかわらず、逆転して判定した例がのこり約50%あったことは審判員の判定技術の未熟によるものだけかどうか、今後検討を加える必要がある。

〔4〕決勝線における選手のフォーム別にみた判定の誤り(表4の4)

着順不利に判定された選手に比較し、頭を前に出し身体を倒し込むようなフォームで到着した場合、それを有利とみた例が男子種目に多くみとめ

られ、女子にはその傾向は約50%にとどまり、残りの半数は、手その他の大きな動作によって見誤りを生じたもので、これは上体を右または左にひねりながら手を大きく肩から前に出したフォームで、女子は特に多くみうけられた。しかし全体的には、やや身体を倒し込む到着の仕方に誤り判定発生傾向をみる事ができた。

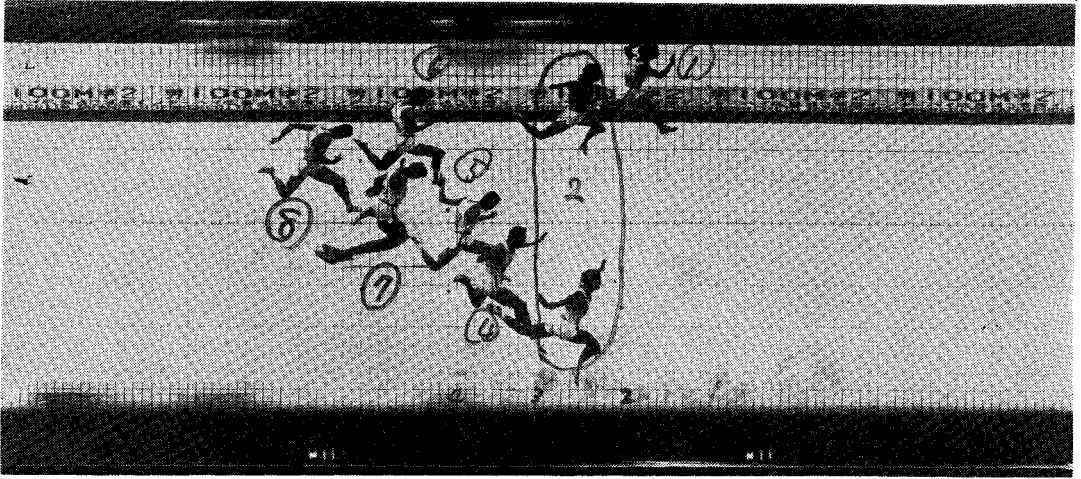
〔5〕着順見おとしの発生、(表4の5)

判定すべき選手を見失って着順判定のできなかった場合で、4着と5着の場合、前者の4着を見失って5着だけに判定したという例は少なく、「見おとし」のほとんどが後から到着した選手を見失ったり、ゼッケンを見落したり、した例で、男女ともほぼ同様の傾向がみうけられた。

〔E〕審判員と判定について

〔1〕審判員の資格と判定についての関係は、上級審判員に誤判定がすくなく、相関係数0.65で、かなりの相関を示し、1%水準で有意であった。

〔2〕審判員の年令と判定については、若い年令



(写真5) 男 100M準決勝

層に誤判定の多い傾向がみうけられ、相関係数は -0.38 で低い相関を示したが、5%水準で有意と認めることはできなかった。

〔3〕審判台上の位置(座席)と誤判定については、ほとんど相関のないことがわかった。

〔4〕審判員は矯正視力0.8以上の者を依頼したので、視力については関係ないことを推測し資料の整理はしなかった。

§5 総括

陸上競技の短距離種目において、約 $1/100$ 秒差の順位を人間が的確に判定することは、かなり高度な技術と訓練を必要とすることが推察できたのであるが、その際主として次のようなことが判断の基準として考慮されるものと考えられる。

(1) 決勝線に到着する選手の胴体の部分に対する認識が各競技種目によって異なり、それぞれその傾向をかなり明確にうかがうことができた。

(2) 着順3, 4, 5番の判定は有能審判員を配置し、できれば予備審判員をもって参考判定をする、などの配慮がのぞましい。

(3) 外側コースを有利に判定する傾向がつよく、決勝線における極端な前傾姿勢やその他の大きな動作に幻惑されて誤判定をおこす傾向がある。

そして、上級審判員に的確な判断が多かったことは、 $1/100$ 秒差の判断がきわめて困難なことであるとはいっても、度々訓練することによって、かなりその判定技術を向上することができるものと考えられる。

なお、写真判定では、写真5, のように同着がありうるが、審判員の判定には同着はありえない。相撲で、同体で落ちてどちらかに軍配をあげなければならない行司の立場と同様である。したがって同着であった場合も審判員の判定は誤判定として集計した。

参考文献

- (1) 小野勝次陸上競技の力学
- (2) 小野勝次スポーツと科学
- (3) マリオン・R・ブローア身体運動の力学
- (4) 古沢一夫 スポーツと体力
- (5) 日本陸上競技連盟 第18回オリンピック大会ハンドブック
- (6) 1956年度版～1970年度版 陸上競技規則
- (7) 岡田泰英 統計
- (8) 日丸哲也 体力統計法

(昭和46年1月8日受付)

むだ時間要素を含む線形制御系の 安定性の解析について

(数 学) 小 池 政 夫 ・ 富 田 豊 ・ 今 井 勲

Analysis on the Stability of Linear Stationary Systems with Time Delay

Masao KOIKE, Yutaka TOMITA and Isao IMAI

In this paper, we wish to analyze the stability of linear stationary systems with time delay. The stability of the system with a fixed time delay is generally considered by means of the root-locus technique.

But, for variable time delays, it is very complicated to consider the stability of those systems by this technique. We have therefore used the parameter-plane technique to analyze the stability of such systems. This technique is clearly superior to the root-locus technique, since the effects of variable time delays and loopgains may be very simply determined.

As examples, we will treat the cases where the system is assumed to be second order with time delay.

§1. 緒 言

一般のおくれをもつ線形制御系の安定性の解析を行なうには Hurwitz-Routh の方法や Nyquist の安定判別法が用いられる。

しかし、むだ時間おくれをもつときは、もはや上記の方法では安定性の解析は困難である。ある一定のむだ時間 T に対しては根軌跡法を用いて安定性の解析を行なうことができるが、むだ時間 T を変化させればその T の値のそれぞれに対してそのつどその解析を行なわなければならない。また、逆に、ゲイン K を指定して、安定となるために許されるむだ時間おくれ T を知ろうとすることはきわめて困難である。

そこで、著者らは parameter-plane 法を用いて、むだ時間要素を含む系の安定性の解析を行ない上記の問題点や困難点を解決し、具体例として、むだ時間要素を含む一般の 2 次おくれ要素をもつフィードバック制御系の安定性の解析を行ない、その安定領域がどのように変化するかを検討した。

§2. 一般的考察

図 1 に示すような、むだ時間 T を含む線形制御系について考える。ここに K をループゲイン、 $N(s)$ 、 $D(s)$ を互いに素の s の有限次多項式とする。このとき、この系の特性方程式は次のように与えられる。

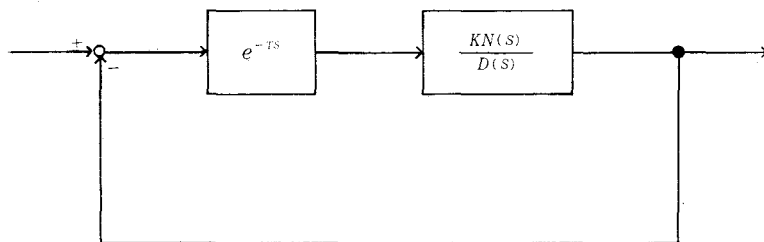


図 1

$$F(s) = D(s) + K \exp(-Ts)N(s) = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$s = \sigma + j\omega \quad (j \text{ は虚数単位}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(2)を $D(s)$, $N(s)$ に代入したものを, それぞれ $\widehat{D}(\sigma, \omega)$, $\widehat{N}(\sigma, \omega)$ で表わし, それらを次のようにおく。

$$\widehat{D}(\sigma, \omega) = R_D(\sigma, \omega) + jI_D(\sigma, \omega) \dots\dots\dots (3)$$

$$\widehat{N}(\sigma, \omega) = R_N(\sigma, \omega) + jI_N(\sigma, \omega) \dots\dots\dots (4)$$

ここに, $R_D(\sigma, \omega)$, $R_N(\sigma, \omega)$ はそれぞれ $\widehat{D}(\sigma, \omega)$, $\widehat{N}(\sigma, \omega)$ の実部, $I_D(\sigma, \omega)$, $I_N(\sigma, \omega)$ はそれぞれ $\widehat{D}(\sigma, \omega)$, $\widehat{N}(\sigma, \omega)$ の虚部を表わす。

同様にして次式を得る。

$$\widehat{F}(\sigma, \omega) = R_F(\sigma, \omega) + jI_F(\sigma, \omega) \dots\dots\dots (5)$$

ただし

$$R_F(\sigma, \omega) = R_D(\sigma, \omega) + \text{Exp}(-\sigma T) \left[R_N(\sigma, \omega) \cos \omega T + I_N(\sigma, \omega) \sin \omega T \right] \dots\dots\dots (6)$$

$$I_F(\sigma, \omega) = I_D(\sigma, \omega) + \text{Exp}(-\sigma T) \left[I_N(\sigma, \omega) \cos \omega T - R_N(\sigma, \omega) \sin \omega T \right] \dots\dots\dots (7)$$

一方, $\widehat{D}(\sigma, \omega)$, $\widehat{N}(\sigma, \omega)$ の極形式が次のように表わされるとする。

$$\widehat{D}(\sigma, \omega) = r_D(\sigma, \omega) \exp \left[j \angle_D(\sigma, \omega) \right] \dots\dots\dots (8)$$

$$\widehat{N}(\sigma, \omega) = r_N(\sigma, \omega) \exp \left[j \angle_N(\sigma, \omega) \right] \dots\dots\dots (9)$$

式(1), (2), (8), (9)より次式を得る。

$$r_D(\sigma, \omega) \exp \left[j \angle_D(\sigma, \omega) \right] = K r_N(\sigma, \omega) \exp(-\sigma T) \exp \left\{ j \left[\angle_N(\sigma, \omega) - \omega T + (2n+1)\pi \right] \right\} \\ (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\dots\dots) \dots\dots\dots (10)$$

絶対値と偏角が等しいことより次の関係式を得る。

$$K = \frac{r_D(\sigma, \omega)}{r_N(\sigma, \omega)} \exp(\sigma T) \dots\dots\dots (11)$$

$$T = \frac{1}{\omega} \left[\angle_N(\sigma, \omega) - \angle_D(\sigma, \omega) + (2n+1)\pi \right] \\ (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots\dots\dots) \dots\dots\dots (12)$$

s -平面上の方向を有する等高線が parameter-平面上の方向を有する等高線に写像されるとき, J(Jacobian) の符号が正(負)なら s -平面の等高線により決定される領域は parameter-平面の等高線に関して同じ(反対)側の領域に写像される。

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial R_F(\sigma, \omega)}{\partial T} & \frac{\partial R_F(\sigma, \omega)}{\partial K} \\ \frac{\partial I_F(\sigma, \omega)}{\partial T} & \frac{\partial I_F(\sigma, \omega)}{\partial K} \end{vmatrix} \dots\dots\dots (13)$$

式(6), (7)により(13)は次のようにかける。

$$J = K \omega \exp(-2\sigma T) r_N^2(\sigma, \omega) \dots\dots\dots (14)$$

ループゲイン K の正の値に対して, J と ω の符号は同じであるから ω が正(負)で, かつ s -平面上のある等高線にそって増加しているとき, その等高線の左側は parameter-平面上の対応する等高線の ω

が増加する方向に関して左側（右側）が対応する。

したがって s -平面の虚軸は parameter-平面上の式 (11), (12) において $\sigma=0$ として得られる等高線に写像されるので, s -左半平面は parameter-平面上の領域 S_n に写像される。したがってこの系の安定領域 S は次のように与えられる。

$$S = \bigcap_n S_n \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (15)$$

§ 3 具 体 例

図 1 において

$$\frac{N(s)}{D(s)} = \frac{1}{s^2 + ps + q} \quad (16)$$

とする。

$$r_N(\sigma, \omega) = 1 \quad (17)$$

$$\phi_N(\sigma, \omega) = 0 \quad (18)$$

$$r_D(\sigma, \omega) = \left[(\sigma^2 + p\sigma + q - \omega^2)^2 + \omega^2 (2\sigma + p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

$$\phi_D(\sigma, \omega) = \tan^{-1} \frac{\omega(2p + q)}{\sigma^2 + p\sigma + q - \omega^2} \quad (20)$$

式(17)~(20) を 式(11), (12) に代入すると次式を得る。

$$K = \left[(\sigma^2 + p\sigma + q - \omega^2)^2 + \omega^2 (2\sigma + p)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \exp(\sigma T) \quad (21)$$

$$T = \frac{1}{\omega} \left[-\tan^{-1} \frac{\omega(2p + q)}{\sigma^2 + p\sigma + q - \omega^2} + (2n + 1)\pi \right] \quad (n=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (22)$$

$\sigma=0$ とおくと

$$K = \left[(q - \omega^2)^2 + p^2 \omega^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

$$T = \frac{1}{\omega} \left[-\tan^{-1} \frac{p\omega}{q - \omega^2} + (2n + 1)\pi \right] \quad (24)^*$$

式(24) より, n を固定 ($n=n_0$) すると ω が正の値をとるとき, T は ω の単調減少関数であり, 負の値に対しては単調増加関数であることがわかる。

式(23)において

$$2q - p^2 \leq 0 \quad (25)$$

のとき, K は ω^2 の単調増加関数となる。したがって $n=n_0$ のとき, 式(23) (24) によって与えられる parameter-平面上の等高線の概形は図 2 のような単調な曲線となる。

$$2q - p^2 > 0 \quad (26)$$

* (註) $\tan^{-1}\{p\omega/(q - \omega^2)\}$ は arctangent の主値ではなく, $-\pi$ から π までの範囲での $N(j\omega)/D(j\omega)$ の偏角をとることにしなければならない。(Loo の解釈には疑問がある。)

のとき, K は極小値をもつから, $n=n_0$ のとき, 式(23), (24)によって与えられる parameter-平面上の曲線の概形は図3のようになる。

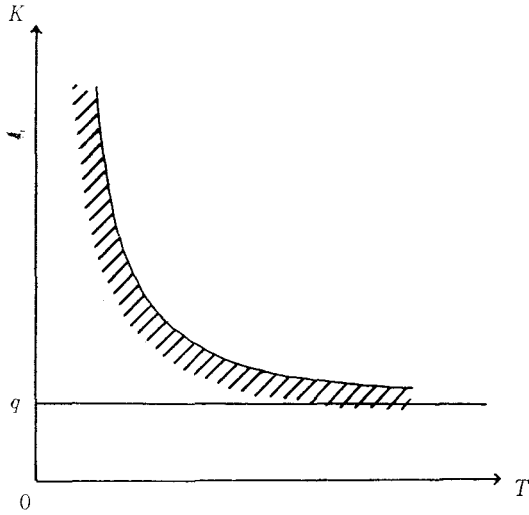


図 2

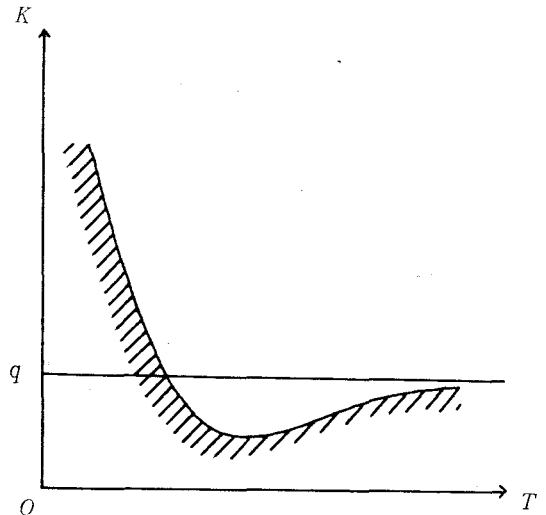


図 3

漸近線はつぎの2式で与えられる。

$$T=0 \dots\dots\dots (27)$$

$$K=q \dots\dots\dots (28)$$

式(28)は式(29)より求められ, 直線 $K=q$ への近づき方は $2q-p^2$ の符号によって定まる。

$$K^2 - q^2 = \omega^2 \{ \omega^2 - (2q - p^2) \} \dots\dots\dots (29)$$

式(14)において $\sigma=0$ とおくと次式を得る。

$$J = K\omega \dots\dots\dots (30)$$

これにより, s -左半平面は図2, 図3における斜線部分に写像される。したがって n を変化させてその共通部分を取ればこのような系の安定領域が得られる。

次に $p=3$, $q=2$ の場合の安定領域を図4, 図6に, $p=1$, $q=1$ の場合を図5, 図7に示す。

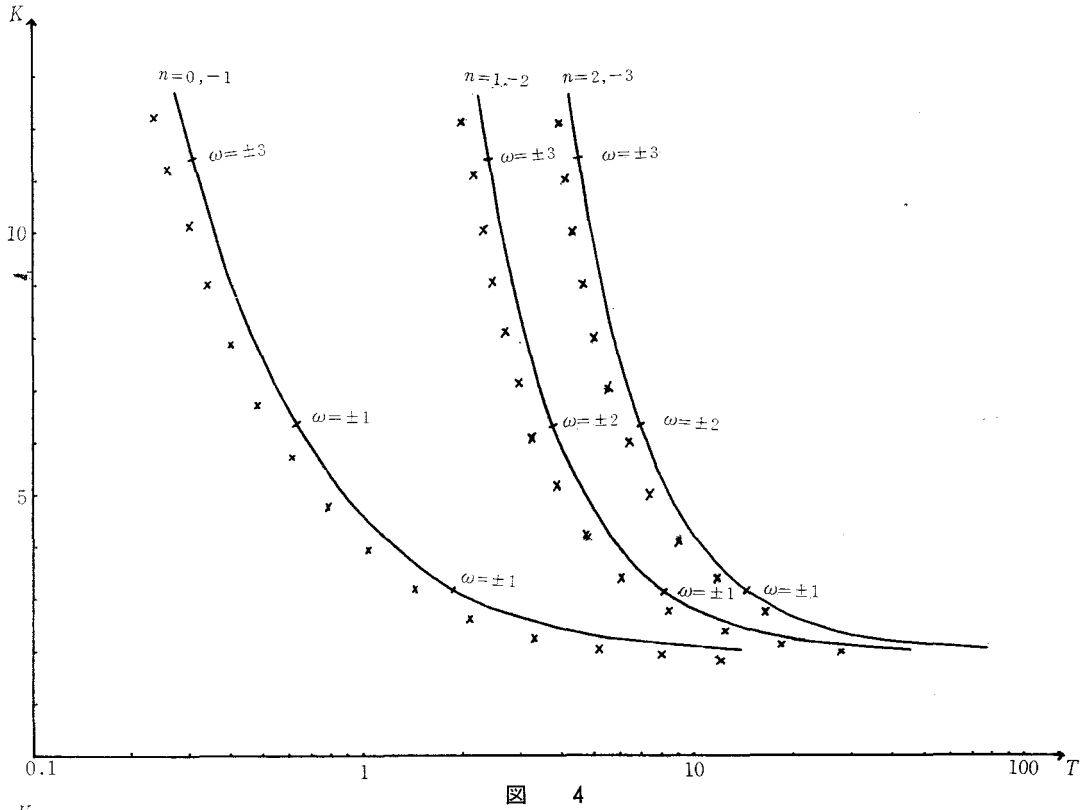


図 4

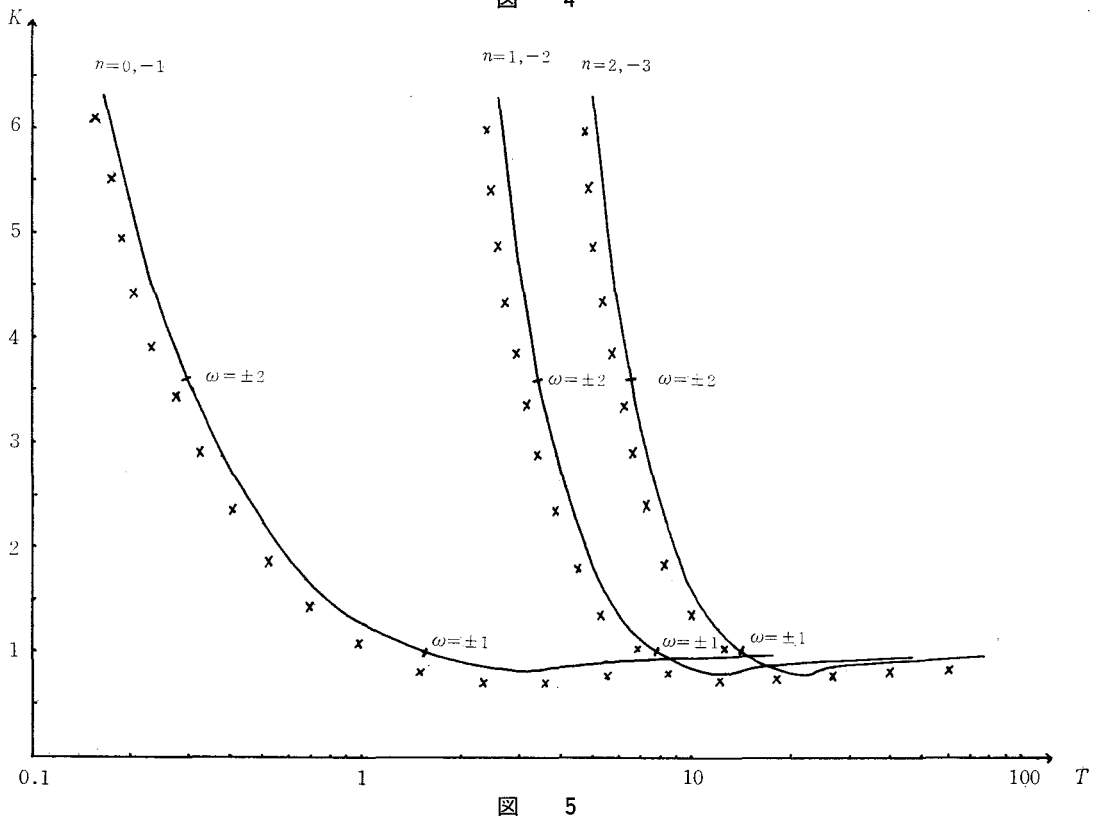


図 5

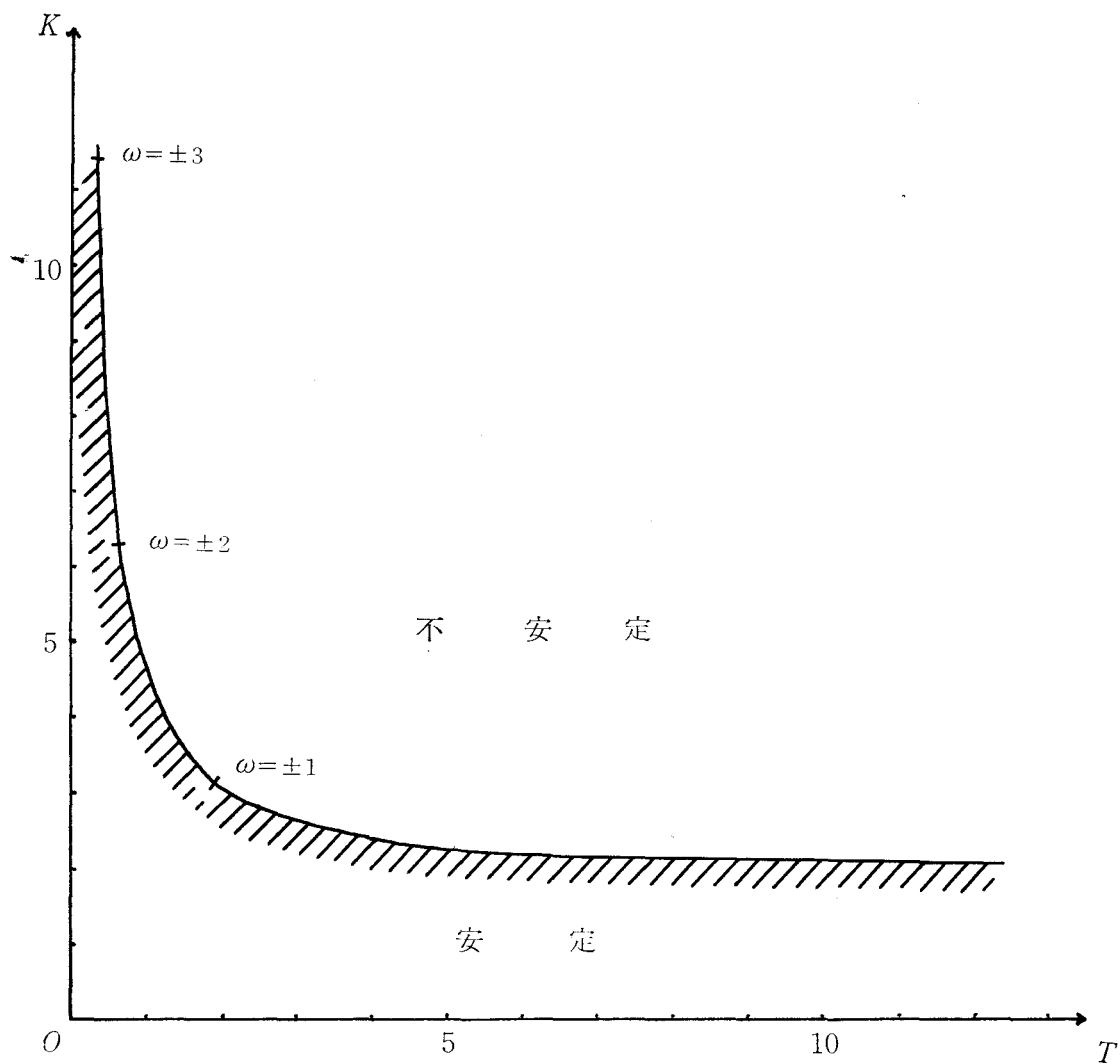


図 6

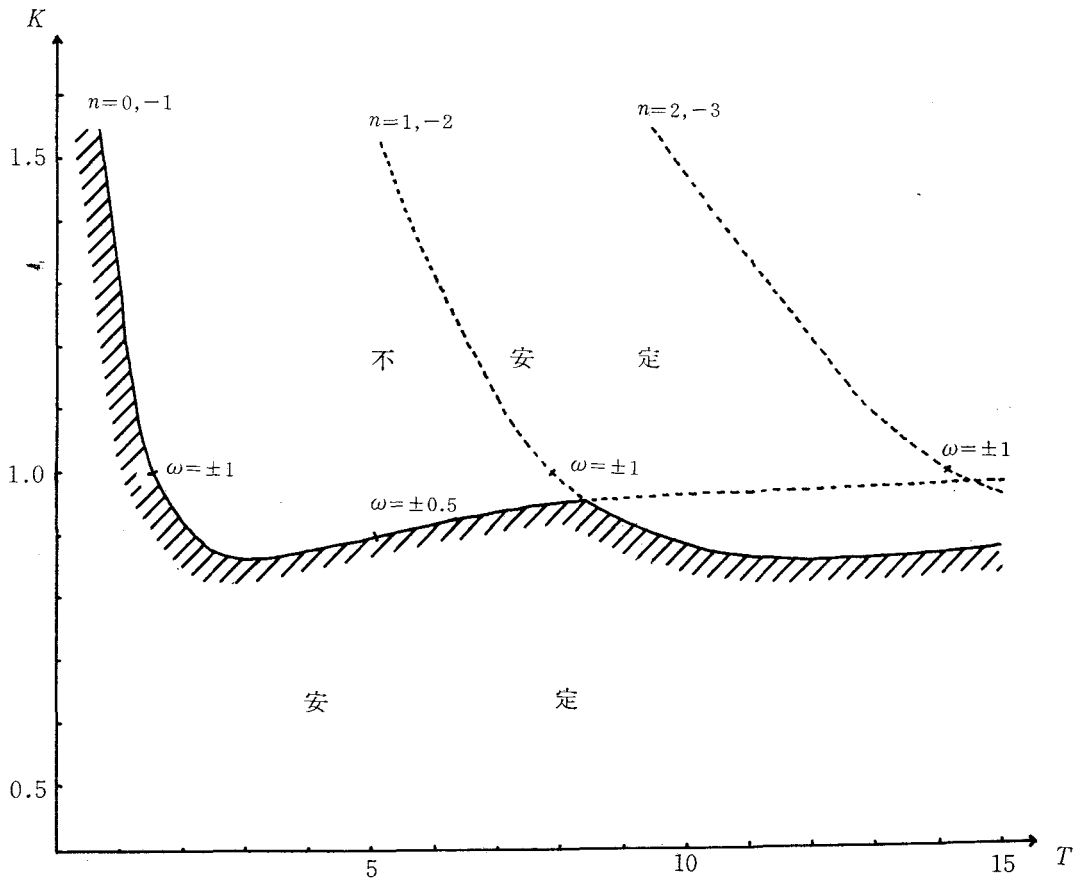


図 7

§ 4 結 言

以上 parameter-plane 法によって、むだ時間 T を含む制御系の安定性の解析を容易に行なうことができた。

今後さらに速応性ならびに高次おくれ系について検討を加えてみたい。

終りにあたり、本研究について、終始ご指導いただいた、徳島大学工学部 添田 喬教授に深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) S. G. Loo : International Journal of control. Vol. 9. No. 1 (1969)
- 2) 榎木義一, 添田 喬 : わかる自動制御 (日新出版)

(昭和46年1月8日受付)

圧延された銅板の粒度と残留応力

(機械工学科) 大 下 隆 章

The Effects of Grain Size of the Rolled Copper Plate on Redidual Stresses

Takaaki ŌSHITA

The following resultants are obtained after the redidual stress testing of the worked copper plate by rolling.

- 1) If the ratio of reduction is small, the deformation of the surface layer of the plate is larger than the deformation at the inner part of it. Therefore, the redidual stress of the surface layer of the plate is compressive and the absolute value of it is large when the grain size of the material is small.
- 2) If the ratio of the reduction is large, the relations between the reduction on surface and the reduction of the inner part of the plate and between the redidual stress and the grain size are reverse to the relation explained in (1).

§ 1 緒 言

金属の切削加工による残留応力の発生は、表面層だけの加工による変質、塑性変形、発熱などがその主因で、金属内部の変形はない。一方、圧延、押し出しなど塑性加工により製品とする場合は、金属の表面のみでなく、内部も変形して硬化する。また変形量は表面からの深さに応じて異なり一様でない。このために残留応力を生ずるようになる。

金属の降伏強さが Petch の式 $\sigma = \sigma_0 + Ad^{-\frac{1}{2}}$ であたえられれば、圧延の場合の変形抵抗も結晶粒度によって異なる、又変形状態も粒度によって異なり残留応力の分布にも差異を生じることになる。一方大久保氏が歪をうけた銅材は結晶粒が大きいほど応力集中が大きいことを報告しているように¹⁾、結晶粒度によって残留応力は異なることになる。熱処理によって結晶粒の異なる2種類の銅板を作製して、これを圧延し、残留応力と組織の関係を検討した。

§ 2 試料と実験方法試料

(a) 試 料

試料は市販の電気銅板を使用した。せん断によって切り出した板材を 50% HNO_3 の水溶液中で腐食すれば写真1のようである。せん断の際に生じる側辺に直角方向の残留応力によって応力腐食が促進されたことをよく示している、このように試料は熱処理後に加工することを許されないので、せん断、フライス加工によって $4 \times 40 \times 40 \text{ mm}$ の板材を切り出した。結晶粒の大きさを変えるために、700°C に加熱後空冷した。700°C の保持時間は 30 分と 90 分の2種である。(以下30分保持のものをA材、90分保持のものをB材という)。写真2に組織を示す。

結晶粒度は ASTM 規格によって測定し $D = \frac{1}{\sqrt{N}}$ で表示すると A 材は 0.0078 mm 、B 材は 0.011 mm である。焼鈍後 HNO_3 に

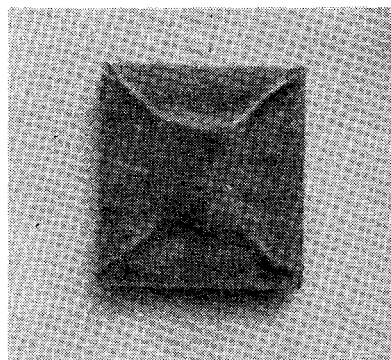
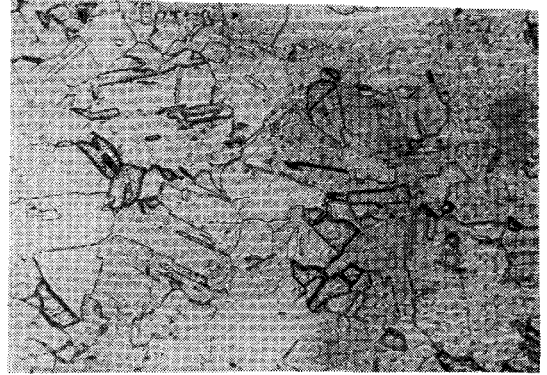


写真1 せん断材の腐食



700°C 30min 焼鈍 ×150



700°C 90min 焼鈍 ×150

写真2 試料の組織

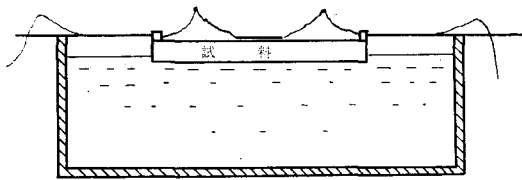


図1 試料の腐食

よって表面の酸化膜を除去して圧延する，加工度は板厚の減少率で示した。また圧延機のロール径は54mmロール周速は1.7m/secである。

b) 応力測定， 圧延された試料は板材の加工方向とそれに直角な方向の歪が測定できるように板材の上面にストレインゲージを貼り耐酸塗料を塗った。下面は図1のように25%の HNO_3 水溶液中で腐食した。

図2はA材の加工度2%の場合の腐食時間と腐食した板厚の減少量の関係を示す。表面下0.35mmまで勾配が急であり，残留応力が腐食を促進していることを示している。

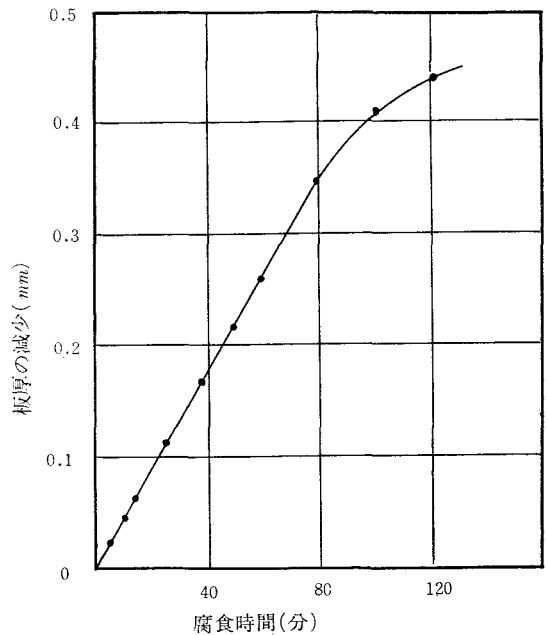


図2 腐食時間と板厚の減少

残留応力の算出は，腐食による歪の変化と試料の重量減を化学天秤で測定して，板厚の減少と曲率の変化から次式によって求めた。

$$\sigma_x = \frac{E(h-a)^2}{6(1-\mu^2)} \left\{ \frac{d\left(\frac{1}{\rho_x}\right)}{da} + \mu \frac{d\left(\frac{1}{\rho_y}\right)}{da} \right\} - \frac{2E(h-a)}{3(1-\mu^2)} \left(\frac{1}{\rho_x} + \mu \frac{1}{\rho_y} \right) + \frac{E}{3(1-\mu^2)} \int_0^a \left(\frac{1}{\rho_x} + \mu \frac{1}{\rho_y} \right) da \right\} \dots (1)$$

$$\sigma_y = \frac{E(h-a)^2}{6(1-\mu^2)} \left\{ \frac{d\left(\frac{1}{\rho_y}\right)}{da} + \mu \frac{d\left(\frac{1}{\rho_x}\right)}{da} \right\} - \frac{2E(h-a)}{3(1-\mu^2)} \left(\frac{1}{\rho_y} + \mu \frac{1}{\rho_x} \right) + \frac{E}{3(1-\mu^2)} \int_0^a \left(\frac{1}{\rho_y} + \mu \frac{1}{\rho_x} \right) da \right\} \dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho_x} &= \frac{2\varepsilon_x}{h-a} \\ \frac{1}{\rho_y} &= \frac{2\varepsilon_y}{h-a} \end{aligned} \right\} \dots$$

こゝで σ_x : 長手方向の残留応力 Kg/mm^2
 σ_y : 横方向の残留応力 Kg/mm^2
 E : ヤング率で $1.25 \times 10^4 Kg/mm^2$
 とした
 μ : ポアソン比で 0.34 とした
 h : 試料の厚さ mm
 a : 厚さの腐食による減少量 mm
 ε_x : 長手方向の歪
 ε_y : 横方向の歪
 $\frac{1}{\rho_x}$: 長手方向の曲率
 $\frac{1}{\rho_y}$: 横方向の曲率

§ 3 結果と考察

図 3, 図 4, 図 5, 図 6, は A 材, B 材に対して加工度を 2% と 5% にした場合についての残留応力の分布を示す。A 材の加工度 2% のものは表面に引張残留応力を生じるが, 同一加工度でも粒度の大きい B 材では圧縮残留応力となっている。加工度が同一であっても結晶粒度によって圧延による変形の様子が異ってくる。図 7 は板材が圧延される時の変形の様子を示すものである。被加工物が硬質で変形抵抗の大きい場合や, 軟質でも加工度の小さい場合には, (a) 図のように板の表面で塑性変形量が最大であり, 中心部まで変形が達していない。しかし被加工物が軟質で変形抵抗の小さい場合や, 硬質材でも加工度の極めて大きい場合には, (b) 図のように変形は中心部に達する。(a) では表面層は

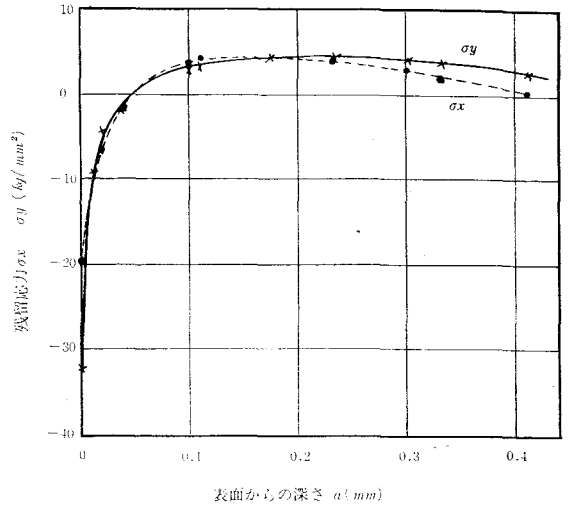


図 3 700°C 30min 焼鈍 加工度 2% の残留応力分布

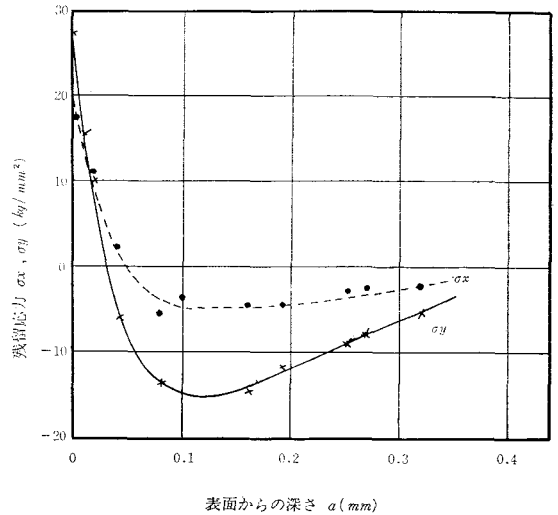


図 4 700°C 30min 焼鈍, 加工度 5% の残留応力分布

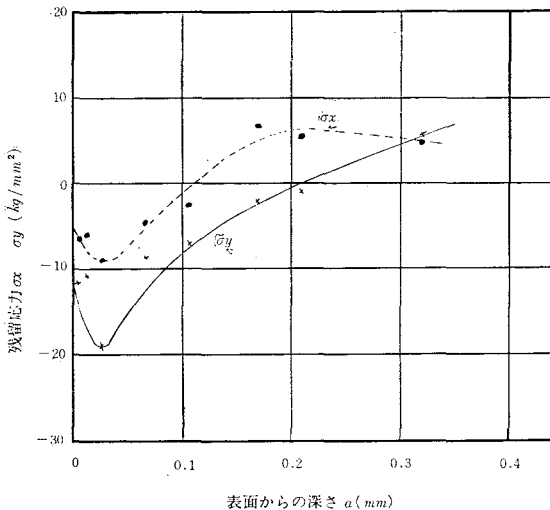


図 5 700°C 30min 焼鈍, 加工度 2% の残留応力分布

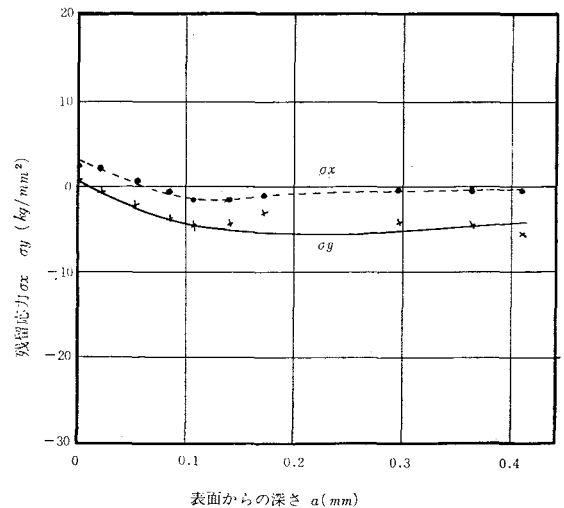


図 6 700°C 90min 焼鈍, 加工度 5% の残留応力分布

塑性ひずみにより長さが伸びるが中心部は長さの変化がない。表面層は中心部を伸ばそうとして中心部に引張残留応力を生じさせ、中心部は表面層を押し縮めようとして表面層に圧縮残留応力を発生させる。(b)では表面部部ロールと接触しているためにかえって塑性変形に制限をうけて、表面部の摩擦力よりも中心部のせん断抵抗が小さくなるので中心部の方が塑性変形量が大きい。この場合は中心部は表面層のために圧縮残留応力を生じ、表面層は中心部のために引張られて引張残留応力を生じる。このように塑性変形の到達深さによって残留応力の分布は逆になる。

図3はA材で加工度2%の場合、図4はA材で加工度5%の場合であるが、応力分布は逆になっている2%のものは図7(a)のように5%のものは図7(b)のように変形したことを示している。このことはB材について示した図5、図6についても同様である。

図8はB材の加工度2%と5%の場合の表面層の硬度変化と表面からの深さの関係を示したものである。図示のように加工度5%のものは深くまで大きな変形をして加工硬化しているが加工度2%のものは表面層における硬度変化は急激であるが硬化層の深さは浅い。したがって残留応力は2%の場合が大きい。

2物体が弾性的に線接触しているとき、せん断応力説、あるいはせん断ひずみエネルギー説によると比較応力は表面からある深さだけ内部に入ったところで極大となる。したがってこれらの応力の大小によって塑性変形量が決定されるため、表面からある深さのところでは残留応力や硬度分布が最大値を示すことが考えられ図5はこの場合に相当するが本実験では必ずしも一致しない。

写真3、写真4は結晶粒の小さいA材と、結晶粒の大きいB材の側面に基準線を作り圧延したものの基準線の傾きによって表面から内部までの加工による変形の様子を知らうとしたものである。同一加工度でありながらA材は表面層と内部の変形量に大きな差が認められるが、B材はその差がA材に比べて小さくその変形の状態は図9のようになっているものと考えられる。このためA材の残留応力はB材の残留応力よりかなり大きい。結晶粒が微細で結晶粒界のもつ全体積に対する比率が大きければ粒界が塑性変形に対する抵抗となり応力伝播の範囲が小さくなるが、結晶粒の大きいものは粒内における変形量が大きくなり、変形の伝播範囲が大きくなる、したがって圧延のように塑性変形が内部

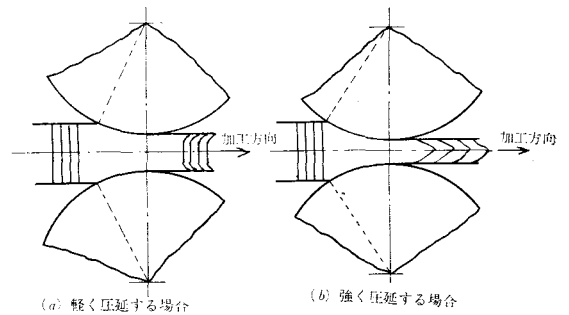


図7 板材の圧延と変形

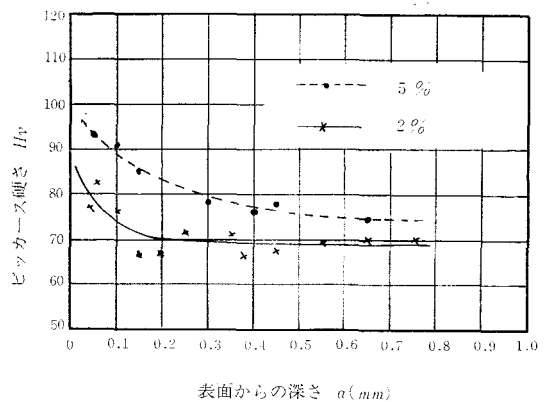


図8 700°C 90min 焼鈍、加工度2%、5%の硬度分布

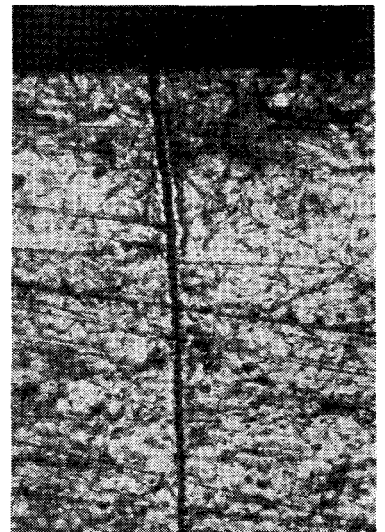


写真3 700°C 30min 焼鈍
加工度5%

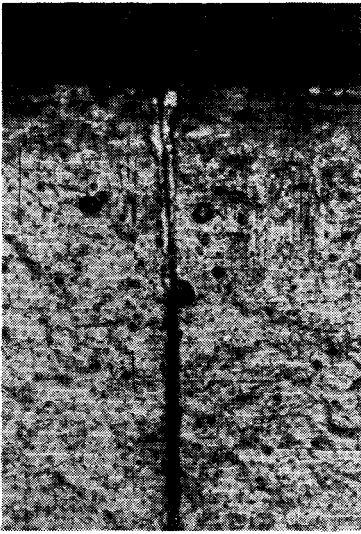


写真4 700°C 90min 焼鈍
加工度 5%

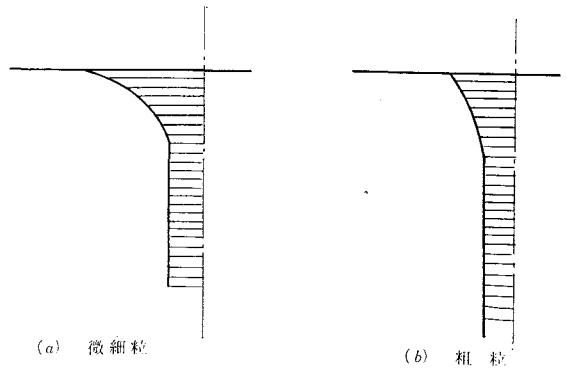


図9 粒度と変形の関係



写真5 $a=0.03\text{mm}$ $\times 400$



写真6 $a=0.07\text{mm}$ $\times 400$



写真7 $a=0.11\text{mm}$ $\times 400$

にまで及ぶものは同一加工度の場合に微細結晶の方が大きな残留応力を生じるようになる。

写真5, 写真6, 写真7は, A材で加工度2%の表面層の組織変化を示したものである。図中 a は表面からの距離を示している。

1つの結晶粒の中では同一の方向に迂り変形した様子がみとめられる。また双結晶においては結晶粒界で方向を変え次の結晶内まで迂り変形が続いたことを示している。

写真8は圧延後化学研磨を行ってすべり面の異なる結晶粒界の様子を示したものであるが結晶粒の異なるものが異なった方向に迂り変形している。

写真9はA材加工度2%の場合のレプリカ法による電子顕微鏡写真である。これによると粒界の近くは部分的に隆起を生じておる特に三重点附近においてこの隆起が大きい, Tolanski と Holden²⁾ が干渉法を利用して純アルミニウムの迂りによる凹凸の高さを5Åの精度で測定した。これによると, 変形量が

ごくわずかな場合に粒界近傍のすべり量は 150Å であるのに対して、粒内では 1800Å に達することを観察している。また R. L. Aston⁸⁾ などによって結晶粒界近傍よりも結晶粒内の方が凹凸の大きいことを報告している。一方 M. G. Lozinsky 等は 0.03% C 炭素鋼の粒界近傍と内部の硬度測定をして粒界近傍が硬度が高いことを報告している。したがって本実験のように結晶粒の異なるものを変形させる場合に結晶内部がら変形が始まり粒界に集積するとすれば結晶粒の大きいものが被加工物の中心部近くまで変形することになる。

§ 4 結 言

結晶粒度の異なる電気銅板を圧延加工して組織と残留応力の関係を検討して次の結論をえた。

- 1) 加工度が小さく、表面の変形が内部の変形より大きい場合は、表面に圧縮残留応力を生じその絶対値は結晶粒の小さいものが大きい。しかし加工度の大きい場合は内部の変形が表面の変形より大きくなって表面に引張残留応力を生じる。
- 2) 同一加工度であれば、加工後の表面層と内部の変形の差は結晶粒が小さい方が大きく残留応力を結晶粒の小さい方が大きくなる。

この研究に本校千田義裕氏、日立造船、吉田卓史氏の協力をえたことを感謝します。

参考文献

- 1) 大久保, 村上, 細野: 機械学会論文集, 28. (1962), 77,
- 2) S. Tolanski, J. Holden : Nature 164, (1949), 754.
- 3) R. L. Aston : Proc Camb. Phil Soc 23, (1926) 549.
- 4) M. G. Lozinsky, Valentina : A. C. T. A. Metalurgica 12 (1964) 1255.

(昭和46年1月8日受付)



写真8

圧延によるり

×500



写真9

粒界の凹凸

×400

平面研削された S 45 C の粒度と残留応力

(機械工学科) 大 下 隆 章

The Effects of grain Size of the Grinded S45C on Redidual Stresses

Takaaki ŌSHITA

It is important to examine the influence of the structure of material on the redidual stress of material.

The following resultants are obtained after the redidual stress testing of the worked pieces of S45C with different grain size by surface grinding.

1) If the cutting depth is shallow and the surface temperature of the material is low, the larger the grain size is, the larger the residual stress is.

2) If the surface temperature of the material is so high as to be above the transformation point of material, the surface of the material is deformed by plastic flow, therefore, the residual stress becomes small when the grain size is large.

§ 1 緒 言

加工材は加工時の塑性変形や温度上昇などに原因されて加工変質層ができる。加工変質層は内部と金属組織的にも、金属結晶学的にも異なる性質をもっている。表層部にある数 10 Å 程度の厚さの非結晶質層と、その内部にある塑性変質層から成り立っている。これ等の層は内部に比べて長さの変化を生じ残留応力発生の原因となる。

研削による加工層は、熱作用と、砥粒による切削作用によって引張残留応力を生じ、バニッシン作用によって圧縮残留応力を生じる。その結果これらの応力の総合応力が残留応力となるので、表面層には加工方向に引張残留応力、横方向に圧縮残留応力を生じる。残留応力は疲労強度の減少、経年変化、また腐食増進の要因となる。残留応力の問題はその多くが、砥石や加工法の見地から論じられており材料の組織面から論じたものは少い。さきに旋削された S 45 C の組織と残留応力の関係について検討して、結晶粒の大きいものが残留応力も大きいことを報告したが¹⁾、本報告では、研削の場合について金属の結晶粒と残留応力の関係を検討する。

§ 2 試料と実験方法

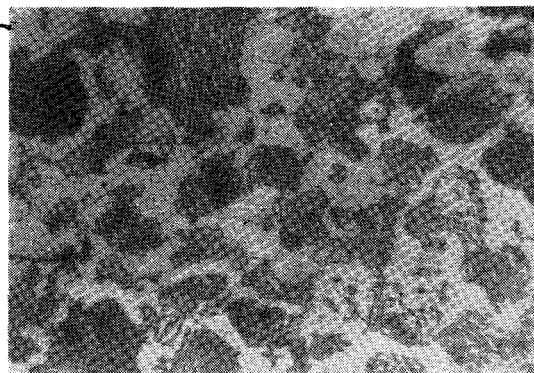
a) 試 料 試料は市販の S 45 C を用いた。その化学組成を表 1 に示す。試料は結晶粒度を変えるために、900°C で 1 時間加熱後に空冷したものと、炉冷したものの 2 種類を作製した。その機械的性質を表 2 に、組織を写真 1 に示す。

表 1 試 料 の 化 学 組 成

成 分	C	S _i	M _n	P	S	C _u	N _i	C _r
%	0.47	0.25	0.66	0.16	0.14	0.03	0.02	0.01

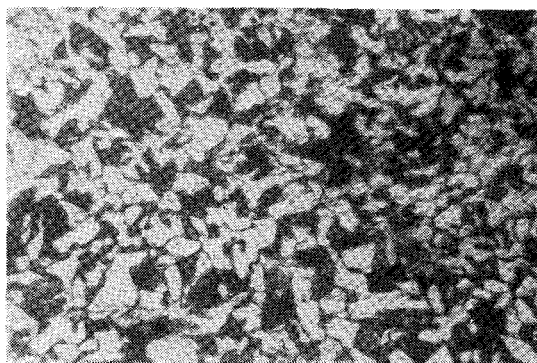
表2 試料の機械的性質

	降伏応力 Kg/mm^2	公称引張 強さ Kg/mm^2	真の引張強さ Kg/mm^2	伸 び 率 %	絞 り 率 %
9 A	39.7	65.6	125.6	30.0	56.4
9 F	35.3	61.7	119.4	30.0	55.7



900°C 1 h 加熱炉冷

×400



900°C 1 h 加熱空冷

×400

写真1 試料の組織

以下空冷したものを9 A, 炉冷したものを9 F材と呼ぶ。

b) 研削条件 研削時の温度上昇による熱作用は表面に引張残留応力を生じるようになるので試料面の温度上昇ができるだけ均一であることを目的として乾式研削の方法を採用した。また切込み量は理論上表面粗さに無関係とされているが, 荒研削では切込み量を増すと切刃のそろいが悪くなったり, 機械振動が増したりして表面粗さが大きくなる。この点を考慮して切込み量は 50 μ 以下とした。研削条件を表3に示す。

表3 研削条件

砥 石						回 転 数	テーブル 縦 送 り	テーブル 横 送 り	切込み量
砥 粒	結 合 剤	粒 度	結 合 度	組 織	直 径	r. v. m	m/min	mm	μ
WA	V(05)	60	K	m(8)	210	3670	30	0.7	10. 30. 50.

c) 残留応力の測定 研削後の試料寸法を $3 \times 15 \times 50^{mm}$ として片面にストレンゲージを貼りつけその上に耐酸塗料を塗付して, 20% HNO_3 中で腐食しながら, 長手方向と横方向の歪を測定して次式により残留応力を求めた。この際腐食による試料の厚さの減少は腐食による重量減少を求め算出した。

$$\sigma_x = \frac{E(h-a)^2}{6(1-\mu^2)} \left\{ \frac{d\left(\frac{1}{\rho_x}\right)}{da} + \mu \frac{d\left(\frac{1}{\rho_y}\right)}{da} \right\} - \frac{2E(h-a)}{3(1-\mu^2)} \left(\frac{1}{\rho_x} + \mu \frac{1}{\rho_y} \right) + \frac{E}{3(1-\mu^2)} \int_0^a \left(\frac{1}{\rho_x} + \mu \frac{1}{\rho_y} \right) da \dots\dots\dots (1)$$

こゝで σ_x : 長手方向の残留応力 Kg/mm^2

E : ヤング率で $2.1 \times 10^4 Kg/mm^2$ とした。

μ : ポアソン比で 0.3 とした。

h : 試料の厚さ mm

a : 厚さの腐食による減少量 mm

$\frac{1}{\rho_x}$: 長手方向の曲率
 $\frac{1}{\rho_y}$: 横方向の曲率

曲率 $\frac{1}{\rho}$ と歪の ε の間には

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI} = \frac{2\varepsilon}{h} \dots\dots\dots (2)$$

の関係があるから本実験の場合

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{\rho_x} &= \frac{2\varepsilon_x}{h-a} \\ \frac{1}{\rho_y} &= \frac{2\varepsilon_y}{h-a} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

となる。また $\int_0^a \left(\frac{1}{\rho_x} + \mu \frac{1}{\rho_y} \right) da$ は a を横軸にした $\frac{1}{\rho_x}$, $\mu \frac{1}{\rho_y}$ のグラフを書き $0 \sim a$ の範囲で書かれる部分を切り取り、その紙片の重量を化学天秤で測定して算出した。

§ 3 結果と考察

切込み量 10μ , 30μ , 50μ のときの σ_x の変化を図 1, 図 2, 図 3 に示す。これによると、切込み量の少い 10μ の場合でも 9 A 材で 18 Kg/mm^2 , 9 F 材では 45 Kg/mm^2 に達する引張残留応力を生じている。切込み量を増すと次第に σ_x の値も大きくなり 50μ の切込み量では、9 A 材で 65 Kg/mm^2 にまで達している。切込み量が増すにつれて、次第に塑性変形度が増すと同時に、熱応力の影響も大きくなる。そのため切込み量の増加とともに残留応力は増加し、ついにはその材料の引張強さに近づく。

切込み量の少い 10μ , 30μ では結晶粒の大きい 9 F 材の残留応力が大きく、切込み量の大きい 50μ の場合は結晶粒の小さい 9 A 材の方が残留応力は大きい。また応力分布の勾配は結晶粒の小さい 9 A 材の方がゆるやかである。さきに報告した旋削の場合も結晶粒の大きいものが残留応力は大きかった。切込み量の少いときは、研削と旋削で残留応力と結晶粒の大きさとの関係が同一の傾向をもち、切込み量が大きくなってこの関係を保ち得ないことは、研削に際して発熱による温度上昇が残留応力に大きく関係すると考えられる。加工時の発熱量が極めて大きいときは、加工層の硬度変化は切込み量の少い

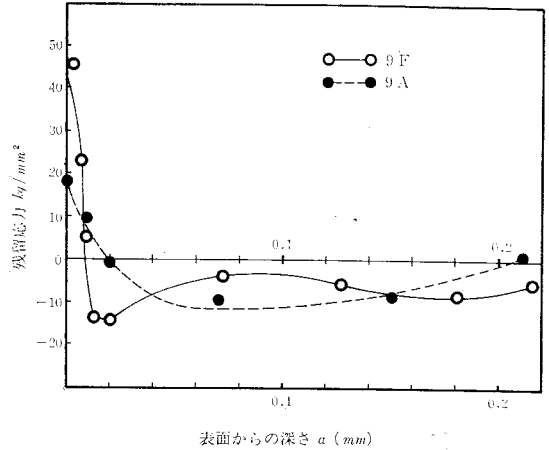


図 1 切込み量 10μ のときの残留応力分

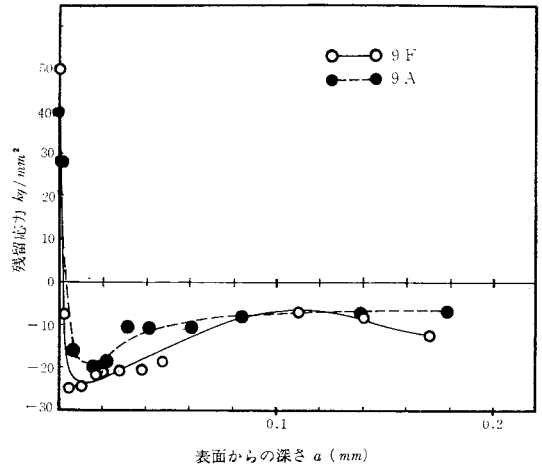


図 2 切込み量 30μ のときの残留応力分布

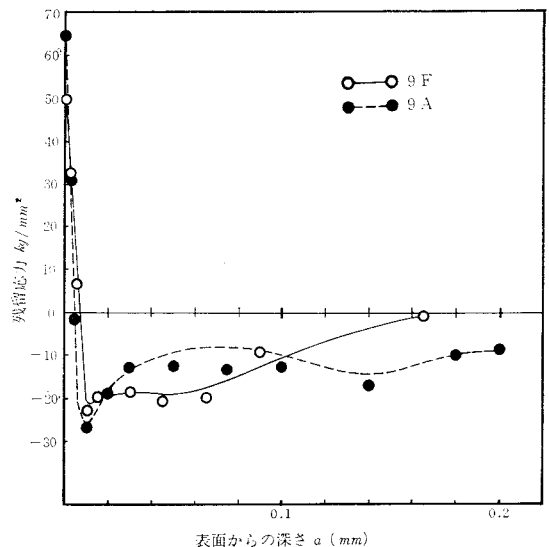


図 3 切込み量 50μ のときの残留応力分布

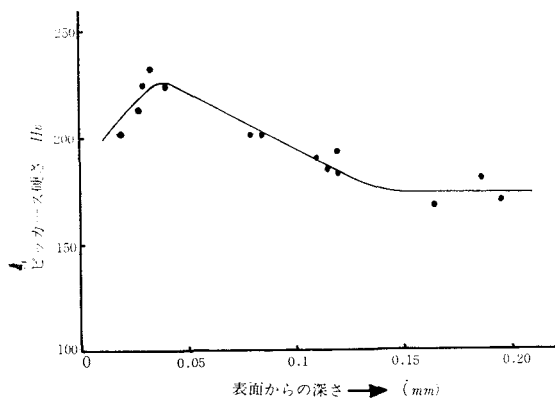


図4 切込み量 50μのときの硬度分布

ものと異なる。このため研削表面の硬度変化を測定して図4に示した。図4は切込み量50μの場合であるが、表面下0.04mmまでは表面に近いほど低い硬度を示している。

加工面に与えられた瞬間熱源による研削点温度は、 $\theta \propto A^{0.63}$ (θ は研削点温度、 A は切込み量)であるから表面温度は切込み量の増加によって上昇することが知られている²⁾。このことから研削点温度は切込み量50μの場合に変態点を越えたことが考えられる。表面下0.04mmの硬度変化はオーステナイト相、またはオーステナイトとフェライトの共存する領域で加工され加工による硬度への影響が小さいことを示している。

鋼の温度が変態点に近づけば原子間の結合力は小さくなる。このため変態点に近い温度における変形は流動的要素の影響が大きくなる。写真2は9 A材の切込み量50μの場合の断面を示す。加工によって表面層が加工方向に引張られ塑性変形を生じている。その深さは約0.01mmである。硬質のパーライトと軟質のフェライトが共存する組織が外力を受ければ、変形は主としてフェライト相によって受け持たれる。このため移動はフェライト相から始まる。この様子は写真2によって理解できる。

写真3は表面層の組織を加工材に垂直な方向からみたものである。表面下0.001mmのものは試料からすくい上げられるような状態で変形し塑性流動の様子を示している。また表面下0.01mmのものではフェライトの結晶中に加工による

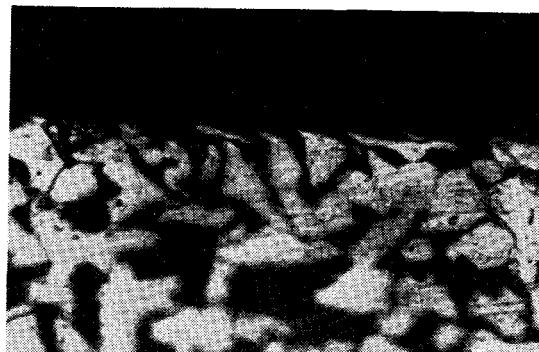
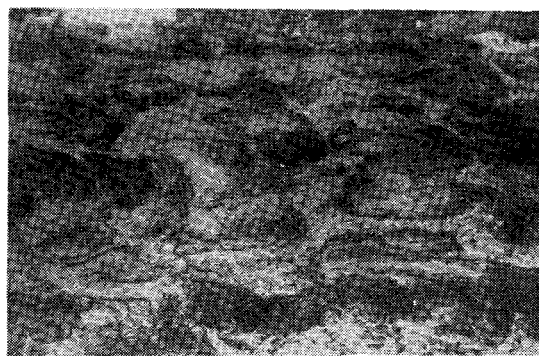


写真2 900°C 1 h加熱空冷材の研削加工による表面層の変形 ×1000



表面下 0.001mm



表面下 0.005mm



表面下 0.01mm

写真3 表面からの深さによる組織の変化×400

迂り線（スラリ）の交線が加工方向と直角にみられる。

写真4は表面を研磨後腐食して検鏡可能にしたものを10%の歪を生ずるまで引張ったものである。これによるとパーライトの部分にもわずかに迂り線が認められるが、フェライト相には極めて多くの迂り線が認められる。変形の初期においては主としてフェライト相が変形する。以上のことから研削中の変形は丁度旋削における切りくずの変形のように図5の状態と考えられる。またその変形は表面ではパーライト相も、フェライト相も一様に流動するが内部における変形は主に軟質なフェライト相によってなされる。

残留応力の発生は加工時に生じた表面層の長さの変化を元にかえそうとする、塑性変形部分と弾性変形部分の復元力によって生じる。

Nabarro³⁾はせん断応力 τ が働いている場合に平均粒径 d をもった結晶粒1個の中にある転位源から発生し得る転位の数を次式により計算している。

$$n = \frac{k\pi d}{4Gb} \tau \dots\dots\dots (4)$$

k は刃状転位の場合1、らせん転位の場合は $1-\nu$ (ν はポアソン比)に等しい係数で、 G 、 b はそれぞれ剛性率およびバーガス、ベクトルである。したがってすべり線1つ当りのすべり量は、結晶粒径に比例することになり、粒界が互に近接するにつれて減少することになる。

また(4)から nb は、

$$nb = \frac{k\pi d}{4G} \tau \dots\dots\dots (5)$$

となり粒径が大きければ1つの結晶粒がうける変形量が大きくなることになる。外力のために生じる転位が粒界まで移動してしまえば復元力に関係しなくなる。外力を受けた状態で結晶粒内に貯えられた格子歪によるエネルギーが復元力の主因であろう。したがって粒径の大きいものが大きな残留応力を発生する。

加工時の発熱によって材料の温度が上昇すれば結晶粒界、結晶粒内の強さは図6のように粒内の強さより小さくなり、加工時の変形は主として粒界すべりによってなされる。このため低温時の残留応力とは異なるものと考えられるがなお検討の必要がある。



$\varepsilon = 100\%$

$\times 1000$

写真4 変形による迂り線

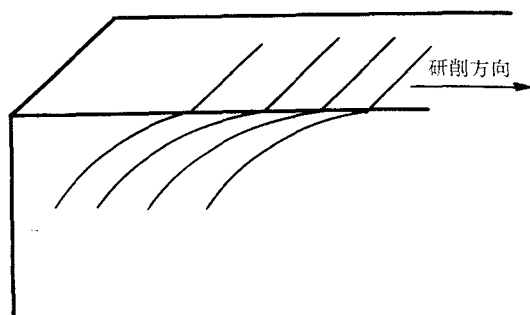


図5 研削加工による加工材の変形

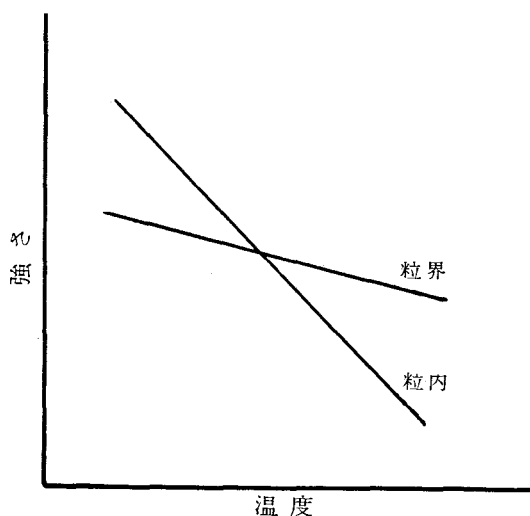


図6 粒界、粒内の強さの温度との関係

§ 4 結 言

結晶粒の異なる S45C 材の平面研削による残留応力を検討して次の結論を得た。

- 1) 切込み量が少なく、研削表面の温度が低い場合は、結晶粒の大きい程残留応力は大きい。研削表面の温度が変態点以上に高くなると、表面は塑性流動による変形をし、結晶粒の大きいものが残留応力は小さい。
 - 2) 残留応力の表面層における変化は、結晶粒が小さい方が小さい。
 - 3) 結晶粒の大きいものが、各結晶粒内の歪量も大きく、外力が除去されたときの復元力も大きい。
- この研究で本校千田義裕氏、日立プラント立上寿三氏の協力をえたことを感謝します。

参考文献

- 1) 大下：呉高専研究報告 7 (1970) 67,
- 2) 佐藤：切削理論, (1) 123,
- 3) J. D. Eshelby, F. C. Frand, F. R. N. Nabbarro : Phil. Mag., 42 (1951) 351.

(昭和46年1月8日受付)

往復等加速度カムの滑り率の研究 (第2報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Specific Sliding of the Constant Acceleration Cam with the Reciprocating Follower (Report 2)

Hironori ITOSHIMA

In Report 1, the constant acceleration cam with an offset convex reciprocating follower was studied. In this report, the constant acceleration cam with an offset concave reciprocating follower is examined.

The profile of the cam is expressed with xy coordinates and the radius of curvature of cam is obtained, and then specific sliding of the cam and the follower is examined, when the pressure angle, the radius of the concave follower and the radius of the base circle in cam are varied.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において往復等加速度カムにおける凸面円弧従動節と平板従動節の滑り率について論じた結果凸面円弧従動節の場合は平板に較べてカムの滑り率は小であった。

凹面円弧従動節の滑り率を求めることは凸面の場合に比し、円弧半径が非常に大きいためその円弧の中心を利用して曲率半径を求めることが困難であるので、直接接点における曲率半径を利用して滑り率を求めなければならない。この点計算が複雑であるが、滑り率を低くおさへるために必要な円弧半径、かたより量等の計算を行う。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角

ϕ : 押進め角

θ_0 : 往き行程のカムの回転角

θ_r : 戻り行程のカムの回転角

R_0 : カムの基礎円半径

r : 円弧従動節の半径

e : カムのかたより量

f : O_1M の距離

h : 従動節の変位

H : 従動節のリフト

ρ_T : 接点におけるカムの曲率半径

σ_1 : カムの滑り率

σ_2 : 従動節の滑り率

v : 従動節の速度

ω : カムの角速度

$dh/d\theta$: カムの角速度に対する従動節の速度

$d^2h/d\theta^2$: カムの角速度の自乗に対する従動節の加速度

§ 3 凹面円弧従動節におけるカムの輪郭

往復動する凹面円弧従動節をもつカム装置を図1に示す。図においてカムの回転中心 O を原点とするカムに固定された直角座標 xOy を考え、従動節の行程線を Y 軸とする従動節に固定された直角座標 XO_1Y

となるので、式(9)と式(4)を式(5)に代入すればカムの輪郭は次式で与えられる。

$$x = (X_T + e) \cos \theta + (Y_T + h) \sin \theta, \quad y = (Y_T + h) \cos \theta - (X_T + e) \sin \theta \quad (11)$$

§ 4 凹面円弧従動節のカムの曲率半径と押進め角と滑り率

前報に示されたようにカムの輪郭が $x = f_1(\theta)$, $y = f_2(\theta)$ で与えられるとき、その曲率半径 ρ_T は次式で与えられる。

$$\rho_T = \frac{\left\{ \left(\frac{dx}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2x}{d\theta^2} \cdot \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d^2y}{d\theta^2}} \quad (12)$$

式(11)を θ で微分し、式(12)に代入すれば ρ_T が求まるわけであるが非常に複雑なので、まず式(10)を θ で微分したものを示す。

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{r(f-h) \left\{ \frac{d^2h}{d\theta^2}(f-h) + \frac{dh}{d\theta} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) \right\}}{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \frac{-r \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) \left\{ \frac{dh}{d\theta} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) + \frac{d^2h}{d\theta^2}(f-h) \right\}}{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}} \quad (13), (14)$$

等加速度カムの場合を考えて $d^3h/d\theta^3 = 0$ とすれば $d^2X_T/d\theta^2$, $d^2Y_T/d\theta^2$ は次式のようにになる。

$$\begin{aligned} \frac{d^2X_T}{d\theta^2} = r \times & \frac{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\} \left\{ - \left(\frac{dh}{d\theta} \right)^2 \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) - \frac{d^2h}{d\theta^2} e (f-h) \right\}}{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}^{\frac{5}{2}}} \\ & - 3(f-h) \left\{ \frac{d^2h}{d\theta^2} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) - \frac{dh}{d\theta} (f-h) \right\} \left\{ \frac{d^2h}{d\theta^2}(f-h) + \frac{dh}{d\theta} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) \right\} \quad (15) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{d^2Y_T}{d\theta^2} = -r \times & \frac{\left\{ \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2 (f-h) + \frac{d^2h}{d\theta^2} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) \left(2 \frac{dh}{d\theta} - e \right) \right\} \left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}}{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}^{\frac{5}{2}}} \\ & - 3 \left\{ \frac{d^2h}{d\theta^2} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) - \frac{dh}{d\theta} (f-h) \right\} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) \left\{ \frac{dh}{d\theta} \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) + \frac{d^2h}{d\theta^2}(f-h) \right\} \quad (16) \end{aligned}$$

その結果 ρ_T は次式で得られる。

$$\begin{aligned} \rho_T = & \frac{\left\{ \left\{ \frac{dX_T}{d\theta} + (Y_T + h) \right\}^2 + \left\{ \frac{dY_T}{d\theta} + \frac{dh}{d\theta} - (X_T + e) \right\}^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\left\{ \frac{dY_T}{d\theta} + \frac{dh}{d\theta} - (X_T + e) \right\} \left\{ \frac{d^2X_T}{d\theta^2} + 2 \left(\frac{dY_T}{d\theta} + \frac{dh}{d\theta} \right) - (X_T + e) \right\}} \\ & - \left\{ \frac{dX_T}{d\theta} + (Y_T + h) \right\} \left\{ \frac{d^2Y_T}{d\theta^2} + \frac{d^2h}{d\theta^2} - 2 \frac{dX_T}{d\theta} - (Y_T + h) \right\} \quad (17) \end{aligned}$$

この式に式(10), (13)~(16)を代入して複雑な計算の結果次式が得られる。

$$\rho_T = r - \frac{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (f-h)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + (f-h)^2 + 2 \left(\frac{dh}{d\theta} \right)^2 - 3e \frac{dh}{d\theta} + (f-h) \frac{d^2h}{d\theta^2}} \quad (17)'$$

押進め角 図1において押進め角 ϕ は、次式のように求められる。

$$\tan \phi = \frac{\frac{dh}{d\theta} - e}{\sqrt{(r-R_0)^2 - e^2 - h}} \quad (18)$$

滑り率 滑り率の計算に必要な TD の値は次式で求められる。

$$TD = r - \sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e\right)^2 + (f-h)^2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

カムと従動節の滑り率を σ_1, σ_2 とすれば前報の凸面従動節の式の r を $-r$ として次のように求められる。

$$\sigma_1 = \frac{r - \rho_T}{\rho_T} \times \frac{TP}{r - TP}, \quad \sigma_2 = \frac{r - \rho_T}{r} \times \frac{TP}{\rho_T - TP} \quad \dots\dots\dots (20)$$

§ 5 等加速度運動に従動節の変位、速度、加速度

図2に示す等加速度カムのカム線図において前報より従動節の運動は次のようになる。

(1) AB 間の変位、速度、加速度

$$0 \leq \theta \leq \frac{\theta_o}{2}$$

$$h = 2H \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right)^2, \quad \frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{4H}{\theta_o^2} \theta, \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right)^2 \frac{4H}{\theta_o^2} \quad \dots\dots\dots (21)$$

(2) BC 間の変位、速度、加速度 $\frac{\theta_o}{2} \leq \theta \leq \theta_o$

$$h = H \left\{ 4 \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right) - 2 \left(\frac{\theta}{\theta_o} \right)^2 - 1 \right\}, \quad \frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{4H}{\theta_o^2} (\theta_o - \theta), \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = - \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right)^2 \frac{4H}{\theta_o^2} \quad \dots\dots\dots (22)$$

(3) DE 間の変位、速度、加速度 $\theta_o \leq \theta \leq \theta_o + \frac{\theta_r}{2}$

$$h = H \left\{ 1 - 2 \left(\frac{\theta - \theta_o}{\theta_r} \right)^2 \right\}, \quad \frac{dh}{d\theta} = - \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{4H}{\theta_r^2} (\theta - \theta_o), \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = - \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right)^2 \frac{4H}{\theta_r^2} \quad \dots\dots\dots (23)$$

(4) EF 間の変位、速度、加速度 $\theta_o + \frac{\theta_r}{2} \leq \theta \leq \theta_o + \theta_r$

$$h = 2H \left\{ \left(\frac{\theta - \theta_o}{\theta_r} \right)^2 - 2 \left(\frac{\theta - \theta_o}{\theta_r} \right) + 1 \right\},$$

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{4H}{\theta_r^2} (\theta - \theta_o - \theta_r), \quad \frac{d^2h}{d\theta^2} = \left(\frac{180^\circ}{\pi} \right)^2 \frac{4H}{\theta_r^2} \quad \dots\dots\dots (24)$$

ただし h, H はそれぞれ従動節の変位、リフトであり、 θ_o, θ_r は行き行程と戻り行程のカムの回転角である。

§ 6 等加速度カムの始点Aと終点Fの曲率半径

式(17)から明らかなように曲率半径の計算式は複雑であるが、カムの始点Aと終点Fの曲率半径を求めることが後に重要なので求めておく。

等加速度カムにおいては始点Aと終点Fにおいて $h = 0, dh/d\theta = 0$ なので、これを代入して式(10)より X_T, Y_T 、式(13), (14)より $dX_T/d\theta, dY_T/d\theta$ 、式(15), (16)より $d^2X_T/d\theta^2, d^2Y_T/d\theta^2$ を求めれば次のようになるただし式(9)より $e^2 + f^2 = (r - R_0)^2$

$$X_T = \frac{-re}{r - R_0}, \quad Y_T = \frac{rf}{r - R_0} - f \quad \dots\dots\dots (25)$$

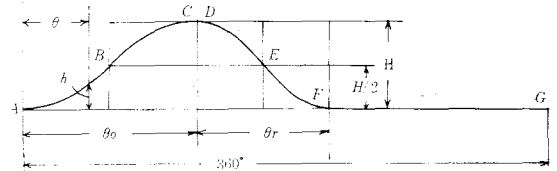


図2 等加速度カムのカム線図

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{rf^2 \frac{d^2h}{d\theta^2}}{(r-R_0)^3}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \frac{ref \frac{d^2h}{d\theta^2}}{(r-R_0)^3} \dots\dots\dots (26), (27)$$

$$\frac{d^2X_T}{d\theta^2} = r \frac{-ef(r-R_0)^2 \frac{d^2h}{d\theta^2} + 3ef^2 \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2}{(r-R_0)^5} \dots\dots\dots (28)$$

$$\frac{d^2Y_T}{d\theta^2} = -r \frac{e^2(r-R_0)^2 \frac{d^2h}{d\theta^2} + f(f^2 - 2e^2) \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2}{(r-R_0)^5} \dots\dots\dots (29)$$

次に式(17)において上式を用いれば

$$\frac{dX_T}{d\theta} + Y_T + h = \frac{rf^2}{(r-R_0)^3} \frac{d^2h}{d\theta^2} + \frac{fR_0}{r-R_0}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} + \frac{dh}{d\theta} - (X_T + e) = \frac{ref}{(r-R_0)^3} \frac{d^2h}{d\theta^2} + \frac{eR_0}{r-R_0}$$

$$\frac{d^2X_T}{d\theta^2} + 2 \left(\frac{dY_T}{d\theta} + \frac{dh}{d\theta} \right) - (X_T + e) = \frac{3ref^2}{(r-R_0)^5} \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2 + \frac{ref}{(r-R_0)^3} \frac{d^2h}{d\theta^2} + \frac{eR_0}{r-R_0}$$

$$\frac{d^2Y_T}{d\theta^2} + \frac{d^2h}{d\theta^2} - 2 \frac{dX_T}{d\theta} - (Y_T + h) = \frac{2re^2f - rf^3}{(r-R_0)^5} \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2 - \frac{rf^2 + R_0(r-R_0)^2}{(r-R_0)^3} \times \frac{d^2h}{d\theta^2} - \frac{fR_0}{r-R_0}$$

となるので、これらの値を式(17)に代入して整理すれば始点A、終点Fの曲率半径は次式のように簡単になる。なお式(17)'からも次式のようになる。

$$\rho_T = \frac{\left\{ rf \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0)^2 \right\}^2}{rf^2 \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2 + f(r+R_0)(r-R_0)^2 \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0)^4} = \frac{rf \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0)^2}{f \frac{d^2h}{d\theta^2} + (r-R_0)^2} \dots\dots\dots (30)$$

今もし $e = 0$ ならば式(9)より $f = r - R_0$ となるので式(30)はさらに簡単に次式のようになる。

$$e = 0, \quad \rho_T = \frac{\left\{ r \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0) \right\}^2}{r \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)^2 + (r^2 - R_0^2) \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0)^2} = \frac{r \frac{d^2h}{d\theta^2} + R_0(r-R_0)}{\frac{d^2h}{d\theta^2} + (r-R_0)} \dots\dots\dots (31)$$

例えば $H=17\text{mm}$, $R_0=34\text{mm}$, $e=0$ とした場合、A点、F点の加速度は、それぞれ式(21)、(24)で与えられるので $r=60\sim 150\text{mm}$ とし、各 θ_0 あるいは各 θ_r に対する曲率半径 ρ_T を求めると図3が得られる。これから θ_0 あるいは θ_r が大きい程、 r が小さい程 ρ_T は減少することがわかる。よって θ_0 あるいは θ_r は余り大きくできず、 r は大きい程よい。

図4は上記データで $\theta_0=60^\circ\sim 150^\circ$ に指定した場合の各 r に対する ρ_T を示す。これから例へば $\theta_0=120^\circ$ に指定すれば $r=60\sim 180\text{mm}$ の間 ρ_T はほぼ一定であることがわかる。

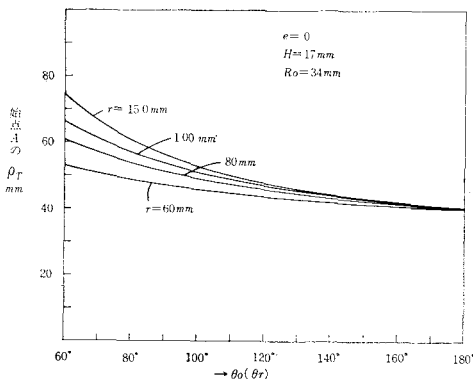


図3 等加速度カムの始点と終点の曲率半径

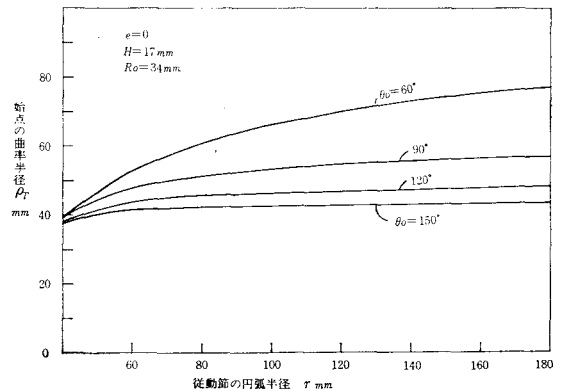


図4 始点Aの曲率半径

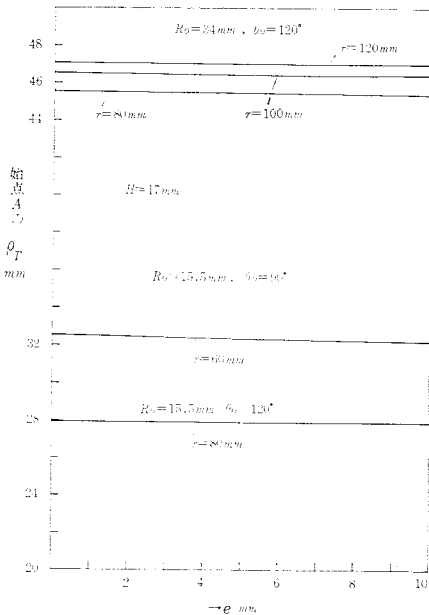
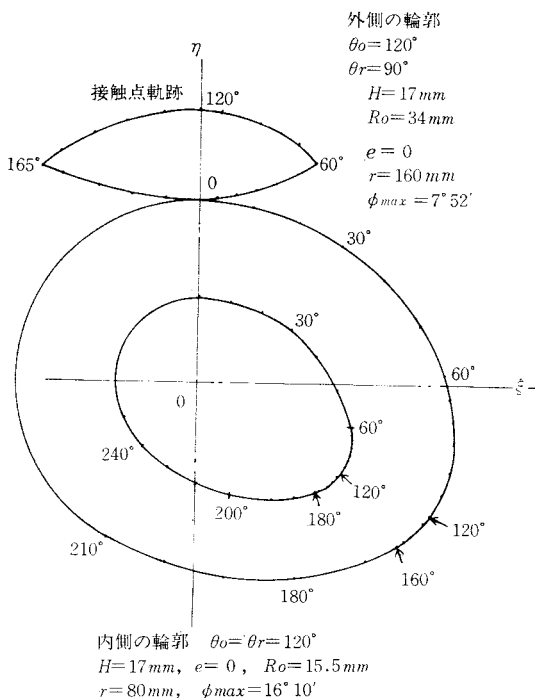
図5 始点の ρ_T に対する e の影響

図6 等加速度カムの輪郭

次に e の影響を調べるために式(30)を用い、 $H=17\text{mm}$, $R_0=15.5\text{mm}$, 34mm , $\theta_0=120^\circ$, 90° , $r=60\sim 120\text{mm}$ の場合の各 e に対する ρ_T を計算し図5に示す。曲線はほぼ水平で e の影響のほとんどないことがわかる。

§7 等加速度カムの輪郭

等加速度カムの輪郭を求めるには式(21)～(24)で与えられる h と $dh/d\theta$ を式(10)に代入し、得られた X_T , Y_T を式(11)に代入すればよい。しかしながら従動節の円弧の半径 r は常に R_0 よりも大であり、またカム上のすべての点の曲率半径よりも大でなければならぬ。

一例として $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=90^\circ$, $H=17\text{mm}$, $R_0=34\text{mm}$, $e=0$ の場合 $r=160\text{mm}$ を選ばば図4において始点 A の $\rho_T=47.804^\circ$ で r は充分大きい。また $\theta_r=90^\circ$ の場合終点 F の $\rho_T=55.613^\circ$ で、これに比して r は充分大きいのでこれを用いて x , y を計算したものを図6の外側の曲線で示す。図より滑らかな曲線が得られている。最大押進め角 $\phi_{max}=7^\circ 52'$ である。式(6)より ξ_T , η_T を求めて、接触点の軌跡を描いたものを示す。

他の例として $\theta_0=\theta_r=120^\circ$, $R_0=15.5\text{mm}$, $H=17\text{mm}$, $e=0$ の場合、 $r=80\text{mm}$ にすれば図5より A 点の $\rho_T=27.998^\circ$ で r は充分大きいので、このデータで計算したものを図6の内側の曲線で示す。 $\phi_{max}=16^\circ 10'$ である。図に示すように滑らかな曲線である。

もう一つの例として $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=90^\circ$, $R_0=15.5\text{mm}$, $H=17\text{mm}$, $r=80\text{mm}$, $e=0$ の場合を計算したがカムの頂上附近で作図できなかった。この失敗については後述する。

§8 等加速度カムの押進め角

凹面従動節をもつ等加速度カムの最大押進め角を調べるために例として $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=90^\circ$, $H=17\text{mm}$, $e=0$, $R_0=34\text{mm}$, $r=120$,

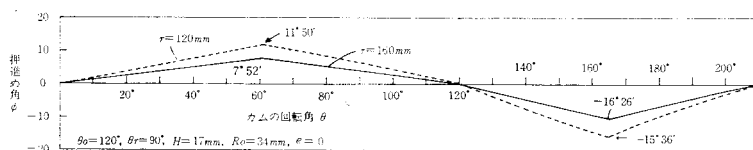


図7 凹面従動節をもつ等加速度カムの押進め角

160mm のカム装置の場合の計算を式(21)～(24)を用いて h , $dh/d\theta$ を求め、式(18)に代入して押進め角 ϕ を求めたものを図7に示す。 $e=0$ のため始点 A の ϕ は零となり、 $\theta_0/2$ の所で最大、 θ_0 の所で再び零、 $\theta_r/2$ の所で負の最大値をとるが、押進め角は往き行程のみで問題となり、 r が充分大きければ一般に ϕ は小さいので、前報の凸面従動節の場合のように ϕ を小さくするためにかたよらせる必要は少ない。よって往き行程の中央すなわち往き行程の加速度の方向の変ずる点で最大押進め角 ϕ_{max} が存在する。

最大押進め角 ϕ_{max} を指定して基礎円半径 R_0 を求めるには式(18)を変形すれば

$$r - R_0 = \sqrt{\left\{ \cot \phi \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right) + h \right\}^2 + e^2} \dots (32)$$

となるので、式(22)の θ を $\theta_0/2$ とすれば $h = \frac{H}{2}$, $\frac{dh}{d\theta} = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{2H}{\theta_0}$ が得られるので、上式に代入して次式を得る。

$$r - R_0 = \sqrt{\left\{ \cot \phi_{max} \left(\frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{2H}{\theta_0} - e \right) + \frac{H}{2} \right\}^2 + e^2} \dots (33)$$

この式に $H=17\text{mm}$, $\phi_{max}=10^\circ$, $\theta_0=60^\circ \sim 180^\circ$, $e=0 \sim 10\text{mm}$ を代入して計算し $r - R_0$ を求めたものを図8の実線で示す。 e あるいは θ_0 の値の増加につれて $r - R_0$ の値は減少する。

次に $e=0$, $H=17\text{mm}$ とし $\phi_{max}=5^\circ \sim 30^\circ$, $\theta_0=60^\circ \sim 180^\circ$ の場合を同じ図8に一点鎖線で示す。この図から $e=0$ で $r - R_0$ と θ_0 がわかっていいる場合 ϕ_{max} の見当がつく。

§ 9 $\theta=90^\circ$ における滑り率に対する r の影響

カム線図の BC 間の $\theta=90^\circ$ における各 r に対する ρ_T と滑り率 σ_1 , σ_2 を求めて滑り率が極端に大きくなぬ r の値を求める。

例へば $\theta_0=120^\circ$, $e=0$, $H=17\text{mm}$ および $R_0=15.5, 34\text{mm}$ を与えた場合、図8から $\phi_{max} \leq 20^\circ$ であるためには $r - R_0 \geq 53.102\text{mm}$ となる。そこで $R_0=15.5\text{mm}$ のときは $r \geq 68.602\text{mm}$, $R_0=34\text{mm}$ のときは $r \geq 87.102\text{mm}$ となる。

以上のデータにより式(22), (17), (20)を用いて ρ_T , σ_1 , σ_2 を各 r に対して求めたものを図9に示す。 R_0 がいずれの場合も 100mm 以上が望ましい。

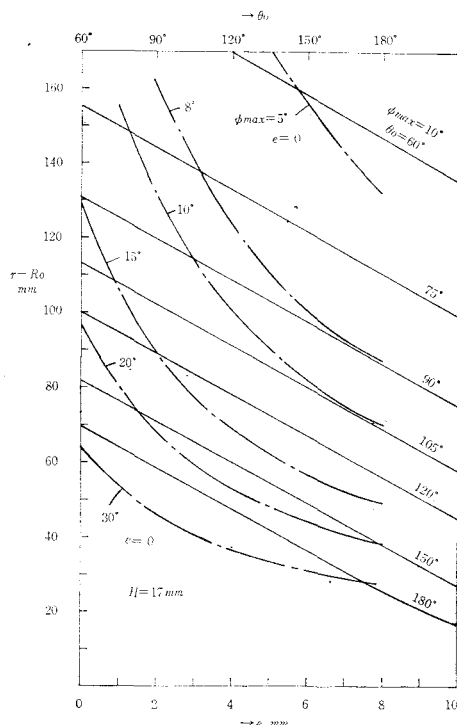


図8 ϕ_{max} と θ_0 を指定した $r - R_0$ の値

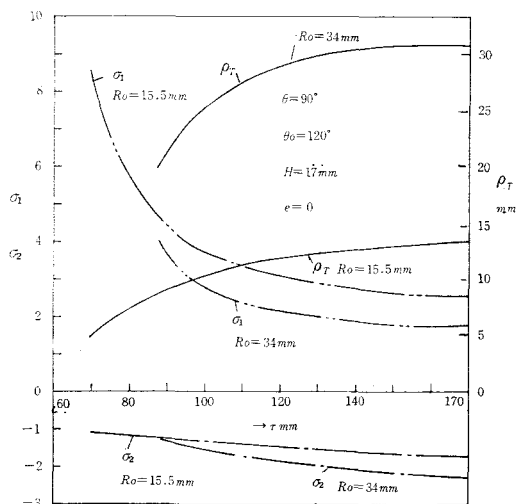


図9 $\theta=90^\circ$ の各 r に対する ρ_T と滑り率

§10 戻り行程の始点Dの曲率半径と滑り率

往き行程の終点Cと戻り行程の始点Dにおいては共に $h=H$, $dh/d\theta=0$ で $d^2h/d\theta^2$ のみが異なるので、これを前式に代入してこの点における曲率半径を求める。

式(10), (13), (14)に代入すれば X_T , Y_T , $dX_T/d\theta$, $dY_T/d\theta$ は次式のようにになる。

$$X_T = \frac{-re}{\sqrt{(f-H)^2 + e^2}}, \quad Y_T = \frac{r(f-H)}{\sqrt{(f-H)^2 + e^2}} - f, \quad f = \sqrt{(r-R_0)^2 + e^2} \quad (34)$$

$$\frac{dX_T}{d\theta} = \frac{r(f-H)^2 \frac{d^2h}{d\theta^2}}{\{(f-H)^2 + e^2\}^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{dY_T}{d\theta} = \frac{re(f-H) \frac{d^2h}{d\theta^2}}{\{(f-H)^2 + e^2\}^{\frac{3}{2}}} \quad (35)$$

次に式(15), (16)は次式のようにになる。

$$\frac{d^2X_T}{d\theta^2} = r \frac{-e(f-H)\{(f-H)^2 + e^2\} \frac{d^2h}{d\theta^2} + 3e(f-H)^2 \left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)^2}{\{(f-H)^2 + e^2\}^{\frac{5}{2}}} \quad (36)$$

$$\frac{d^2Y_T}{d\theta^2} = -r \frac{e^2 \{(f-H)^2 + e^2\} \frac{d^2h}{d\theta^2} + (f-H) \{(f-H)^2 - 2e^2\} \left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)^2}{\{(f-H)^2 + e^2\}^{\frac{5}{2}}} \quad (37)$$

これらの式を式(17)に代入すれば ρ_T は次式のように求められる。

$$\rho_T = \frac{\left[\{(f-H)^2 + e^2\} \{r - \sqrt{(f-H)^2 + e^2}\} + r(f-H) \frac{d^2h}{d\theta^2} \right]^3}{r^2(f-H)^3 \left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)^3 + r(f-H)^2 \{(f-H)^2 + e^2\} (3r - 2\sqrt{(f-H)^2 + e^2}) \left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)^2} \quad (38)$$

$$\times \left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)^2 + (f-H) \{(f-H)^2 + e^2\}^2 (3r - \sqrt{(f-H)^2 + e^2}) \frac{d^2h}{d\theta^2} + \{(f-H)^2 + e^2\}^3 \{r - \sqrt{(f-H)^2 + e^2}\}$$

次に滑り率の計算に必要な TP は式(19)から次のようになる。

$$TP = r - \sqrt{(f-H)^2 + e^2} \quad (39)$$

この ρ_T と TP を式(20)に代入すれば σ_1 , σ_2 を求めることができる。

図10は $\theta_r = 90^\circ$, $e=0$, $H=17\text{mm}$, $R_0=15.5, 34\text{mm}$ の場合の戻り行程の始点Dの曲率半径 ρ_T と滑り率 σ_1 , σ_2 を $r=120 \sim 400\text{mm}$ に対して求めたものである。 $R_0=34\text{mm}$ の場合 $r>140\text{mm}$ 以下では σ_1 が急激に上昇するから $r>140\text{mm}$ が望ましい。 σ_2 は r の如何にかゝらず低い値である。 $R_0=15.5\text{mm}$ の場合, $r>300\text{mm}$ でなければ $\sigma_1 < 20$ とならぬ。前述したように $r=80\text{mm}$ の場合は $\rho_T = -33.14833\text{mm}$ となってカムが凸面にはならぬので採用することができない。

§11 DE間の滑り率

戻り行程の始点Dの滑り率はカムの方の σ_1 が問題で, $r>140\text{mm}$ にとれば $\sigma_1 < 8$ にすることが

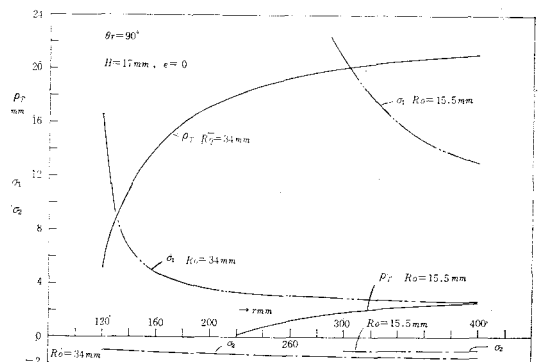


図10 各 r に対するD点の曲率半径 ρ_T , σ_1 , σ_2

できたが、 DE 間における σ_1 は如何に変化するか、途中で極大点が存在するかも知れない。また $\theta_r < \theta_o$ のときはとくに σ_1 が大きくなるのでこれを調べる。

$\theta_o = 120^\circ$, $\theta_r = 90^\circ$, $e = 0$, $H = 17\text{mm}$, $R_o = 34\text{mm}$, $r = 120 \sim 180\text{mm}$ とし、 DE 間は $\theta = 120^\circ \sim 165^\circ$ である。式(23)から h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ を計算し、式(9), (10), (13)~(17)により ρ_T を計算し、式(19), (20)によって σ_1 , σ_2 を求めた結果を図11に示す。 $r = 120\text{mm}$ のときは中間で極大、極小が存在し、 $r = 130 \sim 140\text{mm}$ では中間に極大値があり $r = 150\text{mm}$ 以上で滑らかなになるが、 E 点の σ_1 が D 点より高い値となる。 σ_2 の方は $1 \sim 1.3$ となり問題にならぬ。

§12 等加速度カムの曲率半径と滑り率

$\theta_o = 120^\circ$, $\theta_r = 90^\circ$, $e = 0$, $H = 17\text{mm}$, $R_o = 34\text{mm}$ の場合、図10, 11 の結果により $r = 160\text{mm}$ として式(21)~(24)より h , $dh/d\theta$, $d^2h/d\theta^2$ を計算し、式(9), (10), 式(13)~(16)を求めて、式(17)より ρ_T を算出し式(19)と式(20)よりカムの全面にわたって σ_1 , σ_2 を求め図12に示す。またこの場合のカムの輪郭は図6に示されている。

図において最大の曲率半径は E 点で $\rho_{Tmax} = 68.0674\text{mm} < r$ で最小曲率半径は E' 点で $\rho_{Tmin} = 6.923064\text{mm} > 0$ から設計されることがわかる。図13は従動節面上の滑り率を示し、中心線より右側の滑り率の高いことを示す。

滑り率においては $\sigma_{2max} = -2.26436$ (B' 点) で、 σ_2 は低い値であるが、カムの σ_1 の方は DE 間において特に高く E 点において $\sigma_{1max} = 7.49953$ となっている。

図12の場合は $e = 0$ であったがすこしかたよらせて $e = 5\text{mm}$ とした場合の曲率半径と滑り率を図14に示す。

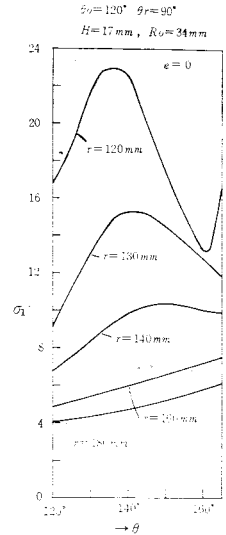


図11 DE 間の滑り率

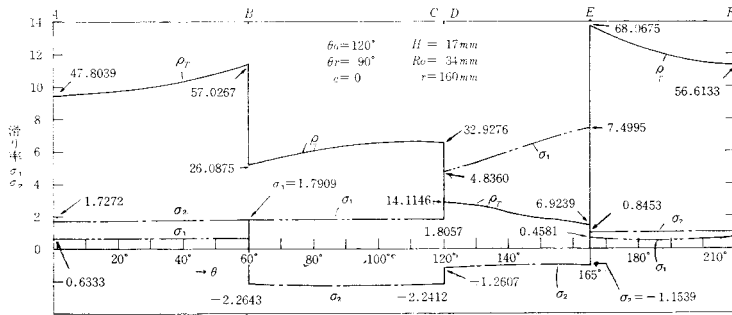


図12 等加速度カムの曲率半径と滑り率, $e = 0$

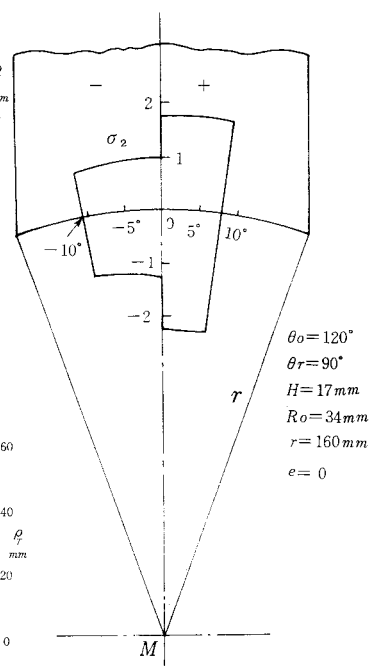


図13 凹面円弧従動節の面上の滑り率 σ_2

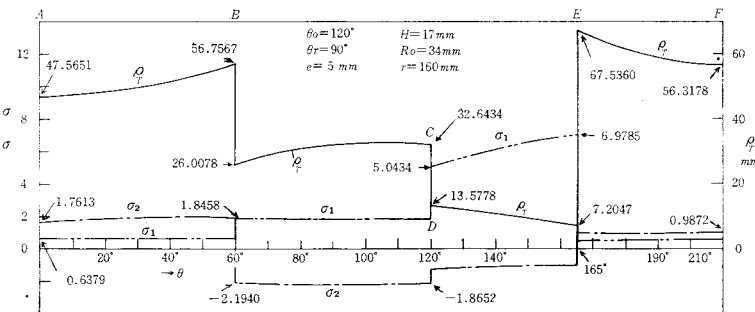


図14 等加速度カムの曲率半径と滑り率 ($e = 5\text{mm}$)

$\rho_{Tmax}=67.53597\text{mm}$ (E点), $\rho_{Tmin}=7.20471\text{mm}$ (E'点),
 $\sigma_{2max}=-2.19404$ (E'点), $\sigma_{1max}=6.97846$ (E点)となり
 かたよらせることにより僅かではあるが σ_{1max} を減少さ
 すことができた。

図11からE点の σ_{1max} を減少させるためには r を大き
 くすればよいことがわかるが, 前報の $r=\infty$ の平板従動
 節において $\sigma_{1max}=2.84459$ であったが, C点における
 σ_2 が -3.28988 と逆に増大した。

§13 E点における曲率半径と滑り率

戻り行程の中央E点における σ_1 を減少させ
 ために $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=90^\circ$, $H=17\text{mm}$, $R_0=$
 34mm の場合, $r=60, 300\text{mm}$ として $e=0\sim10\text{mm}$
 と変化させて σ_1, σ_2 を求めたものを図15に示
 す。かたより量 e は滑り率にほとんど影響しない
 ことがわかる。

そこで $e=0$ とし, $R_0=28, 34, 40\text{mm}$ の3
 種の場合に $r=140\sim400\text{mm}$ に変化させ, ρ_T ,
 σ_1, σ_2 を求めたものを図16に示す。 r が小さ
 いと急に曲率半径 ρ_T は減少し, 滑り率 σ_1 は
 増大するが, σ_2 の方は余り変化しない。

図17は $r=200, 300, 400\text{mm}$ の場合の R_0 の
 変化に対する滑り率を求めたもので, R_0 が
 25mm 乃至 45mm 迄に急速に σ_1 が減少することが
 わかる。 σ_2 は R_0 に余り影響されない。以上
 によって r を増すか, R_0 を増すことによって
 σ_1 を小さくすることができるが, σ_1 は又 θ_r
 の影響を受ける。

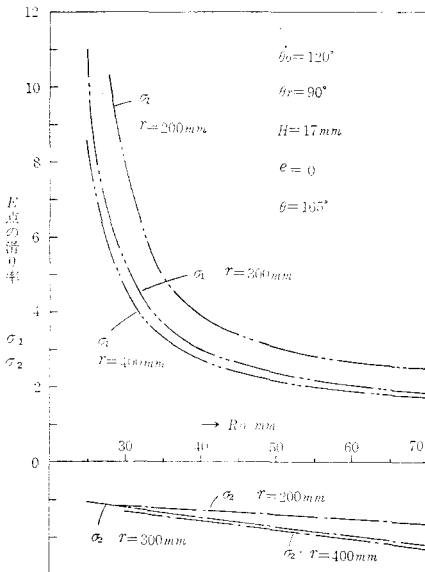


図17 E点における R_0 の変化による滑り率

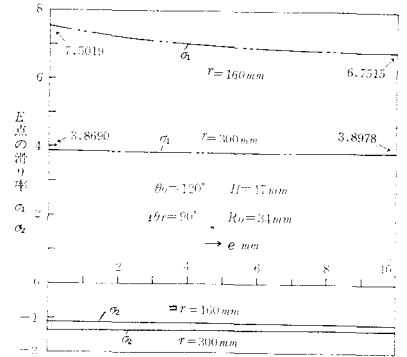


図15 E点における e の変化による滑り率

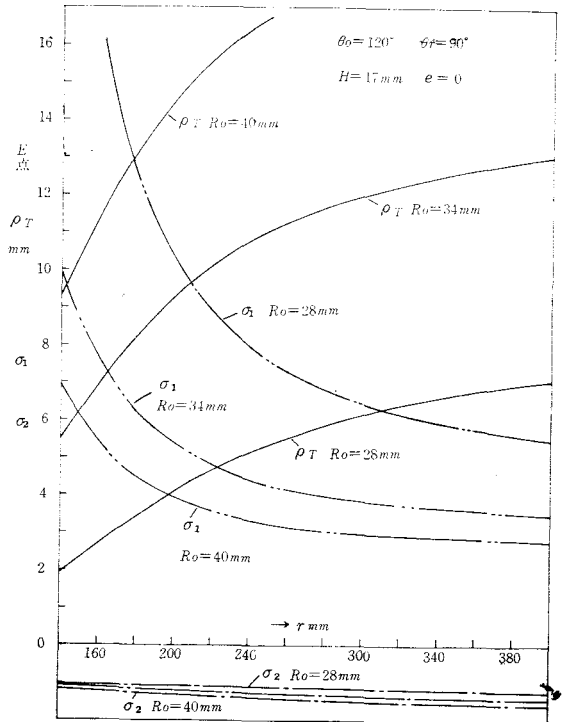


図16 E点における r の変化による曲率半径と滑り率

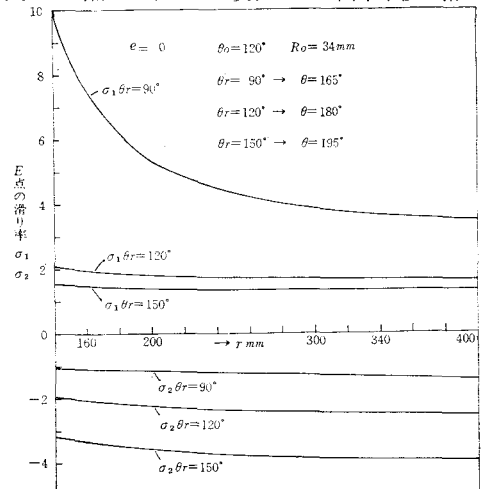


図18 E点における θ_r の変化による滑り率

図18は $\theta_r=90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ の3通りの場合の $r=140\sim 400mm$ の変化に対する滑り率を求めたもので、 $\theta_r\geq 120^\circ$ とすれば r が $140mm$ 附近でも σ_1 はかなり小さな値となるが、 $\theta_r=150^\circ$ の場合逆に σ_2 の方が増大することがわかる。

§14 結 論

以上凹面円弧往復従動節をもつ等加加速度カムの曲率半径と滑り率を調べた結果次のような結論が得られた。

- (1) 一般に押進め角は小さい、従動節の円弧半径が大きいほど小さくなる。
- (2) 戻り行程においてカムの回転角が小さいとカムの滑り率が非常に大きくなる可能性があるので、従動節の円弧半径は大きく取らねばならぬ。
- (3) また基礎円の半径も大きくした方がよい。
- (4) かたより量は滑り率に余り影響を与えない。
- (5) 戻り行程のカムの回転角をなるべく往き行程に等しくするか、共に大きい方がよい。
- (6) 従動節の円弧半径が充分大であれば、カムの曲率半径が円弧半径より大になることはない。

参 考 文 献

- 1) 糸島寛典；往復等加加速度カムの滑り率の研究（第1報）呉工業高等専門学校研究報告，第6巻，第1号，47～59頁，1970.
- 2) 糸島寛典；カムの滑り率の研究（第1報），呉工業高等専門学校研究報告，第1巻，第1号，47～58頁，1965.
- 3) 糸島寛典；カムの滑り率の研究（第2報），呉工業高等専門学校研究報告，第2巻，第1号，75～84頁，1966.
- 4) 糸島寛典；カムの滑り率の研究（第3報），呉工業高等専門学校研究報告，第3巻，第1号，63～72頁，1967.
- 5) 糸島寛典；カムの滑り率の研究（第4報），呉工業高等専門学校研究報告，第4巻，第1号，27～37頁，1968.
- 6) 糸島寛典；カムの滑り率の研究（第5報）呉工業高等専門学校研究報告，第5巻，第1号，33～41頁，1969.
- 7) 糸島寛典；円板カムの滑り率について，呉工業高等専門学校研究報告，第5巻，第2号，29～40頁，1970.
- 8) Cowie, A : Kinematics of Contacting Surfaces, Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry. P. 450～453, 1968.
- 9) Shigley, J. E. : Kinematic Analysis of Mechanisms, P. 144～150, McGRAW-HILL, 1959.
- 10) 石田喜助：歯車歯形のやさしい正確な計算法，機械の研究，第13巻，第12号，1533頁，1961.

（昭和46年1月8日受付）

往復等速度カムの滑り率の研究 (第1報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Specific Sliding of the Constant Velocity Cam with the Reciprocating Follower (Report 1)

Hironori ITOSHIMA

The profile of the constant velocity cam with an offset reciprocating circular arc follower is expressed with xy coordinates, and then the radius of curvature on the cam profile is obtained.

The specific sliding of cam and follower by the radius of curvature is examined, when the offset, the radius of the base circle in cam, the radius of the follower and the pressure angle of cam are varied.

§ 1 緒 言

低速回転においてよく使用される等速度カムにカムと円弧の接触面をもつきのこ型従動節のカムと従動節上の各点の滑り率を求め、最大滑り率がどの場所に生ずるか、その値を最小にするには基礎円の大きさ、かたより量を如何に選ばよいかを調べる。

このために等速度カムの輪郭を xy 座標で示し、それによりカム上の各点の曲率半径を求め、各点の滑り率を計算する。従動節の円弧半径はカムの最小曲率半径より小でなければならぬので、この点を充分考慮する。研究の進め方は前報¹⁾の等加速度カムの場合を参照する。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角	ϕ : 押進め角
θ_0 : 行き行程のカムの回転角	θ_r : 戻り行程のカムの回転角
R_0 : カムの基礎円半径(ナイフエッジ)	r : 円弧従動節の半径
e : カムのかたより量	H : 従動節のリフト
h : 従動節の変位	k : カムの中心から従動節の最下点迄の高さ
ρ_M : ナイフエッジ従動節の場合のカムの曲率半径	θ_d : 停止期間のカムの回転角
ρ_T : 円弧従動節の場合のカムの曲率半径	σ_2 : 従動節の滑り率
σ_1 : カムの滑り率	ω : カムの角速度
v : 従動節の速度	
$dh/d\theta$: カムの角速度に対する従動節の速度	
$d^2h/d\theta^2$: カムの角速度の自乗に対する従動節の加速度	

§ 3 往復従動節の場合のカムの輪郭の理論式

(1) ナイフエッジ従動節の場合

図1に示すようにカムは O を中心とし反時計回りに回転し、従動節の行程線は e だけかたよっている。カムの輪郭の起点を A 、行程線と半径 R_0 の基礎円の交点を F とし、 A 点が F にあるときの O を通

る横軸を x ，縦軸を y とし，従動節の直角座標 XY を図のよう
に取れば原点 O_1 は行程線と O 点を通る横軸 ξ との交点 E
上にある。

カムが θ だけ回転すれば回転座標 xOy の x 軸は θ 回転し，
それにより従動節の座標 XO_1Y は h だけ上昇するものとする
れば基礎円の半径 R_0 から次のようになる。

$$k = O_1M = EF = \sqrt{R_0^2 - e^2}, \quad h = O_1E = MF \quad \dots\dots (1)$$

カムの理論から接触点 M における法線と O を通る横軸 ξ との
交点を P とし，従動節の速度を v ，カムの角速度を ω とす
れば次式をうる。

$$v = \omega \cdot OP = \omega \frac{dh}{d\theta}, \quad OP = \frac{v}{\omega} = \frac{dh}{d\theta} \quad \dots\dots (2)$$

P 点の XY 座標を X_P, Y_P とすれば

$$X_P = OP - e = \frac{v}{\omega} - e = \frac{dh}{d\theta} - e, \quad Y_P = -h \quad \dots\dots (3)$$

となる。次に M 点の XY 座標を X_M, Y_M とすれば次のよう
になる。

$$X_M = 0, \quad Y_M = k = \sqrt{R_0^2 - e^2} \quad \dots\dots (4)$$

今 O 点の XY 座標を X_0, Y_0 とし， M 点を O を原点とする回転座標 xy に変換すれば

$$x = (X_M - X_0)\cos\theta + (Y_M - Y_0)\sin\theta, \quad y = (Y_M - Y_0)\cos\theta - (X_M - X_0)\sin\theta \quad \dots\dots (5), (6)$$

となるから，カムの輪郭の方程式は次のようになる。

$$x = e \cos\theta + (h+k)\sin\theta, \quad y = (h+k)\cos\theta - e \sin\theta \quad \dots\dots (7)$$

ただし，従動節の変位 $h = f(\theta)$ は与えられるので，カムの種類により輪郭は決定される。

$$MP = \sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e\right)^2 + (h+k)^2} \quad \dots\dots (8)$$

MP の長さは滑り率の計算に必要となる。

(2) きこの型従動節が $Y=f(X)$ の曲線の場合

従動節が $Y=f(X)$ の曲線を輪郭とする場合は図2に示す
ように接触点 T における法線と ξ 軸の交点を P とし，その
 XY 座標を X_P, Y_P とすれば法線 PT の方程式は

$$Y = Y_P - \frac{X - X_P}{dY/dX}, \quad Y = f(X) \quad \dots\dots (9), (10)$$

であるので，式(9)，(10)より求められる X, Y の値は X_T, Y_T を示す。

T 点の座標を回転座標 x, y に座標変換すれば式(5)，(6)より
カムの輪郭が求められる。ただし $X_0 = -e, Y_0 = -h$ だから
次式のようになる。

$$\begin{aligned} x &= (X_T + e)\cos\theta + (Y_T + h)\sin\theta, \\ y &= (Y_T + h)\cos\theta - (X_T + e)\sin\theta \quad \dots\dots (11) \end{aligned}$$

接触点 T の軌跡は T 点の XY 座標を ξ, η 座標に変換し

$$\xi_T = X_T + e, \quad \eta_T = Y_T + h \quad \dots\dots (12)$$

で求められ， PT の長さは

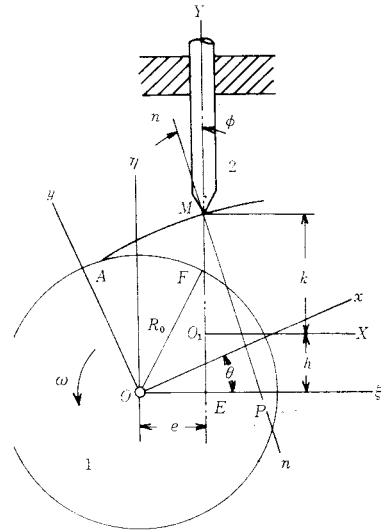


図1 ナイフエッジ従動節

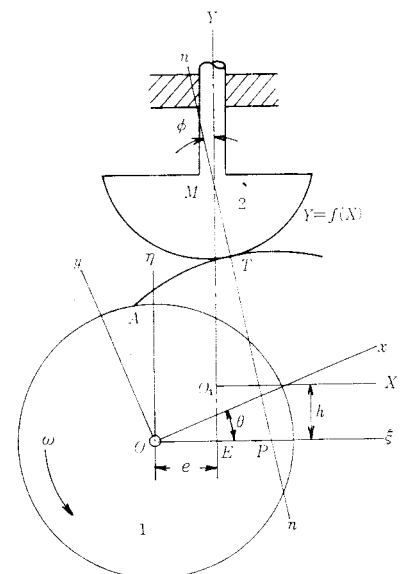


図2 きこの型従動節

$$PT = \sqrt{(X_T - X_P)^2 + (Y_T - Y_P)^2} \dots \dots \dots (13)$$

で求められる。

(3) 円弧従動節の場合

今従動節の輪郭が M を中心とし、半径 r の円弧の場合、 $Y = f(X)$ は $(X - X_M)^2 + (Y - Y_M)^2 = r^2$ となり $X_M = 0$ 、 $Y_M = k$ から

$$X^2 + (Y - k)^2 = r^2 \dots \dots \dots (14)$$

となるので、 MP とこの円弧の交点 T を求めるには式(14)を X で微分し dY/dX を求め、これと式(3)を式(9)に代入して MP の方程式を求め、式(14)とで X_T 、 Y_T を求めれば

$$X_T = \frac{r \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)}{\sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h+k)^2}}, \quad Y_T = k - \frac{r(h+k)}{\sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h+k)^2}} \dots \dots \dots (15), (16)$$

となり、 $h = f(\theta)$ より θ を与えて h 、 $dh/d\theta$ を求めれば T 点の座標 X_T 、 Y_T が求まる。これを式(11)に代入すればカムの輪郭が求められる。

円弧従動節の場合のカムの曲率半径を求めるためには $r = 0$ のナイフエッジ従動節としてのカムの輪郭を求め、この輪郭の曲率半径を ρ_M として計算すれば円弧従動節の場合の T 点のカムの曲率半径 ρ_T は

$$\rho_T = \rho_M - r \dots \dots \dots (17)$$

で求められる。また PT は図2から

$$PT = \sqrt{\left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h+k)^2} - r \dots \dots \dots (18)$$

となる。

§4 カムの曲率半径と滑り率と押進め角

xy 座標における $x = f_1(\theta)$ 、 $y = f_2(\theta)$ の曲線の曲率半径は

$$\rho = \frac{\left\{ \left(\frac{dx}{d\theta} \right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta} \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{dy}{d\theta} \cdot \frac{d^2x}{d\theta^2} - \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d^2y}{d\theta^2}} \dots \dots \dots (19)$$

であるので、式(7)を θ で微分し上式に代入し、接触点 M における曲率半径 ρ_M を求めれば

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h+k)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + (h+k)^2 + 2 \left(\frac{dh}{d\theta} \right)^2 - 3e \left(\frac{dh}{d\theta} \right) - (h+k) \left(\frac{d^2h}{d\theta^2} \right)} \dots \dots \dots (20)$$

となる。

カムと従動節の滑り率を σ_1 、 σ_2 とすれば前報¹⁾と式(17)より

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{TP}{r + TP} = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP} \dots \dots \dots (21)$$

$$\sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{TP}{\rho_T - r} = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP} \dots \dots \dots (22)$$

となり、 MP は式(8)より与えられる。

押進め角 ϕ は図1において接触点 M における法線と行程線のなす角であり、 $OP = dh/d\theta$ から次式で与えられる。

$$\tan \phi = \frac{(dh/d\theta) - e}{h+k} = \frac{(dh/d\theta) - e}{h + \sqrt{R_0^2 - e^2}} \dots \dots \dots (23)$$

§ 5 往復等速度カム

図3は等速度カム線図を示す。ABが往き行程で、カムの回転角を θ_o 、BCが戻り行程でカムの回転角を θ_r とす。従動節のリフトを H とすれば往き行程と戻り行程の従動節の変位 h と $dh/d\theta$ は次式のようなになる。

往き行程 (AB)

$$h = \frac{H}{\theta_o} \theta, \quad \frac{dh}{d\theta} = \frac{v}{\omega} = \frac{H}{\theta_o} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} \dots\dots\dots (24)$$

戻り行程 (BC)

$$h = -\frac{H}{\theta_r} \theta + \left(1 + \frac{\theta_o}{\theta_r}\right) H$$

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{v}{\omega} = -\frac{H}{\theta_r} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \dots\dots\dots (25)$$

(1) 往き行程 (AB) の曲率半径

等速度カムの曲率半径と滑り率を求めるために式(24)を式(20)に代入すれば $d^2h/d\theta^2 = 0$ から

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} - e \right)^2 + \left(k + \frac{H}{\theta_o} \theta \right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + \left(k + \frac{H}{\theta_o} \theta \right)^2 + 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} \right)^2 - 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} \right)} \dots\dots\dots (26)$$

$$MP = \left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} - e \right)^2 + \left(k + \frac{H}{\theta_o} \theta \right)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (27)$$

となる。

(2) 戻り行程 (BC) の曲率半径

式(25)を式(20)に代入すれば曲率半径 ρ_M は次式のように求められる。

$$\rho_M = \frac{\left[\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + \left\{ k + \left(1 + \frac{\theta_o}{\theta_r} \right) H - \frac{H}{\theta_r} \theta \right\}^2 \right]^{\frac{3}{2}}}{e^2 + \left\{ k + \left(1 + \frac{\theta_o}{\theta_r} \right) H - \frac{H}{\theta_r} \theta \right\}^2 + 2 \left(-\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right)^2 + 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right)} \dots\dots\dots (28)$$

$$MP = \left[\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + \left\{ k + \left(1 + \frac{\theta_o}{\theta_r} \right) H - \frac{H}{\theta_r} \theta \right\}^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (29)$$

(3) 滑り率 等速度カムの滑り率は式(21)、(22)より次式のようなになる。ただし MP は式(27)、あるいは式(29)を用いる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP} \dots\dots\dots (30)$$

(4) 最大押進め角 ϕ_{max} と基礎円半径 R_o

押進め角 ϕ は往き行程の場合式(24)を式(23)に代入して次式をうる。

$$\text{往き行程} \quad \tan \phi = \frac{\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} - e}{\frac{H}{\theta_o} \theta + \sqrt{R_o^2 - e^2}} \dots\dots\dots (31)$$

式(31)から $\theta = 0$ のとき分母が最小となるので、押進め角 ϕ が最大となり、カムの始点Aにおいて押進め角は最大となる。よってこの式に $\theta = 0$ を代入して ϕ を ϕ_{max} とすれば基礎円半径 R_o と k は

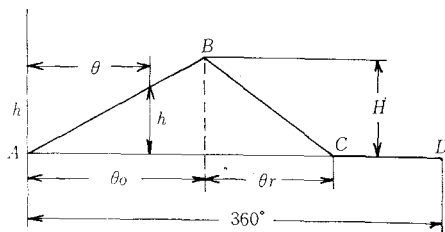


図3 等速度カム線図

$$R_0 = \sqrt{\left\{ \cot \phi_{max} \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right) \right\}^2 + e^2} \dots\dots\dots (32)$$

$$k = \cot \phi_{max} \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right) \dots\dots\dots (33)$$

となる。

例えば $\theta_0 = \theta_r = 120^\circ$, $H = 20\text{mm}$, $e = 5\text{mm}$, $\phi_{max} = 10^\circ$ を指定すれば式 (32) より $R_0 = 26.28037\text{mm}$, 式 (1) より $k = 25.80034\text{mm}$ となるので, 式 (26), (28) より曲率半径 ρ_M を求め, $r = 10, 15, 20\text{mm}$ の場合の従動節の滑り率 σ_2 と押進め角 ϕ を求めたものを図 4 に示す。

押進め角 ϕ は始点 A で最大で漸次小さくなり, 戻り行程においては側で漸次増大し, 最大約 30° になるが押進め角は往き行程で問題となるので戻り行程は考慮しない。

曲率半径 ρ_M は始点 A で最小値を取り, B 点で最大値を取るのので, A, C 点での値を求め, r をこれより小にせねばならぬ。

カムの滑り率 σ_1 はカムの全面で $\sigma_1 = 1$ で, 従動節の σ_2 は AB の終点 B で最大となり, r が増す程減少する。戻り行程の σ_2 が往き行程より小さい。往き行程の終点 B の σ_{2max} は $r = 20\text{mm}$, $e = 5\text{mm}$ で -63.45 であるが, $e = 0$ の場合は -167.88 となり非常に大きいので, e を大きくすればよいように思われるが, そうすると基礎円の半径 R_0 が減少し, $R_0 < r$ となり, カムの設計ができなくなる恐れがある。

§ 6 最大押進め角を指定した等速度カムの基礎円半径

往き行程の最大押進め角 ϕ_{max} を指定し, θ_0 , H , e を指定したときの基礎円半径 R_0 は式 (32) によって求められるので, $\theta_0 = 120^\circ$, $H = 20\text{mm}$, $\phi_{max} = 10^\circ \sim 30^\circ$ の各 e に対する R_0 を求めたものを図 5 に示す。

かたより量 e の増加により R_0 は急に減少し $e = 180^\circ H / \pi \theta_0$ (この場合 $e = 9.549$) の所で $R_0 = e = 9.549\text{mm}$ となり, それを過ぎれば再び増大する。ただし押進め角は側に来る。 ϕ_{max} が増すと R_0 は非常に小さくなるのに注意が必要である。

§ 7 往き行程の終点 B における最大滑り率

図 4 から従動節の最大滑り率 σ_{2max} は往き行程の終点 B において生じ, $\theta = \theta_0$, $h = H$ となるので, MP は式 (27) より

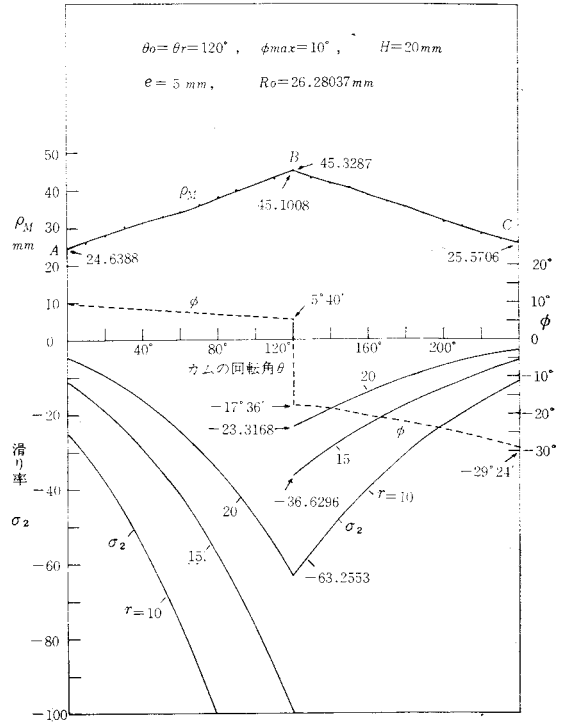


図 4 カムの曲率半径と従動節の滑り率

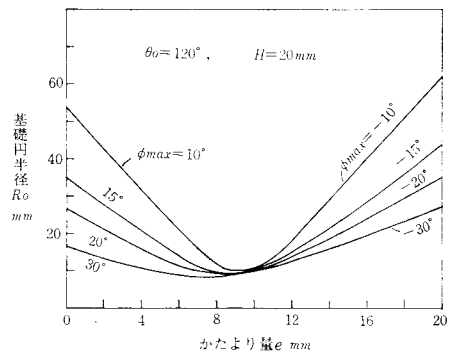


図 5 ϕ_{max} と e の変化による R_0

$$MP = \left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right)^2 + (k+H)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (34)$$

となり ρ_M は式(26)より

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right)^2 + (k+H)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + (k+H)^2 + 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} \right)^2 - 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} \right)} \dots \dots \dots (35)$$

となり、滑り率は式(30)より

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP}, \quad \sigma_2 = -\frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP}$$

となるので、 $\theta_0 = 120^\circ$ 、 $H = 20\text{mm}$ 、 $\phi_{max} = 10^\circ$ とし、 $r = 10 \sim 40\text{mm}$ 、 $e = 0 \sim 20\text{mm}$ とし、式(34)、(35)より MP 、 ρ_M を計算し式(30)より滑り率 σ_2 を求めたものを図6に示す。これから σ_{2max} を小さくするためには r を大きくし、 e を 6mm あるいは 12mm の近くを取る必要がある。なお $e = 17 \sim 20\text{mm}$ にとった場合の BC の始点 B の σ_2 を破線で示す。これは往き行程の場合より小さい。

そこで $\phi_{max} = 10^\circ$ 、 $\theta_0 = \theta_r = 120^\circ$ 、 $H = 20\text{mm}$ 、 $r = 10\text{mm}$ 、 $e = 15\text{mm}$ とし押進め角 ϕ は式(31)、(23)より、曲率半径 ρ_M は式(26)、(28)より、滑り率 σ_2 は式(27)、(29)、(30)よりカムの全輪郭にわたって求めたものを図7に示す。

$e > H/\theta_0$ の場合は往き行程の ϕ が $-$ になるが、漸近小となり、戻り行程では漸次増大する。 ρ_M は始点 A で最小で漸次増し、戻り行程で減少する。 σ_2 は往き行程において急激に増大し、 B 点で最大値をとり、戻り行程で負となり漸次減少し、 $e = 5\text{mm}$ の図4の場合とでは往き行程で滑り率が反対側である。

B 点における σ_{2max} を小さくするために r を増せばよいのであるが $R_0 - r$ が円弧従動節の場合の基礎円の半径となるので、 $R_0 - r$ を小さくさせぬために、 ϕ_{max} に無関係に R_0 を指定して $R_0 = 34.35959\text{mm}$ にとり、 $r = 25\text{mm}$ とし $e = 5, 25\text{mm}$ の場合の σ_2 の変化を図8に示す。 e を非常に大きくすると σ_{2max} は小さい値となるが、往き行程の最大押進め角 $\phi_{max} = 33^\circ 15'$ となって大きすぎる。

そこで $\theta_0 = 120^\circ$ 、 $R_0 = 34.35959\text{mm}$ 、 $r = 25\text{mm}$ 、 $e = 0 \sim 25\text{mm}$ の場合の B 点の σ_{2max} と ϕ_{max} を求めたものを図9に示す。破線は ϕ_{max} を示

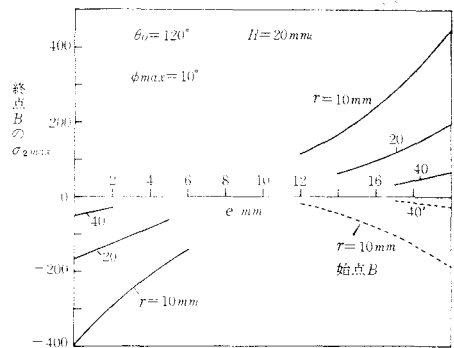


図6 e 、 r を変化させた場合の終点 B の σ_{2max}

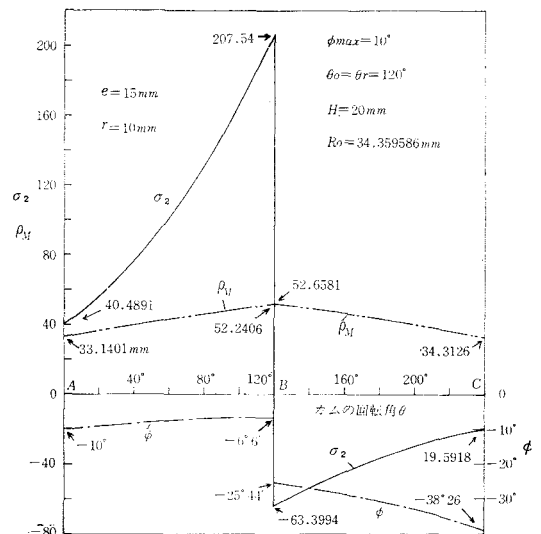


図7 $e = 15\text{mm}$ の場合の ϕ 、 ρ_M 、 σ_2

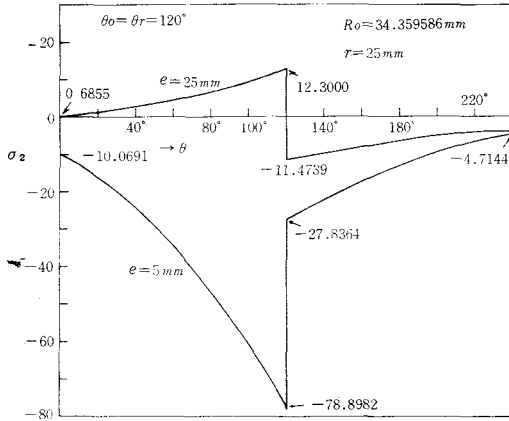


図8 e を変化させた σ_2

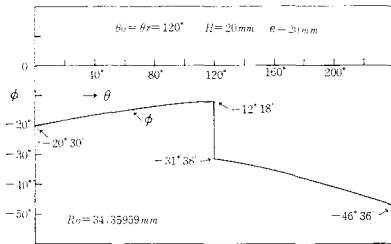


図10 $e=20\text{mm}$ の場合の押進め角 ϕ

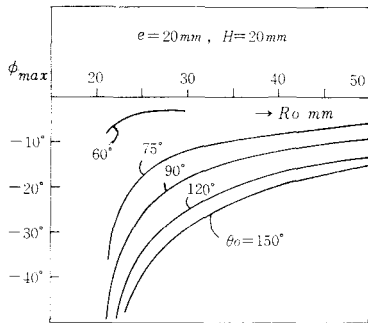


図11 θ_0 と R_0 の変化による ϕ_{max}

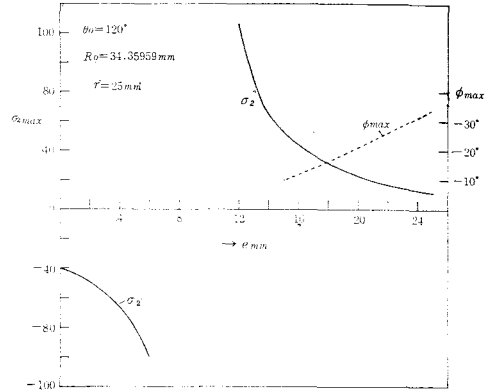


図9 e の変化による σ_{2max}

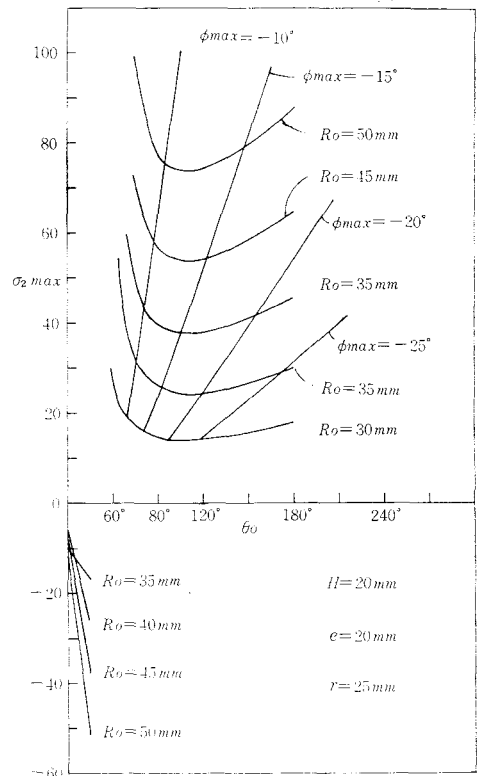


図12 θ_0 の変化による各 R_0 に対する σ_{2max}

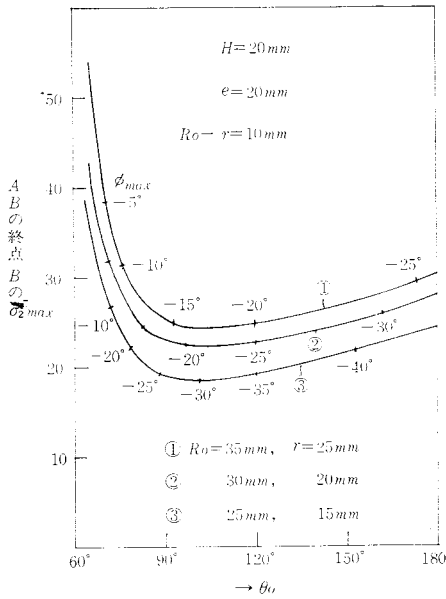
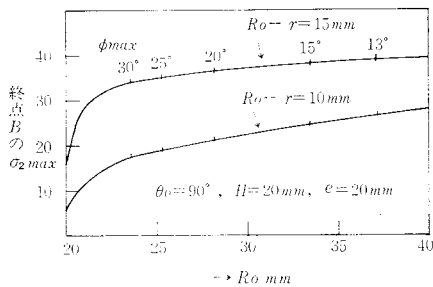
す。これから $\phi_{max} = -20^\circ$ まで許されるなら $e = 20\text{mm}$ となり、このときの $\sigma_{2mm} = 22$ となる。この場合の輪郭の押進め角の変化を図10に示す。図7の $e = 15\text{mm}$ の場合と同様な形となる。

各 θ_0 と R_0 に対するA点の最大押進め角を図11に示す。 R_0 が 25mm 以下では急に ϕ_{max} が大きくなる。 $\theta = 120^\circ$ の場合 $R_0 > 35\text{mm}$ が望ましい。

次に $H = 20\text{mm}$, $r = 25\text{mm}$, $e = 20\text{mm}$, $R_0 = 35 \sim 25\text{mm}$, $\theta_0 = 60^\circ \sim 180^\circ$ の行き行程の終点Bの σ_{2max} を求めたものを図12に示す。図から明らかなように R_0 の減少につれて σ_{2max} は減少し、同じ R_0 に対し σ_{2max} の最小値が存在する。 ϕ_{max} を指定して各 R_0 に対する θ_0 を式(31)より求めれば

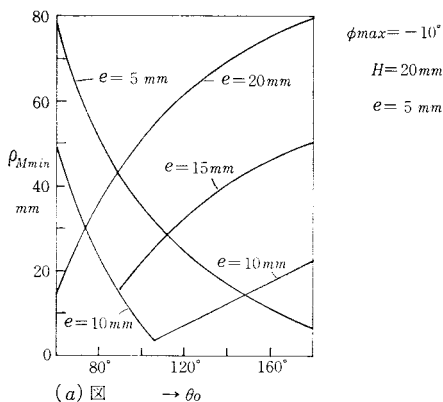
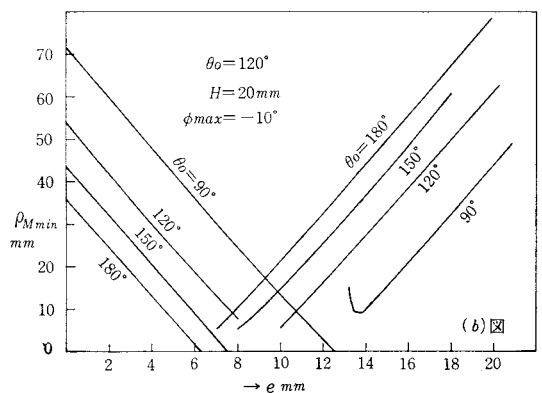
$$\theta_0 = \frac{180^\circ H}{\pi(\sqrt{R_0^2 - e^2} \tan \phi_{max} + e)} \quad (36)$$

となるので、これを上記データで求めたものを図12に示す。これから $\phi_{max} = -20^\circ$ 以下で σ_{2max} を15

図13 R_0-r を指定したときの θ_0 に対する σ_{2max} 図14 R_0-r を指定したときの R_0 に対する σ_{2max}

りも小でなければならぬので r の選定には A 点の曲率半径を求めておかねばならぬ。滑り率の点から云えば r が大きい程 σ_2 が小さくなってくる。

A 点の曲率半径を求めるには式(26)の θ を零とおいて次のように求められる。

(a) 図 図15 始点Aの最小曲率半径 ρ_{Mmin} 

(b) 図

以下にするためには $\theta_0 = 95^\circ$ 以下でなければならぬことがわかる。 $r = 25\text{mm}$ のとき $\theta_0 = 120^\circ$ の場合は σ_{2max} の最低が約25である。

そこで r を変えてみるために $R_0 - r = 10\text{mm}$ と指定し、 $H = 20\text{mm}$, $e = 20\text{mm}$, $\theta_0 = 60^\circ \sim 180^\circ$ の場合の各 R_0 に対する σ_{2max} を求めたものを図13に示す。これから R_0 の値が小さい程 σ_{2max} は小となり、同じ R_0 の場合 σ_{2max} を最小にする θ_0 が存在する。線上の点は式(36)より計算した ϕ_{max} を示す。これから R_0 を 30mm 以下にすると ϕ_{max} が非常に増すことがわかる。

図14は $\theta_0 = 90^\circ$ の場合 $R_0 - r$ を 10mm と 15mm と指定して $H = 20\text{mm}$, $e = 20\text{mm}$ の場合の各 R_0 に対する σ_{2max} を求めたもので、線上にそのときの ϕ_{max} を示す。これから $R_0 - r$ が小さい程 R_0 が小さい程 σ_{2max} は減少するが ϕ_{max} は増すことがわかる。

以上の結果 σ_{2max} を 10以下にするためには θ_0 を 90° 以下とし $R_0 - r$ と R_0 を小さくせねばならぬことがわかる。

§ 8 始点Aの曲率半径

図4, 7からわかるように等速度カムにおいて始点 A におけるカムの曲率半径が最小である。円弧従動節の半径 r はこの最小曲率半径よ

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} - e \right)^2 + k^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + k^2 + 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} \right)^2 - 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_o} \right)} \quad \dots\dots (37)$$

ただし、 k は式(1)あるいは式(33)より求められる。図15は $|\phi_{max}| = 10^\circ$ 、 $H = 20\text{mm}$ とした場合のA点の ρ_M で(a)図は $e = 5, 10, 20\text{mm}$ と指定したときの θ_o の変化に対する ρ_{Mmin} で $e \neq 10\text{mm}$ を境としかなり変化する。例えば $\theta_o = 120^\circ$ の場合は $e < 5\text{mm}$ あるいは $e > 15\text{mm}$ としなければ ρ_{Mmin} が小さいので、 r を大きくとり σ_{2max} を小さくすることができぬ。

(*)図は $\theta_o = 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ を指定し、 e の変化に対する ρ_{Mmin} で、曲線は折線の形となり、例えば $\theta_o = 90^\circ$ の場合 $\rho_{Mmin} > 30\text{mm}$ とするためには $e < 7\text{mm}$ あるいは $e > 17.5\text{mm}$ の必要がある。

押進め角 ϕ_{max} を指定すると R_o の変化がはげしいので、 R_o を指定してみる。 $H = 20\text{mm}$ 、 $R_o = 35\text{mm}$ の場合 $e = 5, 10, 15\text{mm}$ に対する θ_o の変化による ρ_{Mmin} を求めたものを図16(a)に示す。図から ρ_{Mmin} は余り e に影響されないことがわかる。次に $\theta_o = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ に対する e の変化による ρ_{Mmin} を求めたものを図16(b)に示す。図から θ_o にも影響されない。

そこで例えば $\theta_o = 90^\circ$ として $e = 0, 15\text{mm}$ の場合の各 R_o に対す ρ_{Mmin} を求めると図16(c)のようになり、 R_o の増加と共に ρ_{Mmin} は増加し、 $\rho_{Mmin} > 30\text{mm}$ のためには $R_o > 32.5\text{mm}$ の必要がある。

§ 9 終点Cの曲率半径

図4、7の場合、カムの曲率半径 ρ_M は始点Aにおいて最小であったが、これは $\theta_o = \theta_r = 120^\circ$ の場合であったので、 θ_o, θ_r の変化によってBC間の終点Cの曲率半径がどのように変化するかを調べる。BC間の曲率半径を示す式(28)の θ に $\theta = \theta_o + \theta_r$ を代入すればC点の曲率半径は次のように求められる。

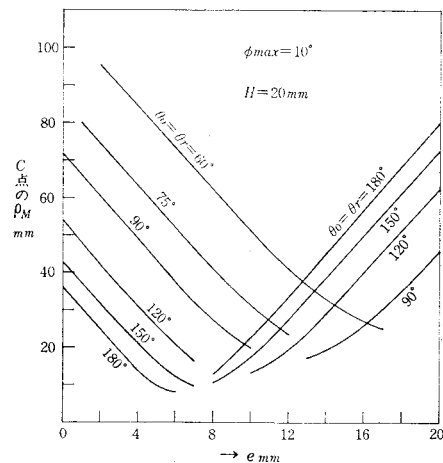


図17 終点Cの曲率半径 ρ_M

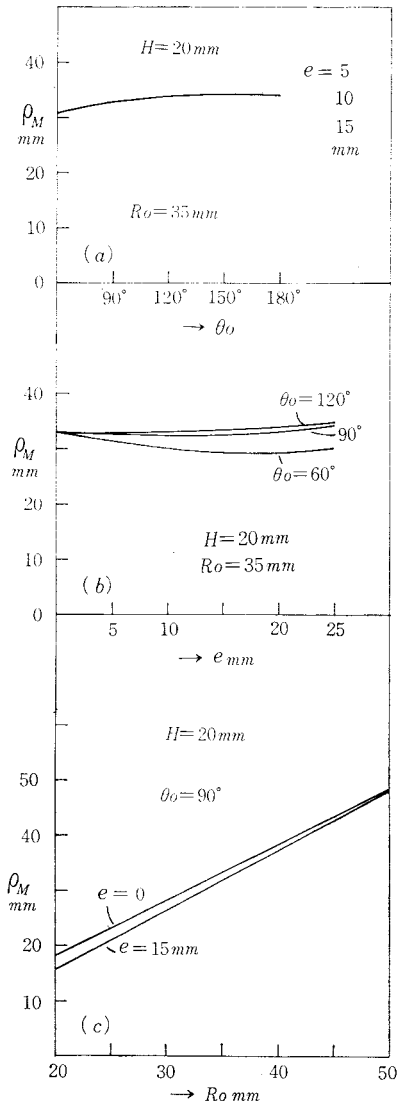


図16 R_o か e を指定したときのA点の ρ_{Mmin}

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + k^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + k^2 + 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right) + 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (38)$$

ただし、 k は式(33)を用いる。

図17は $\phi_{max}=10^\circ$ 、 $H=20mm$ を指定して $\theta_o=\theta_r=90^\circ \sim 180^\circ$ の場合の各 e に対する C 点の曲率半径を求めたものを示す。曲線はいずれも e の増加と共に ρ_M が減少するが再び逆に増加する。 $\theta_o \approx \theta_r$ の場合例えば $\theta_o=120^\circ$ で $\theta_r=60^\circ$ 、 120° の場合の ρ_M を計算した結果その値は余り変化せず、 $\theta_o=\theta_r=120^\circ$ の曲線とほとんど一致する。図15(b)の A 点の曲率半径と比較すると C 点の ρ_M の方が僅かに大きいので、 A 点が ρ_{Min} と考えてよい。

§10 戻り行程の始点 B における滑り率

戻り行程の始点 B の滑り率 σ_2 は行き行程の終点 B の σ_2 よりも前例においては小であったが、これを調べる。それには式(28)、(29)に $\theta=\theta_o$ を代入すれば次式のようになる。

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + (H+k)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + (H+k)^2 + 3e \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right) + 2 \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} \right)^2} \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$MP = \left\{ \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + (H+k)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (40)$$

両式より得られる ρ_M と MP を式(30)に代入すれば滑り率 σ_1 、 σ_2 が求められる。図18は $\theta_o=\theta_r=120^\circ$ 、 $\phi_{max}=10^\circ$ 、 $H=20mm$ の場合の σ_2 を $r=10, 15, 20, 30mm$ の場合の e に対し求めたもので、 σ_2 は e 、 r の増加と共に減少することがわかる。 e の増加につれ ϕ_{max} が一定の時は R_o が減少し、 $R_o > r$ の関係から、例えば $r=30mm$ の場合 $e < 4mm$ となる。図19は $\theta_o=\theta_r=90^\circ$ の場合を示す。同様な傾向である。

図20は戻り行程の始点 B における曲率半径 ρ_M を $\theta_o=90^\circ$ と 120° の場合において $\theta_r=60^\circ$ と 150° について各 e の場合に対し、 $\phi_{max}=10^\circ$ 、 $H=20mm$ の場合について求めたもので、図より $\theta_o \approx \theta_r$ の場合、 θ_r が θ_o に対しかなり異っても ρ_M の値には余り相違がなく、 θ_o に影響を受ける。これは R_o が θ_o と ϕ_{max} によって定まるからと思う。 θ_o が小さい方が ρ_M が小さく e の増加と共に ρ_M は減少し、再び増加する。

§11 滑り率からカムの寸法の選定

$H=20mm$ 、 $\theta_o=\theta_r=120^\circ$ を与えた往復円弧従動節の等速度カムの寸法を滑り率を考慮して

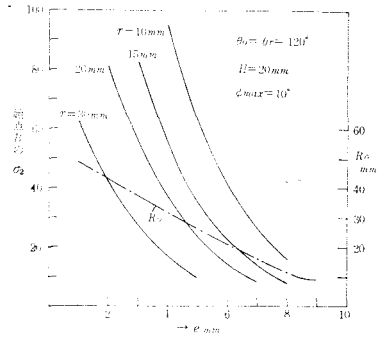


図18 戻り行程の始点 B の σ_2

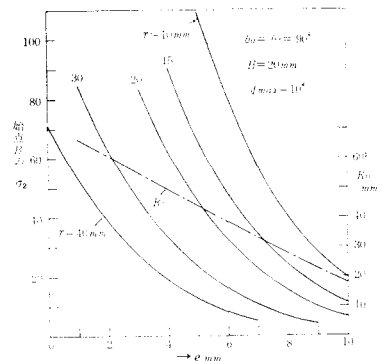


図19 戻り行程の始点 B の σ_2

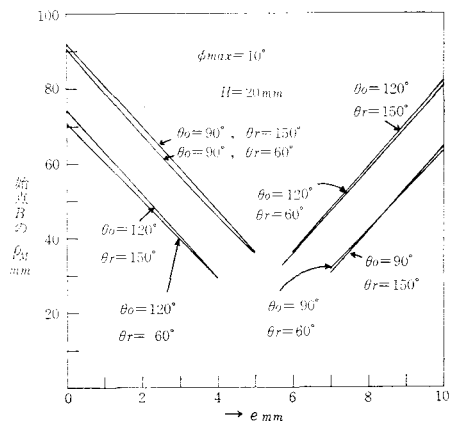


図20 戻り行程の始点 B の ρ_M

選定する。図12において明かなように最大押進め角をできるだけ小さく、最大滑り率 σ_{2max} をできるだけ小にするためには θ_0 を 90° にした方がよいが、 $\theta_0 = 120^\circ$ と指定された場合には r を大きく、 R_0 を小さくせねばならぬ。

図14からわかることは $R_0 - r$ を小にした方が σ_{2max} は小となるので $R_0 - r = 10\text{mm}$ とおき、 $r = 25\text{mm}$ とすれば $R_0 = 35\text{mm}$ となる。図5から $e = 15\text{mm}$ を選べば $\phi_{max} = -10^\circ$ となる。図6よりこれで σ_{2max} は約50となる。このことは図9からも明らかである。図11から $e = 20\text{mm}$ 、 $\theta_0 = 120^\circ$ 、 $R_0 = 35\text{mm}$ の場合は $\phi_{max} = -20^\circ$ となるので $e = 20\text{mm}$ 以上にはできない。 $\phi_{max} = -20^\circ$ とし $r = 25\text{mm}$ 、 $R_0 = 35\text{mm}$ にすれば $e = 20\text{mm}$ となり、図9より $\sigma_{2max} = 24$ である。また図12からも見当がつく。以上のことは図13からもわかる。

よって $\theta_0 = \theta_r = 120^\circ$ 、 $H = 20\text{mm}$ 、 $R_0 = 35\text{mm}$ 、 $e = 20\text{mm}$ 、 $r = 25\text{mm}$ のカムの輪郭を計算する。この場合 $\phi_{max} = -20^\circ$ 、 ρ_M は図16より A 点の $\rho_{Mmin} = 34\text{mm} > r = 25\text{mm}$ なのでよい。

図21の外側の曲線は $r = 0$ のナイフエッジの場合を示し、内側の曲線は $r = 25\text{mm}$ の円弧従動節の場合を示す。内側のカムの輪郭の場合 $\theta = 110^\circ \sim 120^\circ$ の所で曲線が交叉する。これは $r = 10\text{mm}$ とした場合でも同様なことが生ずる。これはこの部分の ρ_M が r よりも小さいためではなく、従動節の上昇点における従動節の停止期間 $\theta_d = 0$ としたためである。

そこで AB の終点 B の x_T 、 y_T の位置を B 、 BC の始点 B の x_T 、 y_T の位置を B' とし、 $\angle BOB'$ の角に等しく少くとも θ_d を取れば B' 点を B 点に重ねることができるので、カムのデータとして θ_d を $\angle BOB'$ 以上に与えればよい。図に接触点の軌跡を示す。

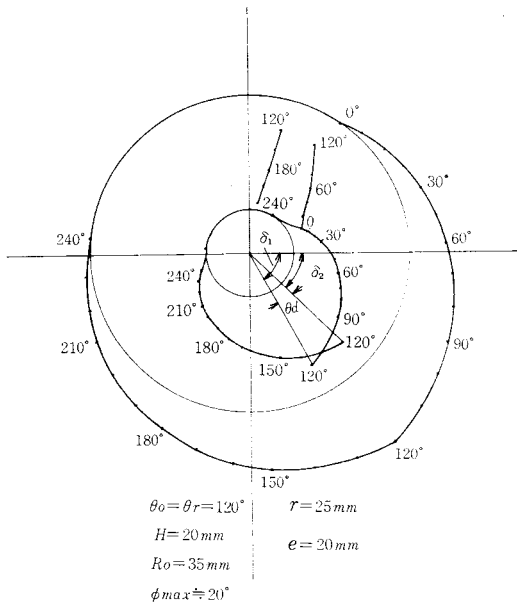


図21 カムの輪郭と接触点の軌跡

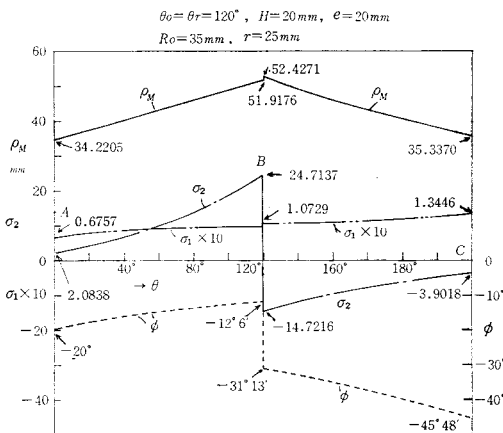


図22 選定されたカムの ϕ 、 ρ_M 、 σ_1 、 σ_2

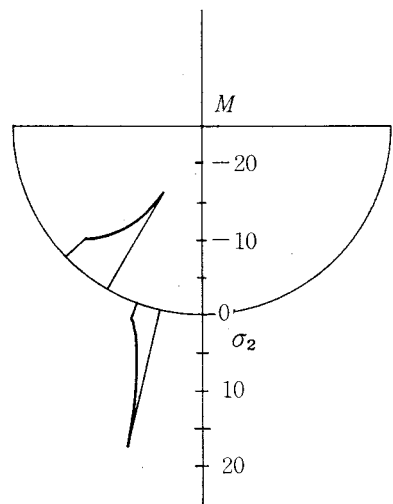


図23 円弧従動節上の滑り率

図22は上記のデータのカムの押進め角 ϕ , 曲率半径 ρ_M , 滑り率 σ_1, σ_2 を求めたものを示す。 $\rho_{Mmin} = 34.2205mm$ で始点Aにあり, $\sigma_{2max} = 24.7137$ でB点に存在する。かたより量 e と ϕ_{max} とを大きくとったことによってかなり小さくすることができた。 σ_1 はほぼ1であるので10倍して示してある。

往き行程の ϕ_{max} は始点Aで -20° , 戻り行程の ϕ_{max} は終点Cで $-45^\circ 48'$ となった。

図23は従動節の接触点上に滑り率 σ_2 を示したもので, 円弧上の接触範囲は狭く, 接触点は押進め角 ϕ によって表わされる。滑り率が最大の点および方向の変わる点は摩耗が大となり易い。

§12 従動節の上昇点における最小の停止期間

かたより円弧従動節においては図21で明らかにように従動節の上昇点において停止期間がない場合すなわち $\theta_d = 0$ の場合にはカムの曲線が交叉して設計できない。そこでカムが設計できる最小の停止期間 θ_{dmin} を求める。

カムの回転角 θ が θ_0 になったときのすなわちB点の座標 x_T, y_T を求め, OB が横軸となす角を δ_1 とすればこの点では $h = H$ であるから式(15), (16), (11)から

$$X_T = \frac{r \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right)}{\sqrt{\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right)^2 + \left(H + \sqrt{R_0^2 - e^2} \right)^2}},$$

$$Y_T = \sqrt{R_0^2 - e^2} - \frac{r (H + \sqrt{R_0^2 - e^2})}{\sqrt{\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_0} - e \right)^2 + (H + \sqrt{R_0^2 - e^2})^2}} \quad (41), (42)$$

$$x_T = (X_T + e) \cos \theta_0 + (Y_T + H) \sin \theta_0 \quad (43)$$

$$y_T = (Y_T + H) \cos \theta_0 - (X_T + e) \sin \theta_0 \quad (44)$$

$$\tan \delta_1 = \frac{y_T}{x_T} \quad (45)$$

が得られるので, これから δ_1 を求める。

次に θ が $\theta_0 + \theta_d$ となったときの x'_T, y'_T を求めるには $h = H$ と式(15), (16), (11)から

$$X'_T = \frac{-r \left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)}{\sqrt{\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + (H + \sqrt{R_0^2 - e^2})^2}} \quad (46)$$

$$Y'_T = \sqrt{R_0^2 - e^2} - \frac{r (H + \sqrt{R_0^2 - e^2})}{\sqrt{\left(\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{H}{\theta_r} + e \right)^2 + (H + \sqrt{R_0^2 - e^2})^2}} \quad (47)$$

$$x'_T = (X'_T + e) \cos(\theta_0 + \theta_d) + (Y'_T + H) \sin(\theta_0 + \theta_d) \quad (48)$$

$$y'_T = (Y'_T + H) \cos(\theta_0 + \theta_d) - (X'_T + e) \sin(\theta_0 + \theta_d) \quad (49)$$

$$\tan \delta_2 = \frac{y'_T}{x'_T} \quad (50)$$

が得られる。これから δ_2 が求められる。

今 $\theta_d = \theta_{dmin}$ のときは $x_T = x'_T, y_T = y'_T$ となるから式(43), (48)と式(44), (49)より θ_{dmin} が求まるはずであるが計算が複雑なので $\theta_d = 0$ とした B' 点の座標 x'_T, y'_T を求めて, δ_2 を求めれば $|\delta_2| > |\delta_1|$ であれば $\theta_d = 0$ であってもよいが図21の場合は $|\delta_1| > |\delta_2|$ であるので次式のように $|\delta_1|$ と $|\delta_2|$ の差

を取りこれを θ_{dmtn} とすればよい。

$$|\delta_1| - |\delta_2| = \theta_{dmtn} \dots\dots\dots (51)$$

例えば図21のデータ $\theta_o = \theta_r = 120^\circ$, $H = 20\text{mm}$, $e = 20\text{mm}$, $R_0 = 35\text{mm}$, $r = 25\text{mm}$ のとき,
B点では

$$\tan \delta_1 = \frac{y_T}{x_T} = \frac{-24.919270}{13.647586} = -1.825910, \quad \delta_1 = -61^\circ 18'$$

$$B' \text{点では } \tan \delta_2 = \frac{y'_T}{x'_T} = \frac{-19.766711}{20.165071} = -0.980245, \quad \delta_2 = -44^\circ 25'$$

$$\text{故に } \theta_{dmtn} = \delta_1 - \delta_2 = 61^\circ 18' - 44^\circ 25' = 16^\circ 53'$$

もし $r = 10\text{mm}$ の場合は,

$$\tan \delta_1 = \frac{y_T}{x_T} = \frac{-34.976856}{24.776151} = -1.411715, \quad \delta_1 = -54^\circ 41'$$

$$\tan \delta_2 = \frac{y'_T}{x'_T} = \frac{-32.915833}{27.383145} = -1.202047, \quad \delta_2 = -50^\circ 14'$$

$$\theta_{dmtn} = 54^\circ 41' - 50^\circ 14' = 4^\circ 27'$$

以上により半径 r が大きい程 θ_d の期間を長くとらねばならぬ。もちろん $r = 0$ のときは $\theta_d = 0$ にすることができる。

このことはローラー従動節の等速度カムの場合にも成立し、一般に $\rho_{Mmin} < r$ の場合カムが設計できないことはよく知られているが、 $\rho_{Mmin} > r$ であっても θ_d をすくなくとも上記角度以上に取らなければ等速度カムの設計ができない。

§13 結 論

以上により 往復円弧従動節をもつ等速度カムの滑り率を論じたが一般にカムの滑り率はほぼ1に近いのに反し、従動節の滑り率は往き行程の終点で非常に大きくなるので、押進め角とかたより量を大きくしなければならない。

円弧従動節の場合例えローラ従動節であっても上昇点の停止期間 θ_d をある値以上にとらねばカムが設計できなくなり、最小曲率半径 $\rho_{Mmin} < r$ と同様なことを生ずることが明らかとなった。

$180^\circ H / (\pi \theta_o) \approx e$ の附近については未だ問題点があるがそれについては今後の研究に待つ。

参 考 文 献

- 1) 糸島寛典：往復等加速度カムの滑り率の研究（第1報）呉工業高等専門学校研究報告，第6巻，第1号，47～59頁，1970.
- 2) 糸島寛典：カムの滑り率の研究，呉工業高等専門学校研究報告，（第1報）第1巻，第1号，47～58頁，1965，（第2報）第2巻，第1号，75～84頁，1966，（第3報）第3巻，第1号，63～72頁，1967，（第4報）第4巻，第1号，27～37頁，1968，（第5報）第5巻，第1号，33～41頁，1969.
- 3) 糸島寛典：円板カムの滑り率について，呉工業高等専門学校研究報告，第5巻，第2号，29～40頁，1970.

（昭和46年1月8日受付）

4 歯車リンク機構の研究 (第3報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on 4-Gear Drives (Report 3)

Hironori ITOSHIMA

In Report 2, we got the seven sets of the 4-gear drives in which when the driving gear rotates one rotation the driven gear rotates one rotation and when the driving gear rotates one more rotation, the driven gear rotates one inverse rotation.

In this report, the angular acceleration of the driven gear at the starting point or dwelling point of the driven gear in these seven mechanisms are examined, and the best kinematic 4-gear drive is obtained.

§ 1 緒 言

前報^{1) 2)}において4歯車リンク機構の運動すなわち被動歯車の角変位, 角速度, 角加速度を求める理論式を導き, さらに原動歯車の1回転に対して被動歯車が同方向に1回転し, つづいて原動歯車の1回転に対し被動歯車が反対方向に1回転するいくつかの機構の各リンクの長さおよび歯車の歯数を求めた。

本報告においてはこのような運動を満足するいくつかの機構の中で被動歯車の角加速度の変化が最もはげしくないものすなわち最大角加速度が最も低いものを求める。

§ 2 記 号

Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 : 歯車 1, 2, 3, 4 の歯数,
 a, b, c, d : リンク 6, 7, 8, 5 の長さ,
 ω_1, ω_4 : 歯車 1, 4 の角速度,
 θ, ϕ : 運動の始点の位置からの歯車 1, 4 の回転角,
 $\theta_6, \theta_7, \theta_8$: リンク 6, 7, 8 の回転角
 $\theta_{60}, \theta_{70}, \theta_{80}$: 始点の位置におけるリンク
 6, 7, 8, が水平軸となす角
 $\theta_{6m}, \theta_{7m}, \theta_{8m}$: 被動歯車が逆転する位置に
 おけるリンク 6, 7, 8 が水平
 軸となす角
 α_4 : 被動歯車の角加速度
 ϕ_6, ϕ_7, ϕ_8 : リンク 6, 7, 8 が固定リンク
 に対する回転角

m : モジュール
 r_1, r_4 : 歯車 1, 4 のピッチ円半径
 $\omega_6, \omega_7, \omega_8$: リンク 6, 7, 8 の角速度
 φ : リンク 6 と 8 のなす角

§ 3 4 歯車リンク機構の被動歯車の角加速度

図 1 に示す 4 歯車リンク機構において, 原動歯車 1 と被動歯車 4 の回転角をそれぞれ θ, ϕ

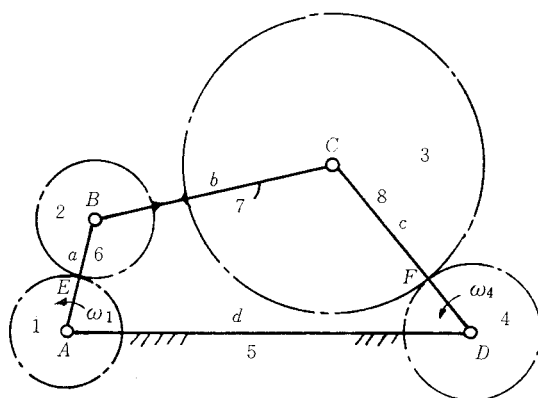


図 1 4 歯車リンク機構の略図

とすれば前報¹⁾より次式が得られた。

$$\theta = \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) (\phi_6 - \theta_{60}) - \frac{Z_2}{Z_1} (\phi_7 - \theta_{70}) \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi = \left(1 + \frac{Z_3}{Z_4}\right) (\phi_8 - \theta_{80}) - \frac{Z_3}{Z_4} (\phi_7 - \theta_{70}) \dots \dots \dots (2)$$

原動歯車1と被動歯車4の角速度をそれぞれ ω_1 , ω_4 とすれば前報²⁾により次の関係式が得られた。

$$\frac{\omega_4}{\omega_1} = \frac{\dot{\phi}}{\dot{\theta}} = \frac{\frac{d}{r_4} \sin \phi_6 - \sin(\phi_8 - \phi_6)}{\frac{d}{r_1} \sin \phi_8 - \sin(\phi_8 - \phi_6)} \dots \dots \dots (3)$$

次に被動歯車の角加速度を α_4 とすれば、この角加速度は前報²⁾より次のように得られた。

$$\frac{\alpha_4}{(\omega_1)^2} = \frac{\alpha_4}{(\dot{\phi}_6)^2} \left(\frac{\dot{\phi}_6}{\omega_1} \right)^2 \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{\alpha_4}{(\dot{\phi}_6)^2} = \frac{Z_3 + Z_4}{Z_4} \cdot \frac{a \cos(\phi_7 - \phi_6) - c \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2 + b \left(\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{c \sin(\phi_8 - \phi_7)} \\ - \left(\frac{Z_3 + Z_4}{Z_4} \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \cdot \frac{a \sin(\phi_7 - \phi_6)}{c \sin(\phi_8 - \phi_7)} + \frac{Z_3}{Z_4} \right) \frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\dot{\phi}_6}{\omega_1} = \frac{b \sin(\phi_8 - \phi_7)}{b \left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \sin(\phi_8 - \phi_7) + a \frac{Z_2}{Z_1} \sin(\phi_8 - \phi_6)} \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} = \frac{a \cos(\phi_8 - \phi_6) + b \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2 - c \left(\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{b \sin(\phi_8 - \phi_7) + a \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \right) \sin(\phi_8 - \phi_6)} \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} = - \frac{a \sin(\phi_8 - \phi_6)}{b \sin(\phi_8 - \phi_7)}, \quad \frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} = - \frac{a \sin(\phi_7 - \phi_6)}{c \sin(\phi_8 - \phi_7)} \dots \dots \dots (8), (9)$$

ただし、 a , c , ϕ_8 , ϕ_7 は次式で与えられる。

$$a = r_1 + r_2 = \frac{m}{2} (Z_1 + Z_2), \quad c = r_3 + r_4 = \frac{m}{2} (Z_3 + Z_4) \dots \dots \dots (10), (11)$$

$$\sin(\phi_8 - \delta) = \frac{\frac{1}{2}(a^2 - b^2 + c^2 + d^2) - adc \cos \phi_6}{c(a^2 + d^2 - 2adc \cos \phi_6) - \frac{1}{2}}, \quad \tan \delta = \frac{d - a \cos \phi_6}{a \sin \phi_6} \dots \dots \dots (12)$$

$$\tan \phi_7 = \frac{c \sin \phi_8 - a \sin \phi_6}{d + c \cos \phi_8 - a \cos \phi_6} \dots \dots \dots (13)$$

以上の各式において ϕ_6 をパラメーターとして ϕ_6 を任意に与えれば式(12)より ϕ_8 が求められ、それにより式(13)より ϕ_7 が求められる。 ϕ_6 , ϕ_7 , ϕ_8 がわかれば式(8), (9), (7), (6), (5), (4)の順に計算することにより角加速度 $\alpha_4/(\omega_1)^2$ が求められ、また角速度 ω_4/ω_1 は式(3)より求められ、その時の θ は式(1)より θ_{60} , θ_{70} がわかれば求められる。 θ_{60} , θ_{70} の求め方は前報¹⁾に述べられた。

最大角加速度

被動歯車の角加速度の計算式が非常に複雑なので、この式を微分して最大角加速度を求めることは困難なので、前報²⁾の角加速度線図からわかることは $\omega_4/\omega_1 = 0$ の附近で角加速度が最大に近い値をとることである。そこで $\omega_4/\omega_1 = 0$ のときの $\alpha_4/(\omega_1)^2$ の値を求めて各機構の運動を比較する。

式(3)の $\omega_4/\omega_1 = 0$ とおけば分子が零となることから次式が得られる。

$$\sin(\phi_8 - \phi_6) = -\frac{d}{r_4} \sin \phi_6 \dots\dots\dots (14)$$

しかるに前報²⁾より

$$b \sin(\phi_8 - \phi_7) = d \sin \phi_8 - a \sin(\phi_8 - \phi_6)$$

$$b \sin(\phi_6 - \phi_7) = d \sin \phi_6 - c \sin(\phi_8 - \phi_6)$$

が与えられているので、式(14)を代入すれば

$$\sin(\phi_8 - \phi_7) = \frac{d}{b} \sin \phi_8 - \frac{ad}{b r_4} \sin \phi_6 \dots\dots\dots (15)$$

$$\sin(\phi_6 - \phi_7) = \left(-\frac{d}{b} - \frac{cd}{br_4} \right) \sin \phi_6 \dots\dots\dots (16)$$

が得られるので、この両式と式(14)とを式(8)、(9)に代入すれば $\dot{\phi}_7/\dot{\phi}_6$ 、 $\dot{\phi}_8/\dot{\phi}_6$ は次式のようにになる。

$$\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} = \frac{ad \sin \phi_6}{dr_4 \sin \phi_8 - ad \sin \phi_6}, \quad \frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} = \frac{(ar_4 - ac) \sin \phi_6}{cr_4 \sin \phi_8 - ac \sin \phi_6} \dots\dots\dots (17), (18)$$

§ 4 正逆1回転の機構

前報²⁾において原動歯車の初めの1回転で被動歯車が同方向に1回転し、次の1回転で被動歯車が逆方向に1回転する機構として表1に示す7通りの機構が得られた。これら7種類の機構の中で $\omega_4/\omega_1 = 0$ のときの角加速度の最も低い値のものを選ぶ。

表1 正逆1回転の機構 ($m=0.75$)

No.	bmm	dmm	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
1	114.6	114.6	44	44	59	36
2	"	"	"	"	63	35
3	"	"	"	"	68	34
4	"	"	"	"	74	33
5	"	"	48	48	80	36
6	"	"	"	"	89	35
7	120	"	"	"	120	33

§ 5 被動歯車の出発位置と最大角加速度

この機構は原動歯車の2回転に被動歯車が正逆の1回転を行うものであるが、図2に示すように歯車1、2の中心A、Bを結ぶ線が歯車3、4の接点Fを通るとき歯車4の運動は停止する。この位置を歯車4の運動の出発位置とし、このとき $\omega_4/\omega_1 = 0$ なので、この位置における歯車4の角加速度を求めればよい。

リンク6、7、8が固定リンク5となす角を ϕ_6 、 ϕ_7 、 ϕ_8 とし、BFの長さを x とすれば、 $\angle AFD = \phi_8 - \phi_6$ 、 $\angle BCD = \phi_8 - \phi_7$ 、 $\angle CBF = \phi_7 - \phi_6$

から次の各式が得られる。

$$\cos(\phi_8 - \phi_6) = \frac{r_4^2 + (a+x)^2 - d^2}{2r_4(a+x)} \dots\dots (19)$$

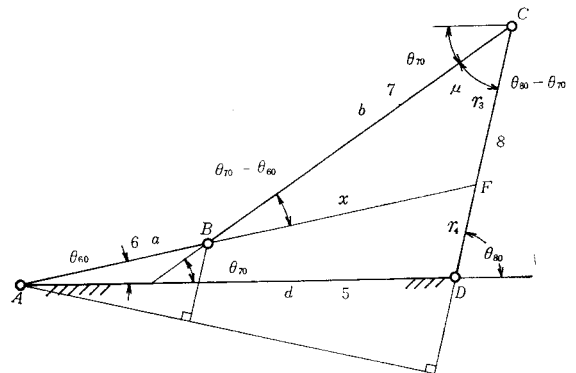


図2 被動歯車の出発位置

$$\cos(\phi_8 - \phi_7) = \frac{b^2 + r_3^2 - x^2}{2br_3} \dots\dots\dots (20)$$

$$\cos(\phi_7 - \phi_6) = \frac{b^2 + x^2 - r_3^2}{2bx} \dots\dots\dots (21)$$

$$x \sin(\phi_8 - \phi_6) = b \sin(\phi_8 - \phi_7) \dots\dots\dots (22)$$

$$x \sin(\phi_7 - \phi_6) = r_3 \sin(\phi_8 - \phi_7) \dots\dots\dots (23)$$

式(22), (23)を式(8), (9), (6)に代入すれば次式が得られる。

$$\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} = -\frac{a}{x}, \quad \frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} = -\frac{ar_3}{cx}, \quad \frac{\dot{\phi}_6}{\omega_1} = \frac{xZ_1}{(Z_1 + Z_2)x + aZ_2} \dots\dots\dots (24), (25), (26)$$

また, 式(7), (8)は次のようになる。

$$\frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} = \frac{a \cos(\phi_8 - \phi_6) + b \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(-\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2 - c \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{\left(x + \frac{aZ_2}{Z_1 + Z_2} \right) \sin(\phi_8 - \phi_6)} \dots\dots\dots (27)$$

$$\frac{\alpha_4}{(\dot{\phi}_6)^2} = \frac{Z_3 + Z_4}{Z_4} \cdot \frac{a \cos(\phi_7 - \phi_6) - c \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2 + b \left(-\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{-\frac{cx}{b} \sin(\phi_8 - \phi_6)} - \left\{ \frac{Z_3 + Z_4}{Z_4} \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right) + \frac{Z_3}{Z_4} \right\} \frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} \dots\dots\dots (28)$$

$x = BF$ の長さがわかれば式(19)~(21)から $\phi_8 - \phi_6$, $\phi_8 - \phi_7$, $\phi_7 - \phi_6$ の角がわかり, 式(24), (25)から各リンクの角速度比がわかり, 式(27), (28)より $\alpha_4/(\dot{\phi}_6)^2$ が求められ, 式(26)とで式(4)を用いて被動歯車4の角加速度 $\alpha_4/(\omega_1)^2$ が求まる。実際の計算はこの方式によるが, 次に $\alpha_4/(\omega_1)^2$ を x で表すと長い複雑な計算から次式が得られる。

$$\frac{\alpha_4}{(\omega_1)^2} = \frac{2r_1^2 [ar_3r_4(a+x)(r_3^2 - b^2 + x^2) - cr_4(a+x)^2(r_3^2 - x^2 - b^2) - cr_3x^2\{r_4^2 + (a+x)^2 - d^2\}]}{axr_4c(r_2+x)^2\sqrt{4r_4^2(a+x)^2 - \{r_4^2 + (a+x)^2 - d^2\}^2}} \dots\dots\dots (29)$$

前報¹⁾においては出発時の ϕ_6 , ϕ_7 , ϕ_8 をそれぞれ θ_{60} , θ_{70} , θ_{80} で示している。よって

$$\cos\theta_{60} = \cos\phi_6 = \frac{(a+x)^2 + d^2 - r_4^2}{2(a+x)d}, \quad \cos\theta_{80} = \cos\phi_8 = \frac{(a+x)^2 - d^2 - r_4^2}{2r_4d} \dots\dots\dots (30), (31)$$

$$\cos\mu = \cos(\theta_{80} - \theta_{70}) = \cos(\phi_8 - \phi_7) = \frac{b^2 + r_3^2 - x^2}{2br_3} \dots\dots\dots (32)$$

となる。

出発位置における x を求めるためには前報¹⁾ から次式を解けばよい。

$$x^3 + \frac{a(2c-r_4)}{c}x^2 + \frac{(c-r_4)(a^2-d^2+cr_4)-b^2r_4}{c}x + \frac{ar_4(c^2-2cr_4+r_4^2-b^2)}{c} = 0 \dots\dots\dots (33)$$

今これを $x^3 + Ax^2 + Bx + C = 0$ の形で示せば

$$A = \frac{a(2c-r_4)}{c}, \quad B = \frac{(c-r_4)(a^2-d^2+cr_4)-b^2r_4}{c}, \quad C = \frac{ar_4(c^2-2cr_4+r_4^2-b^2)}{c} \dots\dots\dots (34)$$

となる。表1のデータをモジュール $m = 0.75\text{mm}$ で式(10), (11)を用いて a , c を計算し, 式(34)に代入して A , B , C を求めたものを表2で示す。

この3次方程式を計算機を用いて3根を求めれば2根は負数となるので採用せず, 一つの根は正数なので採用し表3にそれを示す。

表2 被動歯車の出発位置における $BF=x$ の値

No.	A	B	C	x
1	53.49473684	-12158.14618	-158112.1002	93.90623118
2	54.21428571	-12123.01045	-148205.5855	93.09979488
3	55.00000000	-12082.03500	-137312.0100	92.19796233
4	58.82242991	-12036.61356	-125826.2914	91.23095080
5	60.82758621	-11834.36690	-136673.9255	89.13807455
6	61.83870968	-11764.91958	-122131.2856	87.86970028
7	64.23529412	-11833.05441	-96088.2353	86.12082060

求められた x を前式に代入して各項を計算したものを表3に示す。

表3 各機構の出発時における各値

No.	1	2	3	4	5	6	7
$x \text{ mm}$	93.906231	93.099795	92.197962	91.197962	89.138075	87.869700	86.120821
θ_{60} 度	2.63722	3.01551	3.39111	3.73213	4.03795	4.46949	4.76100
θ_{70} 度	6.96193	8.44909	10.18532	12.12524	13.04077	15.89893	21.51333
θ_{80} 度	25.62860	30.35945	35.50951	40.80228	40.74799	47.34652	54.99182
μ 度	18.66667	21.91036	25.32419	28.67704	27.70722	31.44759	33.47849
$\dot{\phi}_7 / \dot{\phi}_6$	-0.351414	-0.334458	-0.357925	-0.361719	-0.403868	-0.409698	-0.418017
$\dot{\phi}_8 / \dot{\phi}_6$	-0.218247	-0.227866	-0.238617	-0.250161	-0.278530	-0.294057	-0.327857
$\dot{\phi}_6 / \omega_1$	0.425276	0.424726	0.424102	0.423420	0.415996	0.414989	0.413562
$\ddot{\phi}_7 / (\dot{\phi}_6)^2$	0.976012	0.809712	0.675568	0.569373	0.656342	0.538212	0.429233
$\alpha_4 / (\dot{\phi}_6)^2$	8.638301	7.570225	6.746594	6.143825	6.413594	5.812354	5.480951
$\alpha_4 / (\omega_1)^2$	1.562320	1.365610	1.213457	1.101494	1.109891	1.000984	0.937426

表3から出発位置における角加速度は表1の番号順に減少し、No.7のものが最も低く $\alpha_4 / (\omega_1)^2 = 0.93743$ である。

§6 被動歯車の停止位置と最大角加速度

原動歯車1が図2の出発位置から出発し、回転するすなわち θ が増すにつれ被動歯車4の角速度は増加するが角加速度は減少し零となり、次に負の加速度すなわち角減速度が増し、角速度が零となるすなわち被動歯車が停止するとき負の角加速度は最大に近い値となり、次に被動歯車が逆転する。この位置を図3に示す。図においてリンク6(BA)の延長線がF点を通る位置で被動歯車4は回転を停止する。このときのAFの長さを x とすれば

$$\begin{aligned} \cos(\phi_8 - \phi_6) &= \cos(\theta_{8m} - \theta_{6m}) = \cos(\theta_{8m} - \theta_{6m}' - 180^\circ) = -\cos(\theta_{8m} - \theta_{6m}') = -\cos\varphi \\ \cos(\theta_{8m} - \theta_{6m}') &= (x^2 + r_4^2 - d^2) / (2xr_4) \end{aligned}$$

から次式が成立する。他も同様

$$\cos(\phi_8 - \phi_6) = \frac{d^2 - x^2 - r_4^2}{2xr_4} \dots\dots\dots (35)$$

$$\cos(\phi_8 - \phi_7) = \frac{b^2 + r_3^2 - (a+x)^2}{2br_3} \dots\dots\dots (36)$$

$$\cos(\phi_7 - \phi_6) = -\frac{b^2 + (a+x)^2 - r_3^2}{2b(a+x)} \dots\dots\dots (37)$$

また ϕ_8 , ϕ_7 , ϕ_6 はそれぞれ図の停止時の θ_{8m} , θ_{7m} , θ_{6m} であるので,

$$(a+x)\sin(\phi_8 - \phi_6) = -b\sin(\phi_8 - \phi_7) \dots\dots\dots (38)$$

$$r_3\sin(\phi_8 - \phi_7) = -(a+x)\sin(\phi_7 - \phi_6) \dots\dots\dots (39)$$

となるので, これを式(8), (9), (6)に代入すれば次式を得る。

$$\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} = \frac{a}{a+x}, \quad \frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} = \frac{ar_3}{c(a+x)}, \quad \frac{\dot{\phi}_6}{\omega_1} = \frac{(a+x)Z_1}{(a+x)(Z_1+Z_2)-aZ_2} \dots\dots\dots (40), (41), (42)$$

また式(7), (5)は次式のようになる。

$$\frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} = \frac{a \cos(\phi_8 - \phi_6) + b \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(-\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2 - c \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{\left\{ \frac{aZ_2}{Z_1+Z_2} - (a+x) \right\} \sin(\phi_8 - \phi_6)} \dots\dots\dots (43)$$

$$\begin{aligned} \frac{\alpha_4}{(\dot{\phi}_6)^2} &= \frac{Z_3+Z_4}{Z_4} \times \frac{a \cos(\phi_7 - \phi_6) - c \cos(\phi_8 - \phi_7) \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right)^2 + b \left(-\frac{\dot{\phi}_7}{\dot{\phi}_6} \right)^2}{-\frac{c(a+x)}{b} \sin(\phi_8 - \phi_6)} \\ &\quad - \left\{ \frac{Z_3+Z_4}{Z_4} \cdot \frac{Z_2}{Z_1+Z_2} \left(-\frac{\dot{\phi}_8}{\dot{\phi}_6} \right) + \frac{Z_3}{Z_4} \right\} \frac{\ddot{\phi}_7}{(\dot{\phi}_6)^2} \dots\dots\dots (44) \end{aligned}$$

さらに x が求めれば次式も x で表わされる。

$$\cos(\theta_{8m} - \theta_{6'm}) = \frac{r_4^2 + x^2 - d^2}{2r_4x}, \quad \sin \theta_{6'm} = \frac{r_4}{d} \sin(\theta_{8m} - \theta_{6'm}) \dots\dots\dots (45), (46)$$

$$\sin \theta_{8m} = -\frac{x}{d} \sin(\theta_{8m} - \theta_{6'm}), \quad \sin(\theta_{8m} - \theta_{7m}) = \frac{a+x}{b} \sin(\theta_{8m} - \theta_{6'm}) \dots\dots\dots (47), (48)$$

停止位置における x を求めるには前報¹⁾ から次式を解けばよい。

$$x^3 + \frac{a(c+r_4)}{c}x^2 - \frac{(c-r_4)(d^2-cr_4)+r_4(b^2-a^2)}{c}x - \frac{a(c-r_4)(d^2-r_4^2)}{c} = 0 \dots\dots\dots (49)$$

今この式を $x^3 + A'x^2 + B'x + C' = 0$ の3次式の形で示せば A' , B' , C' は次式のようになる。

$$A' = \frac{a(c+r_4)}{c}, \quad B' = -\frac{(c-r_4)(d^2-cr_4)+r_4(b^2-a^2)}{c}, \quad C' = -\frac{a(c-r_4)(d^2-r_4^2)}{c} \dots\dots\dots (50)$$

表1の各データを式(50)に入れて A' , B' , C' を計算し, さらに電子計算機を用いて3次式を解けば1つの正根と2つの負根が得られるが, 負根は採用されない。これらの値を表4に示す。

各機構に対して得られた x を前記の各式に代入して計算したものを表5に示す。

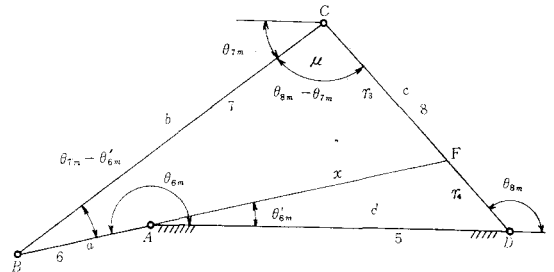


図3 被動歯車の停止位置

表4 被動歯車の停止位置における $AF(=x)$ の値

No.	A'	B'	C'	x
1	45.50526316	-12421.7988158	-265425.492316	101.9217070
2	44.78571429	-12434.1533036	-274956.116384	102.5719766
3	44.00000000	-12445.0350000	-285353.145000	103.2686934
4	43.17757009	-12453.8939369	-296235.582371	103.9850863
5	47.17241379	-12325.9531034	-321539.834483	102.9292258
6	46.16129032	-12329.3066734	-334892.786915	103.7636685
7	43.76470588	-12569.9955882	-366494.664705	106.5279106

表5 各機構の停止時における各値

No.	1	2	3	4	5	6	7
x	101.921707	102.571977	103.268693	103.985086	102.929226	103.763669	106.527911
θ_{6m} 度	182.45899	182.77619	183.07879	183.33911	183.58023	183.89167	184.86547
θ_{7m} 度	6.49113	7.77779	9.24537	10.84397	11.55693	13.82984	21.99576
θ_{8m} 度	161.09992	157.75797	154.21344	150.69691	151.56794	147.54947	133.10282
μ 度	154.60879	149.98018	144.96807	139.85294	140.01101	133.71963	111.10706
$\dot{\phi}_7/\dot{\phi}_6$	0.244586	0.243413	0.242169	0.240902	0.259125	0.257578	0.252582
$\dot{\phi}_8/\dot{\phi}_6$	0.151901	0.156480	0.161446	0.166605	0.178707	0.184874	0.198104
$\dot{\phi}_6/\omega_1$	0.569666	0.569286	0.568883	0.568473	0.574424	0.573914	0.572273
$\ddot{\phi}_7/(\dot{\phi}_6)^2$	0.549911	0.459220	0.387414	0.332208	0.362544	0.307014	0.170591
$\alpha_4/(\dot{\phi}_6)^2$	-5.165034	-4.579708	-4.133965	-3.815440	-3.801031	-3.500997	-2.807645
$\alpha_4/(\omega_1)^2$	-1.676155	-1.484221	-1.337865	-1.233004	-1.254198	-1.153148	-0.919493

表5から逆転するときの負の角加速度はやはり No. 7 のものが低く、その値は $\alpha_4/(\omega_1)^2 = -0.91949$ で正の角加速度に比してその絶対値は僅かであるが小さい。

No. 1~No. 7 の各場合の速度が零になるときの角加速度を表6に示す。これから No. 7 の場合すなわち $Z_1=Z_2=48$, $Z_3=120$, $Z_4=33$, $m=0.75\text{mm}$, $b=120\text{mm}$, $d=114.6\text{mm}$ のものが最大角加速度の点から運動学的に最良であることがわかった。そこでこの場合の角変位, 角速度, 角加速度の線図を前報²⁾の式を用いて計算したものを図4に示す。

図から原動歯車の回転角 $\theta=360^\circ$ で被動歯車の回転角 ϕ ほど 360° になることがわかり, 出発も停止も滑らかに行われることがわかる。

角速度線図から $\theta=360^\circ$ で被動歯車が逆転し, 最大角速度は正転, 逆転ともほとんど同じで $\omega_4/\omega_1 \approx 1.5$ であることがわかる。

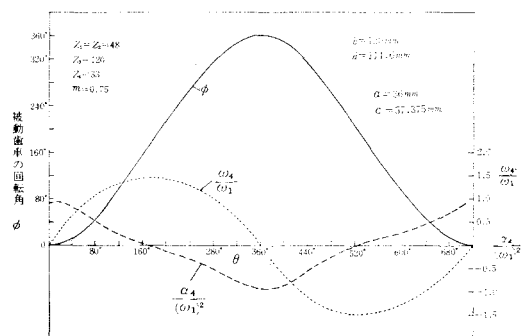


図4 No.7の角度位, 角速度, 角加速度線図

角加速度線図から $\theta = 0$, $\omega_4/\omega_1 = 0$ のとき角加速度は最大ではなく, $\theta \approx 10^\circ$ の所で最大となり $\alpha_4/(\omega_1)^2 \approx 0.95$ となり, その後は減少し $\theta \approx 170^\circ$ で零となり, 負の角加速度となり, $\theta \approx 369^\circ$ で最大で $\alpha_4/(\omega_1)^2 \approx -0.93$ となり, $\theta \approx 525^\circ$ で再び零となり, その後は増加する。

表6 各機構の出発点と停止点の角加速度

No.	$b \text{ mm}$	$d \text{ mm}$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	$\alpha_4/(\omega_1)^2$	$\alpha_4/(\omega_1)^2$
1	114.6	114.6	44	44	59	36	1.562320	-1.676155
2	"	"	"	"	63	35	1.365610	-1.484221
3	"	"	"	"	68	34	1.213457	-1.337865
4	"	"	"	"	74	33	1.101494	-1.233004
5	"	"	48	48	80	36	1.109891	-1.254198
6	"	"	"	"	89	35	1.000984	-1.153148
7	120	"	"	"	120	33	0.937426	-0.919493

§ 7 結 論

以上の結果から次のことが推定される。

- (1) $b=d$, $Z_1=Z_2$ のとき Z_4 が Z_3 に比して小さい程, 最大角加速度は小となる。
- (2) $Z_1=Z_2$ でその値が大きければ Z_4 が同じでも最大角加速度は小さい。
- (3) $b=d$ の場合一般に負の最大角加速度は大きい, $b>d$ とすれば逆に正の最大角加速度が大となる。

4 歯車リンク機構における運動の状態並びに原動歯車の 1 回転に対し被動歯車の同方向の 1 回転, 次の 1 回転に対し被動歯車の逆方向の 1 回転しうる 最大角加速度の最も低い機構を選定することができたが, この機構を拡大あるいは縮小するにあたって 歯数が問題となるので, ピッチ円半径を求めて行い, それに応ずる歯数とモジュールを使用すればよい。

参 考 文 献

- 1) 糸島寛典, 方岡弁司: 4 歯車リンク機構の研究 (第 1 報), 呉工業高等専門学校研究報告, 第 4 巻, 第 1 号, 39~47 頁, 昭和 43 年 12 月, 1968.
- 2) 糸島寛典, 方岡弁司: 4 歯車リンク機構の研究 (第 2 報), 呉工業高等専門学校研究報告, 第 5 巻, 第 2 号, 41~52 頁, 昭和 45 年 3 月, 1970.

(昭和 46 年 1 月 8 日受付)

低照度における色相の見え方

(電気工学科) 原 田 一 彦

The Visibility of Hue under Low Illumination

Kazuhiko HARADA

We studied the variations of visibility by using experimental colored test charts lighted by different light sources under low illumination.

The colored visual acuity test charts represent ten colored Randolt's rings arranged on white paper. Light sources used in this experiment are four kinds of fluorescent lamps and an incandescent lamp. The following results were obtained:

- (1) In white backgrounds, the most invisible hue is yellow, next is purple and red under these light sources.
- (2) In low illumination, every hue is visible, on the average, under light sources of good color rendering.

§ 1 緒 言

演色性の異なる光源で色彩物を見た場合、その色相、明度および彩度によって見え方が違ってくことは既に報告されているが¹⁾、光源の種類および照度が限られている。そこで、光源の種類を増し、これらにより低照度の範囲での色相の見え方の変化を実験的に求め検討することにした。このことは、半導体調光装置の普及により光源が調光される場合が多くなるが、その効果や目の疲れ等について論ずる場合に参考となり、また、光源を減光したときの特徴も結果にでてくるものと推察される。

§ 2 見え方の評価

見え方(視力)の評価の方法は各種あるが²⁾、比較検討を容易にするため、色紙でランドルト環を作り、演色性の違った光源下で見え方を調べた。評価は普通の視力検査と全く同様で、識別のできる最小のランドルト環の切れ目に対する視角の逆数で表わす視力で示すことにした。

§ 3 実験方法

実験用の視力表は、表1の色紙を使用してランドルト環を作り製図用ケント紙に貼りつけ、普通の白黒の視力表と同じ要領で作成した。色紙は、作業能率の測定³⁾に採用したのと同様のものである。

使用した光源は、けい光ランプの昼光色(D)、白色(W)、真天然純正色(W-SDL-AP)および色評価用純正色(W-EDL-50K)の4種類と白熱全光電球である。調光は、けい光ランプはサイリスタ調光器を、白熱全光電球はダイアック調光器を使用して行い、実験用視力表の照度を100lx, 50lx, および20lxの3種類にして測定をした。SCR調光装置によるけい光ランプの色ずれは、ほとんど生じないことが報告されているので⁴⁾、けい光ランプの演色性は減光しても、その特徴は変わらないものと考えられる。また、低照度における実験の

表1 供試色紙(修正マンセル値)日本塗料工業会色見本

<i>H</i>	5R	2.5YR	7.1Y	10GY	5G	5BG	5B	2PB	2.5P	2.5RP
<i>V</i>	4	5	8.8	6.5	5.5	6	5	5.3	5	4.5
<i>C</i>	13	6.5	11.5	6	6	2	6	8.5	5	12

ため、視力表のランドルト環のどの部分にも陰影ができないよう光源の配置および方向に留意した。

実験参加者の通常視力は表2に示すとおりである。これは、万国式視力表を真天然純正色けい光ランプで $300lx$ に照明して測定したものである。

表2 被験者の視力

(万国式視力表：真天然純正色けい光ランプ $300lx$)

被 験 者	左眼視力	右眼視力	両眼視力
A	1.0	1.2	1.2
B	1.2	1.2	1.2
C	1.5	1.2	1.5
D	2.0	1.5	2.0

実験は、被験者を照度および光色に順応させるため光源が測定状態に調光してある実験室に入室させて20分後に開始し、 $20lx$ 、 $50lx$ および $100lx$ の順に測定を実施した。測定は、両眼で同一実験を3回行い、算術平均の値を測定値（視力）とした。疲労やその他の影響による誤差が生ずるのを防ぐため、休憩時間を被験者に十分に与えた。

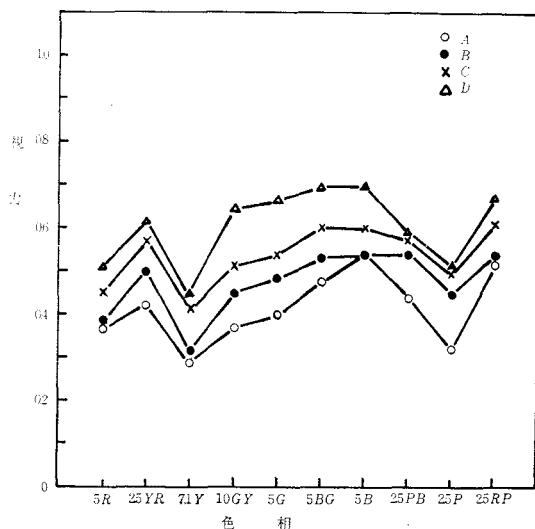
§ 4 結果と考察

ランドルト環に使用した色紙のH、VおよびC

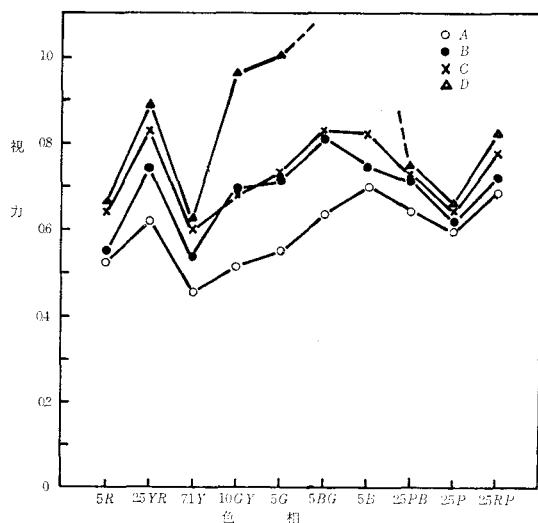
がそろっていないので、今回は色相についてのみ考察することにした。

4・1 昼光色けい光ランプで照明した場合

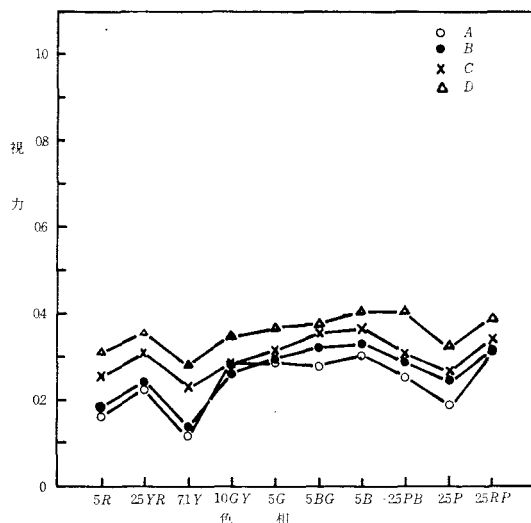
図1が昼光色けい光ランプを使用して実験用視力表を照明したときの結果である。図中の破線の部分は作成した視力表では測定ができなかったところである。他の光源に比較して測定値にバラツキが大きい、GYからBまでは尻上りに見え方がよくなっていることと、最低照度 $20lx$ で見え方がよいことがわかった。他の光源でも同様であっ



(b) 視力表の照度 $50lx$



(a) 視力表の照度 $100lx$



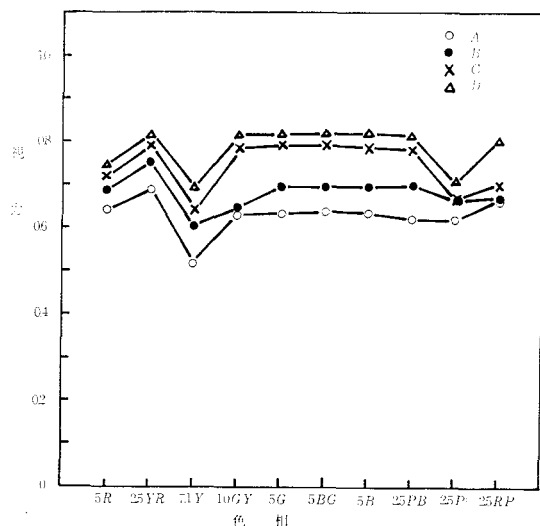
(c) 視力表の照度 $20lx$

図1 昼光色けい光ランプによる色相の見え方

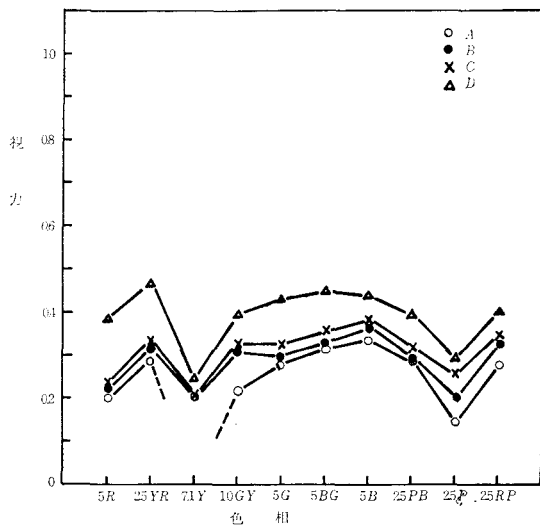
たがYが一番見えにくく、平均して100lxで視力差が0.2, 50lxで0.2弱, 20lxで0.1であった。つぎに見えにくい色相はPとRで、共に視力差は前者の約半分であった。20lxで他の光源よりよく見たのは、ランプの演色性と視力表が白紙を台紙としていたのが起因しているものと考えられる。

4・2 白色けい光ランプで照明した場合

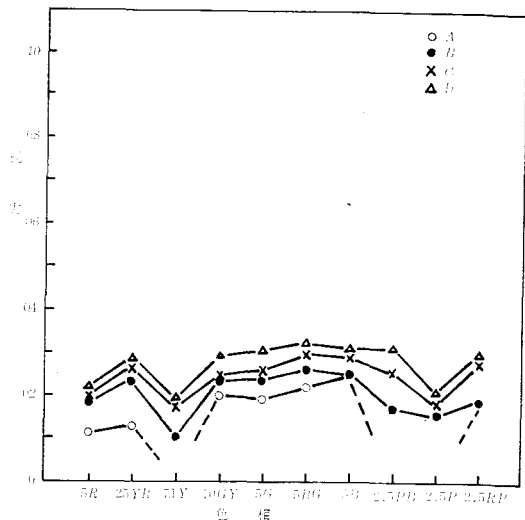
一般照明用として最もよく使用される白色けい光ランプで視力表を照明して測定した結果が図2である。100lxの照度では、比較の見え方のバラツキは小さいが、逆に、50lxおよび20lxでは大きく



(a) 視力表の照度100lx



(b) 視力表の照度50lx



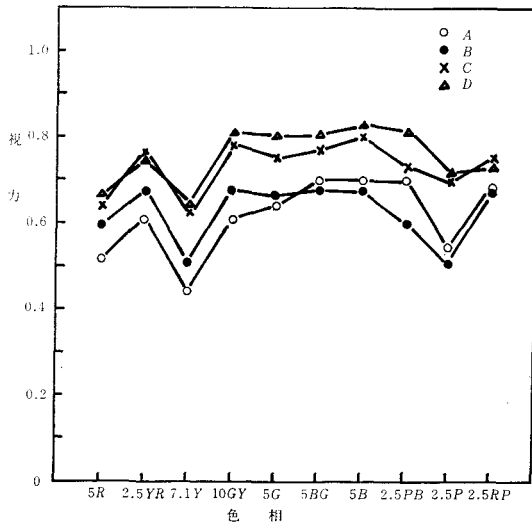
(c) 視力表の照度20lx

図2 白色けい光ランプによる色相の見え方

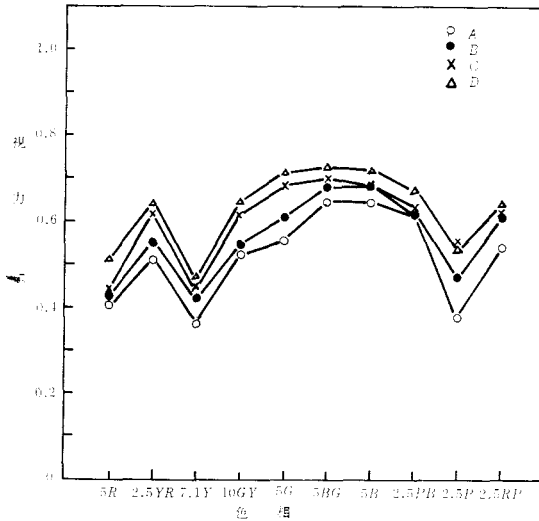
なり、YとPは非常に見えにくい結果となった。したがって、この実験結果から、白色けい光ランプは大きく減光する場合の光源としては不適格であるといえる。Yの100lxでの視力差は0.15, 50lxで0.1, PとRは約その半分であった。

4・3 真天然純正色けい光ランプで照明した場合

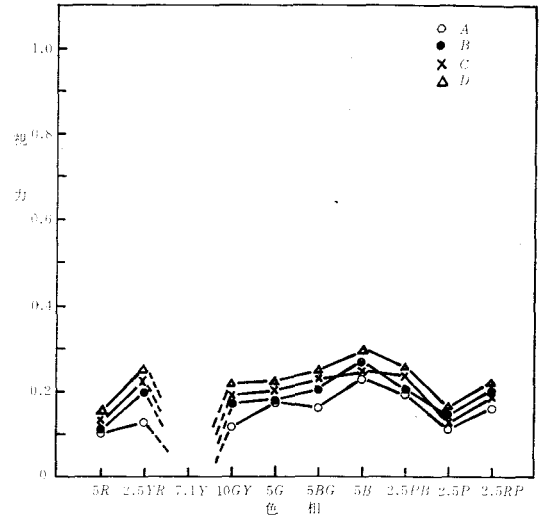
昼光色けい光ランプや白色けい光ランプよりも演色性の格段に優秀な真天然純正色けい光ランプで照明した場合の結果が図3である。100lxでは



(a) 視力表の照度100lx



(b) 視力表の照度50lx



(c) 視力表の照度20lx

図3 真天然純正色けい光ランプによる色相の見え方

視力差が白色けい光ランプよりもやや大きい、50lx以下ではバラツキがかなり少なくなっている。このランプでもY、PおよびRが見えにくく、20lxでのYは極端な結果となっている。Yは100lxで0.2弱、50lxで0.15の視力差で、PとRは約半分となった。これらの結果から前記2種類のけい光ランプよりも調光特性が良いことがわかった。

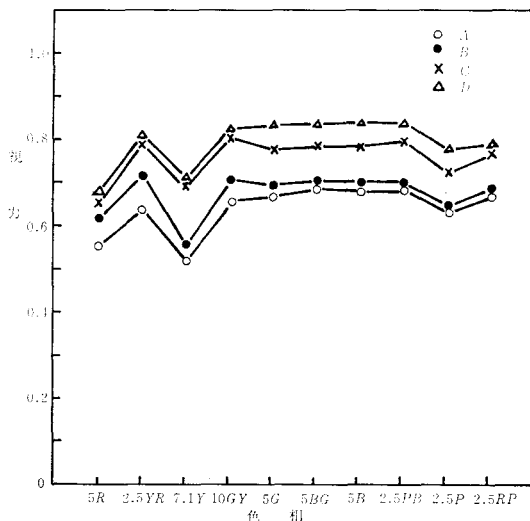
4・4 色評価用純正色けい光ランプで照明した場合

現在のけい光ランプ中で、最も演色性のよい色

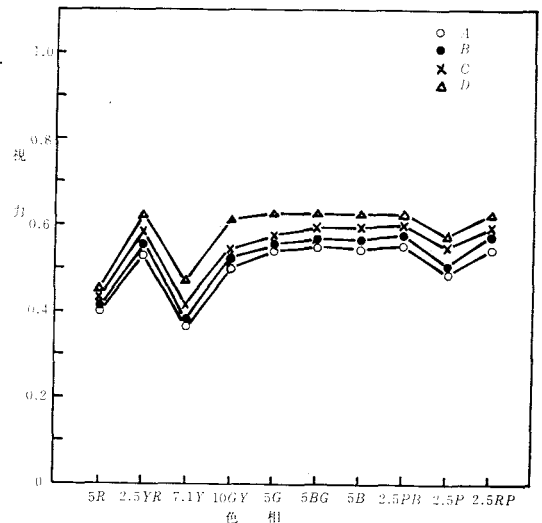
評価用純正色けい光ランプを使用した場合の結果が図4で、100lxおよび50lxでYが0.1の視力差、Rがその半分程度の視力差が出た程度で全般的に平均した見え方となった。20lxでもYを除けば非常に平均している。したがって、本実験の供試光源中では、照度に変化しても見え方が変わらないという点で一番優秀な光源といえる。

4・5 白熱全光電球で照明した場合

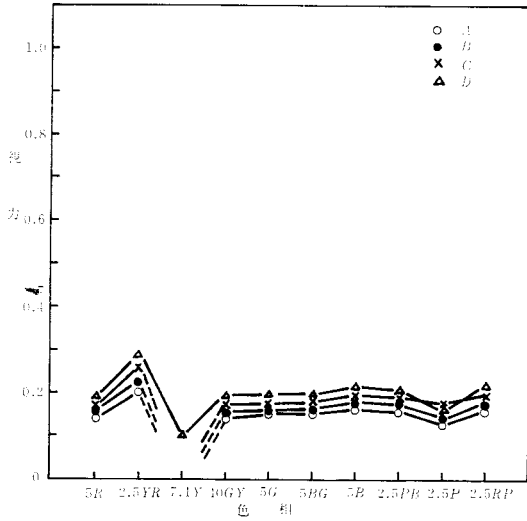
けい光ランプと比較のために、白熱全光電球で実験した結果が図5である。Y、PおよびRが見



(a) 視力表の照度100lx

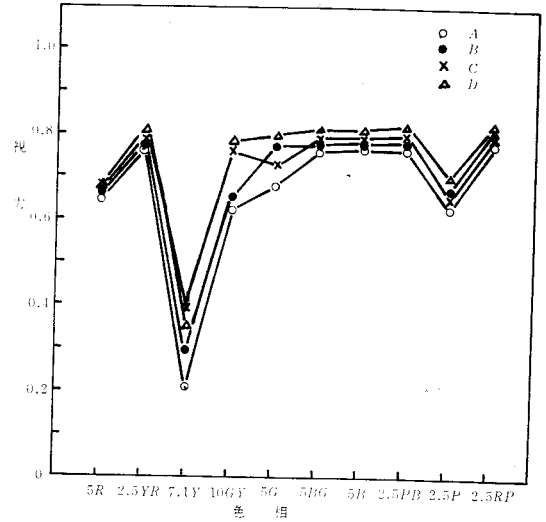


(b) 視力表の照度50lx

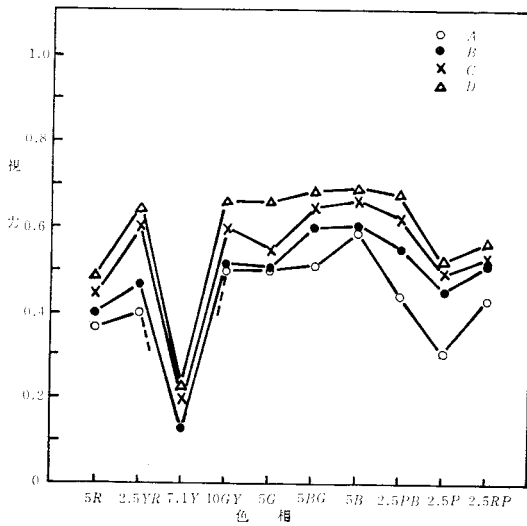


(c) 視力表の照度20lx

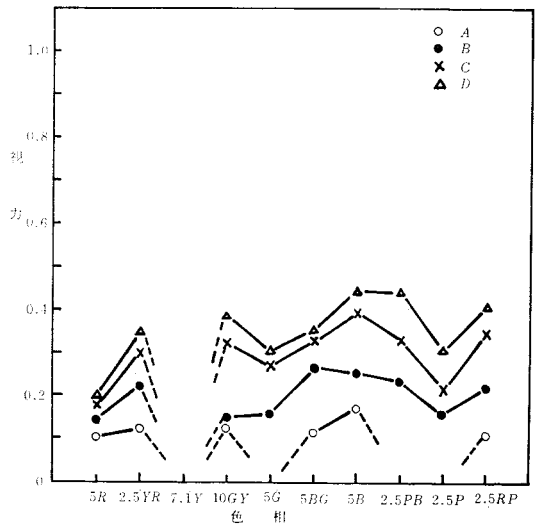
図4 色評価用純正色けい光ランプによる色相の見え方



(a) 視力表の照度100lx



(b) 視力表の照度50lx



(c) 視力表の照度20lx

図5 白熱全光電球による色相の見え方

えにくいというけい光ランプの傾向とよく似ているが、Yの他の色相との視力差は非常に大きく、100lxで0.6、50lxで0.5であった。しかしP、Rは小さくどちらの場合も0.1程度であった。低照度になる程、見え方のバラツキは大きくなり、また、被験者の個人差がかなりでてきた。

以上、各光源について検討してみたが、いずれの光源でも、Yが一番見えにくく、そのつぎがPとRであった。阪口氏らの実験では、背景が白の場合にはGYとPが見えにくくなっている。Yと

GYとのズレは、色紙のH、VおよびCが違っているために生じたものと推察される。

§5 結 言

4種類のけい光ランプと電球とで低照度における見え方の変化を調べた。要約すると次のようになる。

(1) どの光源でも、Yが一番見えにくくつぎがPとRであった。電球の場合、Yの視力差は最高0.6であったが、色評価用けい光ランプは0.1であ

った。

(2) 演色性の良いけい光ランプは色相の視力差が少く、低照度でも変化なく同じような見え方である。

実験用視力表の台紙の色を変えたり、色紙の H , V および C をそろえての実験等は後日に譲ることにする。最後に、実験に協力していただいた平田明君に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 阪口, 野口: 照明学会誌 53—5 (44年)
- 2) 日本眼科学会編: 日本眼科全書 第5巻眼診断 第1冊眼検査法
- 3) 原田: 呉高専研究報告 6—2 (46年)
- 4) 真砂: 新日本電気技報 5—2 (45年)
(昭和46年1月5日受付)

演色性の作業能率に及ぼす影響

(電気工学科) 原 田 一 彦

The Effects of Color Rendering on Work Efficiency

Kazuhiko HARADA

Generally, cool white fluorescent lamps are often used for many purposes in the design of lighting systems. However, when the lighting installation is evaluated the color rendering must be considered.

We investigated the variations of the work efficiency by using different fluorescent lamps.

The materials were five sheets of white paper on which 1400 pieces of different colored small paper were pasted.

The following results were obtained:

- (1) The highest lowering rate of work efficiency is 1.5%, which was seen at R and YR hue lighted by daylight fluorescent lamps and a cool white ones at 100 lx.
- (2) The work efficiency was better, on the average, in the case of being lighted by fluorescent lamps of good color rendering.
- (3) The work efficiency is not good when daylight fluorescent lamps and white ones were used at 500 lx.

§ 1 緒 言

我々の視野に入るものは勿論のこと、作業をする場合の対象物も色彩のあるものがほとんどである。しかし、特別な場合を除いて照明設計をする場合には、演色性を考慮するよりも照度を上げることに重点をおくことが多い。たとえば、けい光ランプを光源として使用するときは、ランプ効率の最も良い白色けい光ランプ(W)が原則的に採用されるのが普通である。当然なことながら、演色性を軽視していたずらに高照度とすることが良い照明とはいえない。そこで、本実験は演色性の異なるけい光ランプによる照明が、作業能率にどの程度の影響を与えるかを実験し検討することにした。

§ 2 作業能率の評価

平均演色評価数の R_a が100のけい光ランプの実現は困難であると発表されている¹⁾。したがって R_a が98の色評価用純正色けい光ランプ(W-EDL-50K)の演色性は高く評価できるので、このけい光ランプを使用して作業をしたときの能率を基準

として他の光源による場合を評価することにした。本実験で採用した作業は、製図用ケント紙(白色)に小さな色紙を貼り、色別の色紙数を数えるという作業で、能率の評価は、その所要時間を測定することで行った。評価の表示は、基準光源の照明下の作業能率を100%とする方法を採用した。なお、光源は4種類、照度は3段階で実施した。

§ 3 実験方法

作業用に作成したものは、A3判の白色製図用ケント紙に、3mm平方の色紙をランダムに縦35枚、横40枚、計1400枚を貼り付けた紙で、10色であるからこの紙には各色が140枚貼られている。使用した色紙は表1に示すもので日本塗料工業会の塗料用標準色見本で修正マンセル値で表示したものである。許容誤差の範囲は $H = \pm 1$, $V = \pm 0.2$, $C = \pm 0.2$ である。入手できた色見本は、 H , V および C の値がまちまちであったので、その中からJISに採用されている色、および日常よく使用されている標準的な色から10種を選ん

表1 供試色紙(修正マンセル値)

<i>H</i>	5 <i>R</i>	2.5 <i>YR</i>	7.1 <i>Y</i>	10 <i>GY</i>	5 <i>G</i>	5 <i>BG</i>	5 <i>B</i>	2 <i>PB</i>	2.5 <i>P</i>	2.5 <i>RP</i>
<i>V</i>	4	5	8.8	6.5	5.5	6	5	5.3	5	4.5
<i>C</i>	13	6.5	11.5	6	6	2	6	8.5	5	12

だ。このような色紙で配列の違う紙を5枚作成した。

能率を測定するため実施した作業は、*R*, *YR*, *Y*, *GY*, *G*, *BG*, *B*, *PB*, *P*および*RP*の順序で各色紙数を数えるということで、3回繰返して行い、各色の算術的平均所要時間を測定値とした。そして、比較検討が容易にできるようにするため、基準光源による作業能率を100%とし、他の光源の場合を%で表示するよう測定値から求めた。

表2 被験者の視力

(万国号視力表:真天然純正色けい光ランプ300lx)

被 験 者	左眼視力	右眼視力	両眼視力
<i>A</i>	1.0	0.9	1.0
<i>B</i>	1.2	1.0	1.2
<i>C</i>	1.0	1.0	1.0
<i>D</i>	1.0	1.0	1.2

被験者は4名で、色神は正常で視力は表2に示すとおりである。視力表は万国式視力表を使用し、これを真天然純正色けい光ランプで300lxの照度に照明して視力を測定した。

実験に使用した光源は、けい光ランプの昼光色(*D*)、白色(*W*)、真天然純正色(*W*-*SDL*-*AP*)および色評価用純正色(*W*-*EDL*-50*K*)でよく普及しているランプが2種類、演色性の良い

ランプが2種類の計4種類である。これらのランプの演色性は表3に示す。

机上面の照度は100lx、300lxおよび500lxの3段階で実験を行った。

実施にあたっては、被験者の目を順応させるために、実験室を測定条件の照度にして入室させ20分後に開始した。また、目の疲労等が測定値に影響しないよう休憩時間は長くした。

§4 結果と考察

4人の被験者の測定結果を平均したものが図1～図3である。まず、これらの結果をけい光ランプの演色性を中心にして検討することにする。

4・1 昼光色けい光ランプの場合

昼光色けい光ランプで照明すると全体が青味がかかり、演色性は全般的によくない。ことに赤色系統が悪く、良いのは木の葉のようなわずかな色相範囲の緑色である。作業能率もこれにほぼ比例して、100lxで*R*が1.4%、*RP*が0.6%低下し、300lxで*R*が1%、*RP*が0.4%の低下、500lxでは*R*が0.5%低下している。反対に、*G*は100%に近く*BG*もそれに近い。中心の*G*、*BG*で能率が高く、両端の*R*、*RP*の方になるにしたがって低下しているのが特徴である。

表3 けい光ランプの演色性

ラ ン プ 種 類	40 <i>W</i> ランプ効率 (<i>lm/W</i>)	平均演色 評 価 数 <i>R_a</i>	特 殊 演 色 評 価 数						
			赤 <i>R₉</i>	黄 <i>R₁₀</i>	緑 <i>R₁₁</i>	青 <i>R₁₂</i>	肌色 <i>R₁₃</i>	木の葉 <i>R₁₄</i>	日本人 の肌色 <i>R₁₅</i>
昼 光 色 <i>D</i>	73	77	−52	63	68	76	73	96	58
白 色 <i>W</i>	85	69	−75	53	51	61	65	95	50
真天然純正色 <i>W-SDL-AP</i>	55	92	95	82	95	81	96	91	99
色評価用純正色 <i>W-EDL-50K</i>	55	98	90	95	98	95	98	98	97

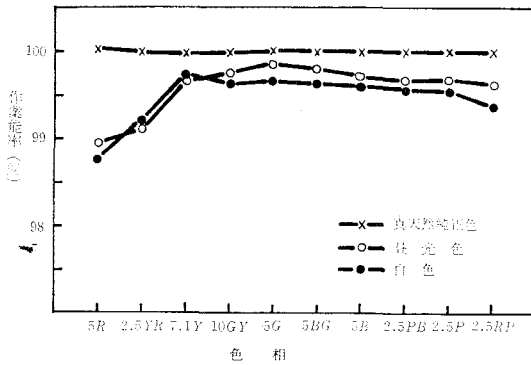


図1 演色性の異なるけい光ランプによる
照度100lxでの作業能率

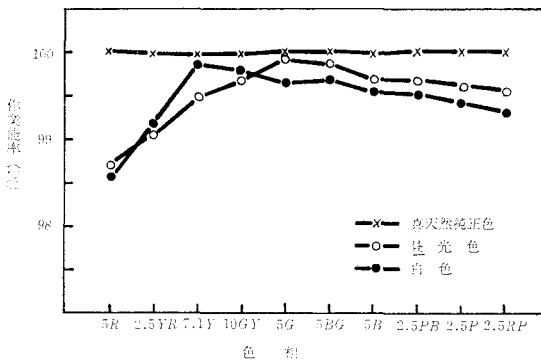


図2 演色性の異なるけい光ランプによる
照度300lxでの作業能率

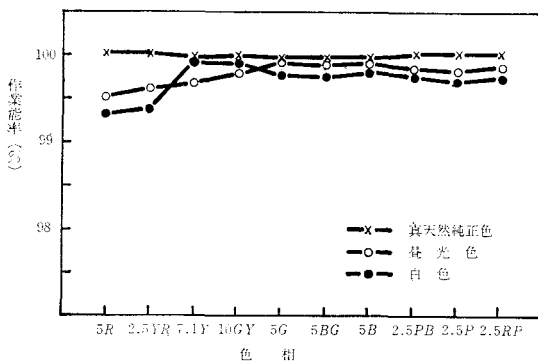


図3 演色性の異なるけい光ランプによる
照度500lxでの作業能率

4・2 白色けい光ランプの場合

ランプ効率が良いため、一般照明用として最もよく使用されているランプであるが、逆に平均演色評価数の R_a は 69 と最も悪い。黄色はあざやか

であるが、赤色は黒ずんで見え特殊演色評価数も昼光色けい光ランプより劣っている。したがって、作業能率も本実験中では低下が一番大きい。どの照度でも Y は 100% に近いが、低下の大きい R は 100lx で 1.5%, 300lx で 1.3%, 500lx で 0.7% となっており、 RP は約半分の値である。昼光色けい光ランプの場合と比較してカーブが中心の G , BG から Y の方に、即ち左に寄ったといえる。

4・3 真天然純正色けい光ランプの場合

基準光源とした色評価用純正色けい光ランプと遜色のない演色性の良いランプなので、作業能率に差はほとんどなく、各照度で Y と GY に、0.07 ~ 0.1% 程度の低下があった。 R は反対によく、0.06% の向上が各照度であった。この結果は、両けい光ランプの演色性によく比例している。実験結果から、この程度の高演色性のランプであれば、色彩の豊富な対象物の作業には理想的な光源といえる。

4・4 色評価用純正色けい光ランプの場合

けい光ランプの中で、最も演色性の良いランプであるが、測定値にもその影響が現われ、各色相の測定値はほとんど同様であった。複雑な色彩をもつ対象物の作業用としては最適の光源である。前記の真天然純正色けい光ランプ同様、効率と演色性が両立しないのが問題である。

つぎに、作業能率を照度と、色紙の見え方との関係について考察する。

4・5 照度との関係

図1 ~ 3 の結果からわかるように、照度を高くすれば能率は若干向上し、演色性の良いランプに接近する。しかし、これは照度を上げたためで、演色性の欠点をカバーする程のものではない。したがって、昼光色や白色のカーブは、照度を上げて形はあまり変わらず、若干ゆるやかになっている程度である。この結果から、照度を高くすることは良いことであるが、光源の演色性も考慮しなければならないことがわかる。

4・6 色紙の見え方との関係

各種光源による色紙の見え方については既に発

表されているが^{2) 3)}、これらの結果によれば、色相の Y 、 GY 、 P および R が見えにくいとなっている。真天然純正色けい光ランプの場合は、 R を除いてこれらの結果と一致していることが認められる。色評価用けい光ランプの場合、測定値にはんのわずかの差はあったが、見え方の差ほどのものでなかった。昼光色および白色けい光ランプでは、 R および YR で能率が低下し、 Y 、 GY ではよくなっている。この相違は測定状態が違うため、見え方の実験では視力を測定（背景が白または緑色）したのに対し、作業能率の実験は、前後左右に色相の異なる色紙があったことが大きな原因と考えられる。

光源の色は赤、緑、青の順に疲れ、黄色が目に疲れないと発表されているが⁴⁾、昼光色および白色けい光ランプの能率低下は、この目の疲労とも関係があると推察される。

§ 5 結 言

演色性の異なるけい光ランプの照明で色別に重点をおいた作業をした場合、ランプの演色性がどの程度能率に影響を及ぼすかを、実験的に求めたが、その結果を要約すると次のようになる。

(1) 演色性の悪い昼光色および白色けい光ランプでは、 R 、 YR および P の色相で能率が低下し、最高は、 $100lx$ で R の1.5%であった。

(2) 演色性の良いけい光ランプの作業能率は、平均して各色相とも良い。

(3) 高照度にしても、演色性の欠点を補うことは、あまり期待できない。

参考文献

- 1) 納谷他：昭和45年照明学会全国大会論文集
- 2) 阪口、野口：照明学会誌 53—5(44年)
- 3) 原田：呉高専研究報告 6—2(46年)
- 4) 鈴木：照明学会誌 46—10(37年)

(昭和46年1月5日受付)

温度補償されたFET除算器

(電気工学科) 太田 垣 博・黒瀬 能 幸

Temperature Compensated FET Divider

Hiroshi ÔTAGAKI and Yoshinobu KUROSE

As the β and V_P which are parameter of FET are influenced by temperature, the divider used FET in the ohmic region is influenced by temperature. The β and V_P are corrected by compensating circuit using two FETs and operational amplifiers.

This paper presents the principle of divider, the temperature characteristics, the configuration of temperature compensating circuits, and the results of experiment.

The results of experiment, in which two identical FETs 3SK14 (NEC) and IC operational amplifiers μ PC55A (NEC) are used, are as follows.

- (1) The output variation is within $\pm 1\%$ at $5\sim 60^\circ\text{C}$.
- (2) It's operational error is within $\pm 2\%$.
- (3) Frequency range is $0\sim 500\text{KHz}$.

§ 1 緒 言

FETの可変抵抗特性を応用した Laws の乗算器³⁾の周波数特性を改善し、その乗算器を応用した除算器については既に報告し、精度と安定性の面から問題がある事を述べた。^{5) 6)}

また、今迄に報告されている FET を用いた乗除算器はほとんど温度補償が施されておらず、温度特性に問題点が残されていた。ここでは比較的高精度で、しかも高速である FET の可変抵抗領域でドレイン電流がドレイン電圧と、ゲート電圧とピンチオフ電圧との差の積に比例する事を利用した 杉山等の報告による除算器¹⁾について温度特性を検討した。同特性の FET と、演算増巾器で構成された回路を、演算用 FET のゲートに接続する事によって FET のパラメータ β 、 V_P を消去する Abu-zeid 等の報告による温度補償回路²⁾に、補償用 FET に加えられている正負のバイアス電圧を負のバイアス電圧のみで動作するように工夫し、温度補償を行った。その結果、 $5\sim 60^\circ\text{C}$ の温度変化範囲内で、出力変動を $\pm 1\%$ 以内に押える事ができた。

本文は、杉山等の報告による除算器の原理、温度特性、温度補償回路を検討し、FET 3SK14 (NEC) と IC 化演算増巾器 μ PC55A (NEC) を用いて除算器を構成し、その温度補償を行った回路についての実験結果の報告である。

§ 2 除算器の原理と温度特性

FET を演算増巾器の帰還回路に接続した杉山等の除算器を図 1 に示す。図の入出力関係は次式で表わされる。

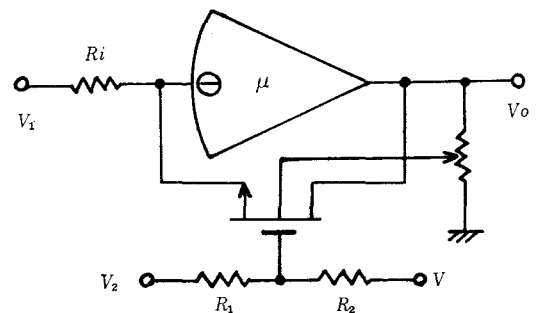


図 1 除算器の原理

$$V_0 \approx -\frac{1}{R_i \beta} \cdot \frac{V_1}{\frac{1}{R_1 + R_2} (R_2 V_2 + R_1 V) - V_P} \quad \dots\dots\dots (1)$$

もしこゝで次式が成立する様に V を選べば、

$$-\frac{R_1}{R_1 + R_2} V = V_P \quad \dots\dots\dots (2)$$

(1)式は次式で表わされる事になり除算器が構成できる。

$$V_0 \approx -\frac{R_1 + R_2}{R_2 R_i \beta} \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

しかし、FETの温度特性はSah等によって詳しく述べられている様⁴⁾にキャリア移動度と空間電荷密度の変化によって決定される。したがって温度変化によって β , V_P は変化する。温度上昇と共に β は減少し、 V_P は増加するので、ある温度で正しく(2)式が成立する様に調整されても、温度変化によってその関係が成立しなくなり、(3)式の係数が変化し、温度ドリフトを生じる事になる。

図2に筆者等の使用したFETの温度特性を示す。

図2により β , V_P の温度変化が直線的であるとして次式で表わされたとする。

$$\beta = \beta_{25} \left\{ 1 + \alpha_\beta (T - 25) \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V_P = V_{P25} \left\{ 1 + \alpha_{VP} (T - 25) \right\}$$

こゝで、

β_{25} : $T=25^\circ\text{C}$ における β の値
($=0.403\text{mA/V}^2$)

V_{P25} : $T=25^\circ\text{C}$ における V_P の値
($=-1.965\text{V}$)

α_β : β の温度係数 ($=-0.319 \times 10^{-2} 1/^\circ\text{C}$)

α_{VP} : V_P の温度係数 ($=0.160 \times 10^{-2} 1/^\circ\text{C}$)

(4)式を(1)式に代入して次式を得る。

$$V_0 \approx -\frac{1}{R_i \beta_{25} \left\{ 1 + \alpha_\beta (T - 25) \right\}} \cdot \frac{V_1}{\frac{1}{R_1 + R_2} (R_2 V_2 + R_1 V) - V_{P25} \left\{ 1 + \alpha_{VP} (T - 25) \right\}} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$T=25^\circ\text{C}$ のとき $R_1 V / (R_1 + R_2) = V_{P25}$ となる様に調整しても温度変化によって出力 V_0 は、

$$V_0 \approx -\frac{1}{R_i \beta_{25} \left\{ 1 + \alpha_\beta (T - 25) \right\}} \cdot \frac{V_1}{\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_2 - V_{P25} \alpha_{VP} (T - 25)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

となり、 V_0 は温度によって変動する。

§ 3 温度補償された除算器の構成

以上の検討から、 β , V_P の温度変化によってドリフトを生じる事は明らかになった。この温度ドリフトの補償としては大別して二つの方法が考えられる。その一つはサーミスタ等の感温素子を用いる方法と、他方は二つのFETを差動的に用い β , V_P を消去する方法である。筆者等は後者を用いて温度補償を行った。この後者の方法は既に乗算器について報告されている²⁾が、除算器については具体的に示されておらず、また回路的に複雑なので図3(a)の回路を考えた。

図3(a)の回路で、増巾器が理想に近く、 $R_{i2}' // R_{f2}' = R_{i2} // R_{f2}$ なら V_{02} , V_0 はそれぞれ次式で与

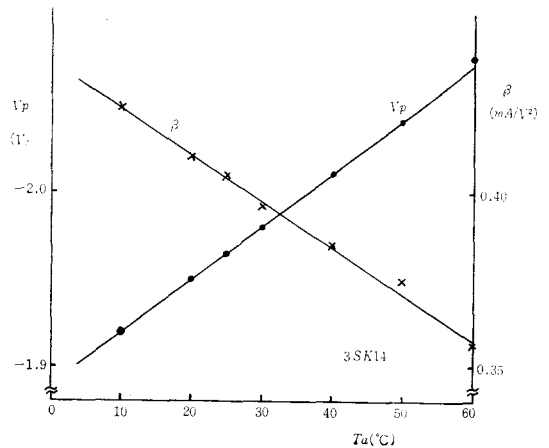


図2 β , V_P 温度特性

えられ、

$$V_{02} \simeq \frac{R_{f2}'}{R_{i2}} V_A - \frac{R_{f2}}{R_{i2}} V_2 \dots\dots\dots (7)$$

$$V_G \simeq \frac{1}{R_{i3}\beta_2 V_B'} V_{02} - \frac{1}{R_{i3}\beta_2} + V_{P2} \quad (8)$$

(7)式を(8)式に代入して次式を得る。

$$\begin{aligned} V_G \simeq & -\frac{R_{f2}}{R_{i2}R_{i3}\beta_2 V_B'} V_2 + \\ & -\frac{1}{R_{i3}\beta_2} \left(\frac{V_A'}{V_B'} - 1 \right) + V_{P2} \dots\dots\dots (9) \end{aligned}$$

$$\text{ここに } V_A' = \frac{R_{f2}'}{R_{i2}} V_A$$

$$V_B' = \frac{R_{f3}'}{R_{i3} + R_{f3}'} V_B$$

また一方図 (b) の出力は次式にて与えられ、

$$V_0 \simeq -\frac{1}{R_{i1}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{V_G - V_{P1}} \dots\dots\dots (10)$$

(9)式を(10)式に代入して更に次式を得る。

$$V_0 \simeq -\frac{1}{R_{i1}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{-\frac{R_{f2}}{R_{i2}R_{i3}\beta_2 V_B'} V_2 + \frac{1}{R_{i3}\beta_2} \left(\frac{V_A'}{V_B'} - 1 \right) + V_{P2} - V_{P1}} \dots\dots\dots (11)$$

もし二つのFETの特性が全く同じで $\beta_1 = \beta_2$ 、 $V_{P1} = V_{P2}$ でかつ $V_A' = V_B'$ なら(11)式は次式となり、 β 、 V_P は消去され温度特性のない除算器とする事ができる。

$$V_0 \simeq -\frac{R_{i2}R_{i3}V_B'}{R_{i1}R_{f2}} \cdot \frac{V_1}{V_2} \dots\dots\dots (12)$$

またもし、 $\beta_1 \simeq \beta_2$ 、 $V_{P1} \simeq V_{P2}$ でもそれらパラメータの温度変化が等しければ補償可能となる。

§ 4 実験結果及びその検討

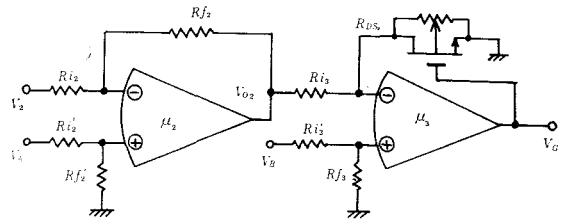
以下の実験に用いたFET3SK14の特性曲線を図4(a)(b)に示す。(a)は演算用FET、(b)は補償用FETで、実線は第2ゲートをソースに接続、点線はドレインに接続した場合である。この図からも明らかな様に、第2ゲートにドレイン電圧を加える事により直線性は大幅に改善される。また二つのFETの差は $V_D = \pm 0.2V$ 以下で $\pm 5\%$ 以下であった。

FETの動作範囲を V_D は $\pm 0.2V$ 、 V_G は $\pm 1V$ となる様に設計し、製作したのが図5の除算器である。

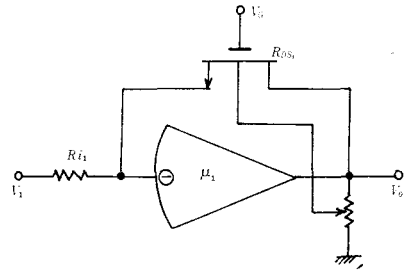
除算器本体の入力側を分圧して加えているのは演算器自体に利得を大きくもたせ、スリューレイトを大きくとるためであり、出力側の分圧回路は、出力電圧が $\pm 5V$ となったとき V_0 が $\pm 0.2V$ 以内に入る様にするためのものである。図5で、FETの不完全さと、増巾器のオフセット出力電圧を考慮した場合の入出力関係式は次式で与えられる。

$$V_G \simeq -\frac{R_{f2}}{R_{i2}R_{i3}\beta_2 V_B'} V_2 + \frac{1}{R_{i3}\beta_2} \left(\frac{V_A'}{V_B'} - 1 \right) + V_{P2} + \gamma_2 V_B' + \frac{1}{R_{i3}\beta_2 V_B'} e_{d2} + e_{d3} \dots\dots\dots (13)$$

$$V_0 \simeq -\frac{R_2(R_3+R_4)}{(R_1+R_2)R_4R_{i1}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{V_G - V_{P1} - \frac{\gamma_1 R_4}{R_3+R_4} V_0} + e_{d1} \dots\dots\dots (14)$$

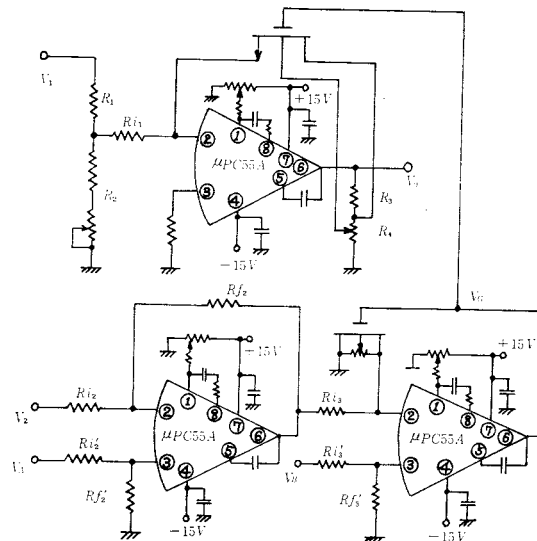
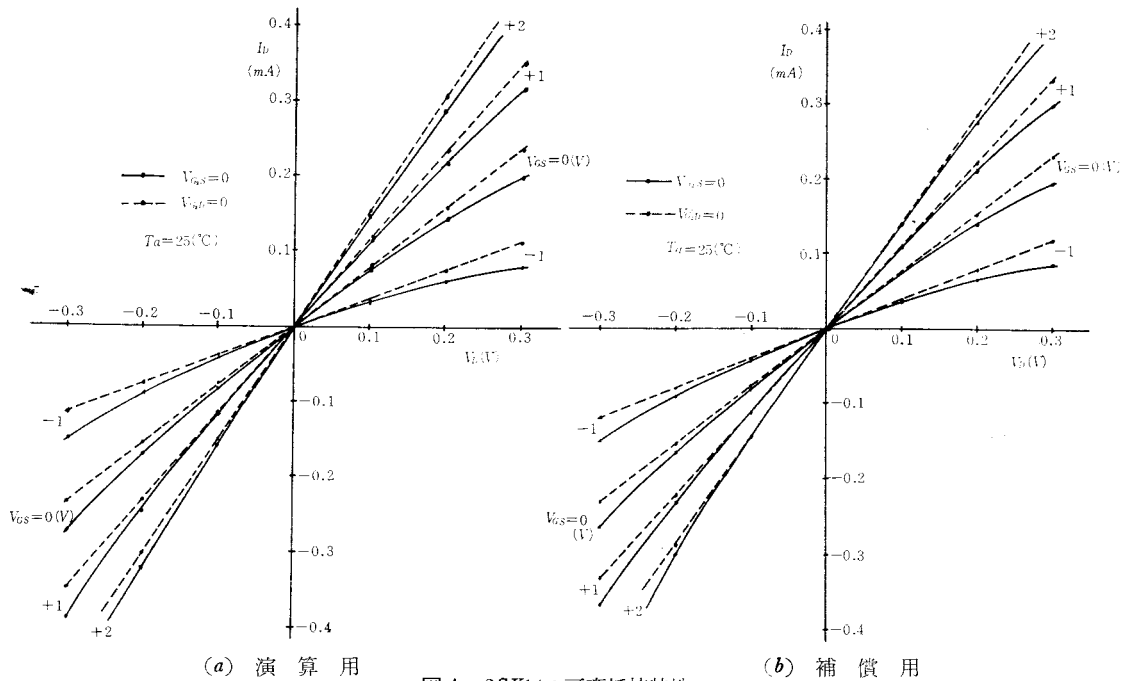


(a) 温度補償回路



(b) 除算器

図3 温度補償された除算器



ここに γ_1, γ_2 は第2ゲートの調整によって直線性はかり改善されるが、更に残った場合の系数であり、 e_{d1}, e_{d2}, e_{d3} は増巾器の出力側に表われたオフセット電圧である。

(13)式を(14)式に代入して次式を得る。

$$V_0 \approx -\frac{R_2(R_3+R_4)}{(R_1+R_2)R_4R_{i1}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{-\frac{R_{f2}}{R_{i2}R_{i3}\beta_2V_B'}V_2 + \left\{ \frac{1}{R_{i3}\beta_2} \left(\frac{V_{A'}}{V_B'} - 1 \right) + V_{P2} - V_{P1} + \gamma_2 V_{B'} + \frac{1}{R_{i3}\beta_2 V_B'} e_{d2} + e_{d3} \right\} - \frac{\gamma_1 R_4}{R_3 + R_4} V_0 + e_{d1}} \quad (15)$$

(15)式の分母の{ }内、及び e^p が零となる様に調整すれば(15)式は、

$$V_0 \approx -\frac{R_2(R_3+R_4)}{(R_1+R_2)R_4R_{i1}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{-\frac{R_{f2}}{R_{i2}R_{i3}\beta_2V_B}V_2 - \frac{r_1R_4}{R_3+R_4}V_0} \quad (16)$$

となり、 r_1 が充分小さくて V_0 の項が無視できるなら最終的に V_0 は次式で表わせる。

$$V_0 \approx \frac{R_2(R_3+R_4)R_{i2}R_{i3}\beta_2V_B'}{(R_1+R_2)R_4R_{i1}R_{f2}\beta_1} \cdot \frac{V_1}{V_2} \quad (17)$$

こゝで除算係数は-1となる様に設計した。次に実験結果について述べる。得られた結果図6～9に示す。

図6は温度特性で、先ず全体を25°Cの恒温状態にしておき正しく調整した後に、演算用FETのみに温度変化を与え、他は25°C一定に保った時の出力変動を調べたのが (イ)の曲線であり、(ロ)は補償用FETと共に同じ温度変化を与えた時の結果である。補償回路によって5～60°Cの温度変化で出力変動は $\pm 1\%$ 以内に収まっている。二つのFETの温度特性の相違が $\pm 1\%$ という変動になったと思われる、FETを選択する事によって更に小さな変動に押えられる。(イ)は除算器全体に温度変化を与えた場合の結果であるが、かなり大きな変動となる。これは温度変化による増巾器のオフセット電圧のドリフトが主なもので、他に抵抗の変化等によるものであり、演算器としてはドリフトの小さい増巾器、温度変化の小さい抵抗等を使用する必要がある事を物語っている。(ロ)はFETの温度特性から計算した計算値で実験値(イの曲線)とはよく一致している。尚以上の測定は V_1 として実効値4Vの1KHzの交流信号、 V_2 には1Vの直流信号を加え、真空管電圧計にて出力を読んで行った。

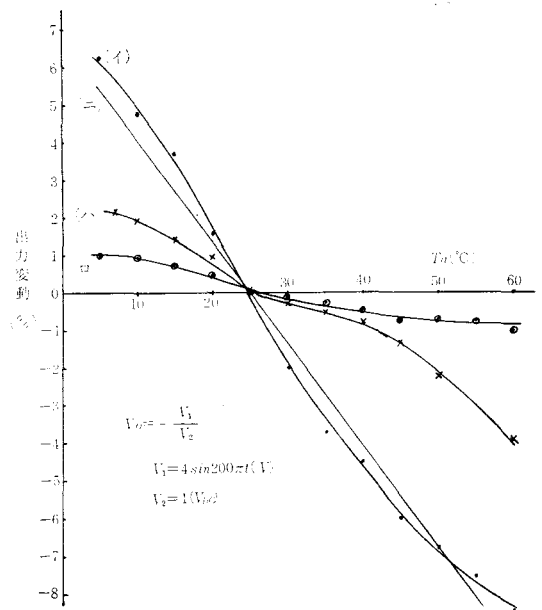


図6 温度特性

図7は静特性で、 V_2 をパラメータとして、 V_1 と V_0 の関係を取ったものである。実線は実測値、点線は理論値である。 V_2 が小さくなる程誤差が大きくなっており、 V_2 が1V以上、 V_1 が ± 5 V以内で $\pm 2\%$ 以内の精度であった。

V_2 を V_0 に接続したいわゆる開平器とした場合の結果は図8である。この場合当然の事ながら V_1 は負信号に限られる。理論値と実測値はかなり良く一致し、調整によって精度は $\pm 0.5\%$ 以下に収まる。

図9は周波数特性であり、この特性は今の場合使用する演算増巾器によって決る。 V_1 が交流信号、 V_2 が直流信号だけの場合は除算器本体に使用している演算増巾器によって決る。 V_1 が交流信号、 V_2 が直流信号だけの場合は除算器本体に使用している演算増巾器によって決り

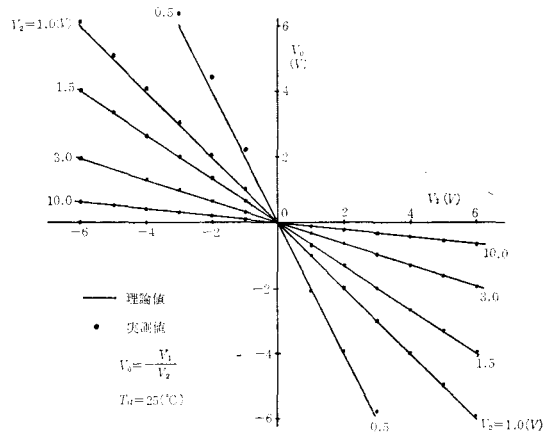


図7 静特性

500KH_zで-0.5dBの出力偏差, V_2 が直流に交流信号を重ねた場合は, 補償回路に増巾器が2台入っているため少し帯域が狭くなり, 400KH_zで-0.5dBとなっている。

§ 5 結 言

杉山等の報告した除算器の温度特性を検討し, 同特性のFETと演算増巾器の組合せによる温度補償回路について原理, 構成法等について述べ, 実験を行った結果次の様な点が明らかになった。二つのFETの特性が比較的良く一致していて, FETだけに温度変化を与えた場合出力変動は5~60°Cの温度変化で±1%以内に収まり, 補償以前よりずっと小さくなるが, 全体としては増巾器の温度ドリフト, 回路素子の温度変化等によっても出力変動は起る。したがって温度ドリフトの小さい演算増巾器, 温度変化の小さい回路素子を使用すれば更に良い結果が得られるものと思う。

装置全体は各々の増巾器で充分な周波数特性の補正がなされておれば安定で, 乗算器を使用した除算器の如く発振の恐れがない。また全体の精度はFETと演算増巾器によって決定され, 杉山等の報告による1%が限度であろうと思われる。

以上の問題点の改良と, 補償回路の簡素化, 他の演算器への応用は現在検討中であり, 後日報告する予定である。

最後に, 平素色々と御指導, 御鞭撻頂く広島大学工学部浜村司郎教授, 本校電気工学科主任中村正三教授に深く感謝する。

参考文献

- | | | |
|---------------------|--------------------------|---------------------|
| 1) 杉山・内海 | アナログ技術研究会資料 | 7 [1] 25 ('67) |
| 2) M. M. Abu-zeid 他 | Electronics letters | 4 [16] 324 ('68) |
| 3) P. Laws | Electronics letters | 3 [11] 503 ('67) |
| 4) C. T. Sah | IEEE Trans. | ED-11 [7] 324 ('64) |
| 5) 太田垣・黒瀬 | 電気四学会中国支部大会講演予稿集 | No. 4507 ('69) |
| 6) 太田垣・黒瀬 | 呉工業高等専門学校研究報告 | 5 [2] 63 ('70) |
| 7) 太田垣・黒瀬 | 電気四学会中国支部大会講演予稿集 | No. 22310 ('70) |
| 8) Paul Richman | MOS Field-Effect Devices | McGraw-Hill |

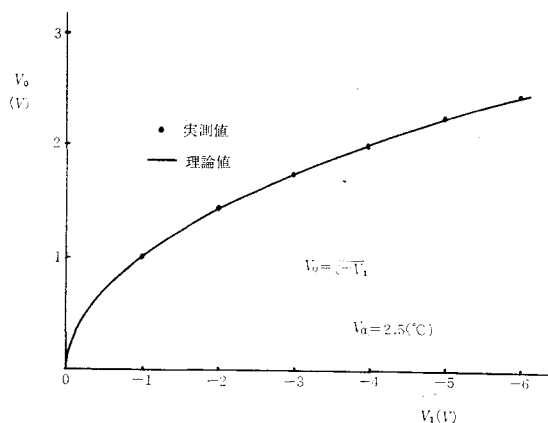


図8 開平器としての静特性

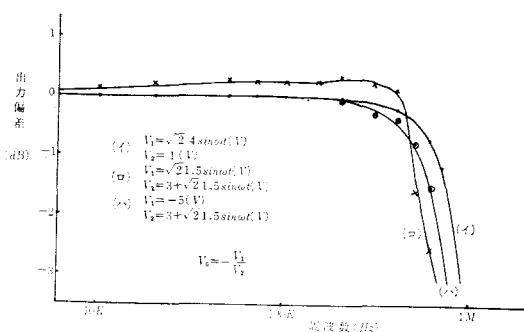


図9 周波数特性

(昭和46年1月8日受付)

交通騒音に関する研究（第4報） （新幹線騒音について）

（建築学科） 藤 井 健

Studies on the Traffic Noise (Report 4) ＝Noise from Sinkansen-Railway＝

Takeshi FUJII

As it had to be predicted how much the noise will increase on account of the establishment of Sanyo-Sinkansen, we had a chance of practical examination of the noise from Tokaido-Sinkansen. We had two examinations, one is the field investigation for select the place to measure the noise level and the other is practical measurement of it.

In this report I show three contents, noise power level, noise level attenuation according to the distance from the railway and the results of an octave-band analysis of the noise. With these data, when a Sinkansen-Railway will be established, we are able to make a forecast about its noise level around the railway. By the way, as the data about the noise from Sinkansen-Railway, there is only one report by the research laboratory of the Japanese Nation Railway.

§ 1 まえがき

山陽新幹線の新設に伴い、騒音の新たな増大およびその特徴を予測する必要性が生じ、東海道新幹線の騒音を実測調査する機会に恵まれた。調査は1969年7月に測定地選定のための現地予備調査と、同月の騒音レベル実測本調査とである。ここに、これらの実測調査をまとめて、1. 新幹線騒音の路床別騒音パワーレベル、2. 距離減衰、3. 騒音の周波数特性について報告し、新幹線が新設された際の騒音の諸特性を予測する資料として供する。なお新幹線騒音に関する報告は日本国有鉄道騒音研究会のまとめたものがあるに過ぎない。（注1）

§ 2 実測調査の概要

2-1. 予備調査

予備調査は7月16, 17, 18日の3日間、京都府から滋賀県にわたり、実測本調査地点を選定するために行った。路盤構造、沿線の地形、障害物の有無、測定器設置の可能性、暗騒音の程度、列車通過時の概略の騒音レベル、距離減衰測定のための空地の有無等を調査し、その結果として表-1に示す7地点を選定した。

2-2. 実測本調査

実測本調査は新幹線の騒音性状を解析するに必要なデータの採取が目的で、予備調査の結果選定した7地点で行った。その概要は次の如くである。

1) 実測日時

1969年7月28, 29, 30, 31日

2) 実測場所

表一1に示す。

表一1

測定地番号	測定場所	路盤構造	測定場所の周囲地形状況
1	京 都 ・ 山 科	高架 (高さ7m)	田園, 障害物なし
2	京 都 ・ 川 田 町	高架 (高さ7m)	空地, 左右に2階建々物 反対側に国道1号バイパス
3	大 津 ・ 一 里 山	盛 土	周囲は広範囲にわたりくさ原 測点は路床と同レベル
4	大 津 ・ 北 大 路 東洋レーヨングラウンド	盛土 (高さ6m)	グラウンド, 測定点反対側に 名神高速道路
5	京 都 駅 東	平 坦	市街, 交通量少
6	大 津 ・ 瀬 田 川 鉄 橋 北 側	架 橋	瀬田川西岸
7	音羽山トンネル 東 口	切り通し	周 囲 崖

3) 測定点

7ヶ所の測定地において, 図一1に示す各点で地上1.2mの位置である。このうち第1測定地 (京都山科・高架), 第3測定地 (大津一里山・盛土), 第4測定地 (大津北大路Tレーヨングラウンド・盛土) の3地点では騒音レベルと距離減衰を目的に測定し, 他では騒音レベルのみを測定。

4) 騒音レベルの測定

指示騒音計から出力をデーターレコーダーに記録し, 指示騒音計の指示値も目読記録した。騒音計の使用特性はA, C両特性であり, 同時に2台使っている。

5) 距離減衰の測定

3台の指示騒音計を3測点に配置し, 同じ列車について3点同時にA特性を使用し記録。マイクロホンには風の影響を除くためにウィンドスクリーンを使用。

6) 列車速度の測定

線路に向って直角に固定した8mmカメラにより, 定点を初車先頭部が通過してから列車最後部が通過するまでの撮影コマ数, および別にストップウォッチの回転を撮影したフィルムの1秒間に送られるコマ数を求め, 列車長さ300.8mであることから計算。

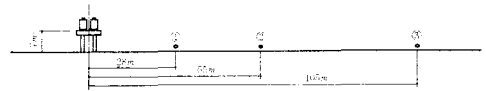


図-1(a) 第1測定地, 京都山科・高架

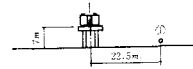


図-1(b) 第2測定地, 京都川田町・高架

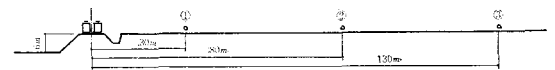


図-1(c) 第3測定地, 大津一里山・盛土

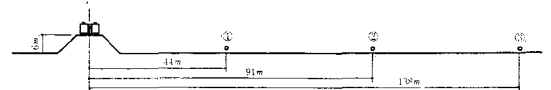


図-1(d) 第4測定地, 大津北大路Tレーヨングラウンド・盛土

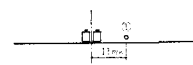


図-1(e) 第5測定地, 京都駅東・平坦

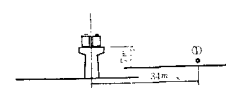


図-1(f) 第6測定地, 大津瀬田川鉄橋・架橋

7) 対象列車その他

各測定列車，上り下りの別，騒音計の使用特性をまとめて表-2に示す。

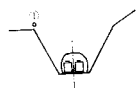


図-1(g) 第7測定地，音羽山トンネル東口・切り通し

表-2

No.	測定地点 ()内測定地番号	路盤構造	通過時刻	速度 (km/h)	上り下りの別	路線に対する測定点の位置	線路中心から各測定点までの距離(m), 騒音レベル(dB)特性								
							m	dB	特性	m	dB	特性	m	dB	特性
1	滋賀県	盛土	9:45	202	下り	下り側	30	84	A	80	74	A	130	66	A
2	一里山		9:47	188	上り		30	79	A	80	71.5	A	130	65	A
3	(3)		9:53	196	上り		30	80	A	80	72	A	130	—	A
4			9:55	176	下り		30	82	A	80	74	A	130	—	A
5	大津 瀬田川鉄橋	架橋	10:34	194	上り	上り側	34	92	A	34	99	C			
6			10:37	196	下り		34	90.5	A	34	96.5	C			
7			10:45	201	下り		34	90.5	A	34	97.5	C			
8			11:04	204	下り		34	90.5	A	34	97	C			
9			11:06	201	上り		34	91.5	A	34	98	C			
10	大津北大路 東洋レーヨングラウンド	盛土	12:35	184	下り	上り側	44	78	A	91	75	A	44	87	C
11			12:46	(上り)196	上下		44	84.5	A	91	77.5	A	44	88	C
12			12:52	153	上り		44	82.5	A	91	77	A	44	84.5	C
13			13:07	199	上り		44	82.5	A	91	76.5	A	138	74.5	A
14			13:26	188	下り		44	75	A	91	74	A	138	72	A
15			13:29	199	上り		44	83	A	91	76.5	A	138	74.5	A
16	音羽山トンネル 東口	切り通し	14:50	—	上り	下り側	15	84	A	15	89	C			
17			14:50	—	下り		15	83	A	15	89	C			
18			15:00	—	上り		15	84.5	A	15	90	C			
19			15:10	—	上り		15	83	A	15	89.5	C			
20			15:15	—	下り		15	85	A	15	92	C			
21	京都 山科	高架	16:38	161	下り	下り側	28	81	A	55	87	C			
22			16:47	197	下り		28	82.5	A	55	89.5	C			
23			16:49	136	上り		28	67	A	55	80	C			
24			16:58	168	下り		28	82.5	A	55	84.5	A	105	80	A
25			17:03	187	上り		28	75	A	55	75.5	A	105	70	A
26			17:06	197	下り		28	84.5	A	55	85	A	105	81	A
27			17:18	180	下り		直下	95	A	直下	100	C			
28			17:22	185	上り		直下	96	A	直下	98	C			
29	京都 川田町	高架	9:08	166	上り	下り側				25.5	84	C			
30			9:19	141	下り		25.5	87	A	25.5	92	C			
31			9:23	172	上り		25.5	79	A	25.5	85	C			
32			9:28	151	下り		25.5	87	A	25.5	93	C			
33			9:29	153	上り		25.5	76	A	25.5	87	C			
34	京都駅東	平坦	10:41	85	上り	下り側	11	80	A	11	85	C			
35			10:49	53	下り		11	80	A	11	83	C			
36			11:00	54	下り		11	81	A	11	84	C			
37			—	64	下り		11	81	A	11	85	C			
38			—	96	上り		11	79	A	11	86	C			

8) 使用機器

- ・指示騒音計 4台 (JEIC SLP-21)
- ・データーレコーダー (TEAC R-200)
- ・8mmカメラ (ヤシカ 8Z2)
- ・トランシーバー 4台 (SONY)

2-3. データ処理法

各点の騒音レベルはデーターレコーダーの磁気テープに入った信号を実験室で再生し、ハイスピードレベルレコーダー (紙送り速度10mm/sec. ペンスピードmedium) に筆記させ、それを読み取った。周波数分析はデーターレコーダーとレベルレコーダーとの間にオクターブフィルターを挿入し、オクターブ分析結果を求め、さらに磁気テープをエンドレステープとし、1/3オクターブフィルター、定比巾フィルターを用い、詳しい分析結果を求めた。また使用機器は次のものである。

- ・データーレコーダー (TEAC R-200)
- ・ハイスピードレベルレコーダー (JEIC LR-A21)
- ・オクターブフィルター (DENSOKU)
- ・1/3オクターブフィルター (DENSOKU)
- ・定比周波巾フィルター (JEIC NA-12)

§3 実測結果およびその検討

ハイスピードレベルレコーダーによって筆記された騒音レベルの時間的変動は、図-2に示すように台形となり、列車が測点の前を通過している間は台形の上底部ではほぼ一定の値を示す。この台形の上底の値をもって列車の騒音レベルとし、各列車の各測点における騒音レベルを表-2に示す。

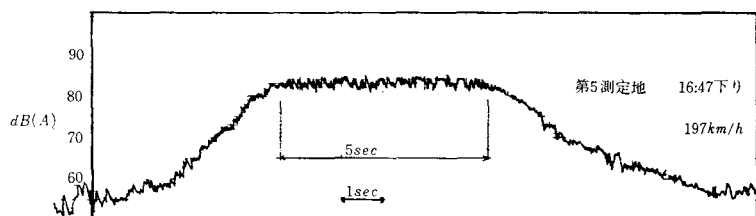


図-2 騒音レベル一例

3-1. 騒音パワーレベルについて

表-2に示す騒音レベルは、列車速度および線路からの距離がそれぞれ異なっているため、表の値のままでは比較検討が不可能である。そこで速度の補正を行ったのち、距離の影響を無くすため音源のパワーレベルを求めて比較する。

列車速度と騒音パワーは高速の場合、2乗則、すなわち騒音パワーは速度の2乗に比例するという関係から次式を用いて、一定速度 (基準速度) における騒音レベルに直すことができる。(注2)

$$\Delta L = 10 \log_{10} \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 = 20 \log \frac{V}{V_0} (dB) \dots \dots \dots (1)$$

ここに ΔL : 補正值 (dB)

V_0 : 基準速度 (km/h)

V : 列車速度 (km/h)

(1) 式を用いて、各列車についての騒音レベルを補正し、200km/hの基準速度における騒音レベルを求

めた。求められた基準速度における騒音レベルから次式を用いて音源の騒音パワーレベルを求める。（注3）

$$PWL = SPL + 8 - 10 \log_{10} \frac{1}{d} \left(\tan^{-1} \frac{l}{2d} \right) (dB) \dots \dots \dots (2)$$

ここに PWL ：音源の騒音パワーレベル (dB)

SPL ：基準速度における騒音レベル (dB)

d ：線路から測点までの距離 (m)

l ：音源（列車）長さ ($=300.8m$)

こうして第1, 第2, 第3, 第4, 第6測定地のすべての測点についての列車の騒音レベルを, 基準速度 $200km/h$ における騒音パワーレベルに直した。ただ, 第7測定地におけるデータは速度が不明であるため速度補正を行っていないが, 測定地の場所から推察して $150 \sim 200km/h$ の範囲の速度と考えられ, (1)式の補正値は最大 $2.5db$ 以下と考えられる。また第5測定地では, 車速がすべて $100km/h$ 以下であり, (1)式の使用は不適当と考えられ, 速度補正は行っていない。

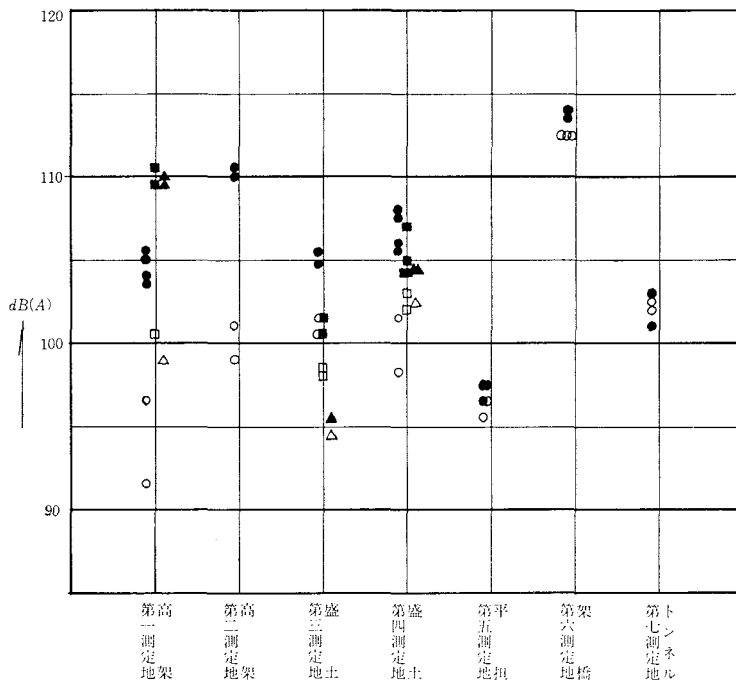


図-3 騒音パワーレベル（第5, 7第測定地は速度補正せず）

こうして求めた各測定地別の騒音パワーレベルを図-3に示す。図中●印は線路から $50m$ 以内, ■印は $50 \sim 100m$, ▲印は $100 \sim 150m$ で測った騒音レベルから求められた騒音パワーレベルのうち, 列車が測点に対して手前の線路を通過する際のものであり, ○印, □印, △印はそれぞれ同じ範囲内での測定から求められたパワーで列車が測点に対し, 向う側の線路を通過する際のものである。図より路床別の騒音パワーの特徴として明らかなことは, 架橋（鉄橋）を通過する際のパワーが最大で $110 \sim 115dB(A)$ であり, 高架の場合は, $90 \sim 110dB(A)$ でバラツキが多く, 列車が手前の線路を通過するときに $100 \sim 110dB(A)$, 反対側を通過するときに $90 \sim 100dB(A)$ と著しい差をみる。このパワーの差の原因としては, 反

対側を通過する際は、放射された音波が高架床の影の部分には達しにくいため、すなわち回折しにくいために生ずる音の影の影響と考えられる。盛土についても、95~110dB(A)の範囲にあり、測点に対して手前を通過する際が反対側を通過する場合よりも大きく、高架の場合と同様、回折の影響の現われと考えられる。トンネルの場合のように測定位置によっては、この現象はみられない。

3-2. 距離減衰について

第1, 第4, 第3測定地において、それぞれ路線からの距離の異なる3点同時に実測した騒音レベルを、横軸に線路からの距離をとり図示したものが、図-4, 図-5, 図-6である。各図中の印●印が列車が手前の線路を通過する際、○印が反対側を通過する際の騒音レベルを示し、細曲線は(2)式右辺第3項の減衰を5dB毎に描いたものである。

路床が高架の場合の距離減衰(図-4)をみると、線路から50m以上離れると(2)式の減衰を示すが、50m以内では(2)式による減衰曲線より低い値をとることが特徴で、上述の回折のためと考えられる。この範囲で実測した測定値が3-1で述べた(2)式による騒音パワーレベルの計算値のバラツキの原因でもあり、求められたパワーレベルは回折を考慮しない計算値であり、厳密な意味での騒音パワーレベルとは違った意味と解釈すべきであろう。

盛土の場合は、列車が測点に対して反対側を通過するときは、上述の高架と同じ傾向が現われるが、

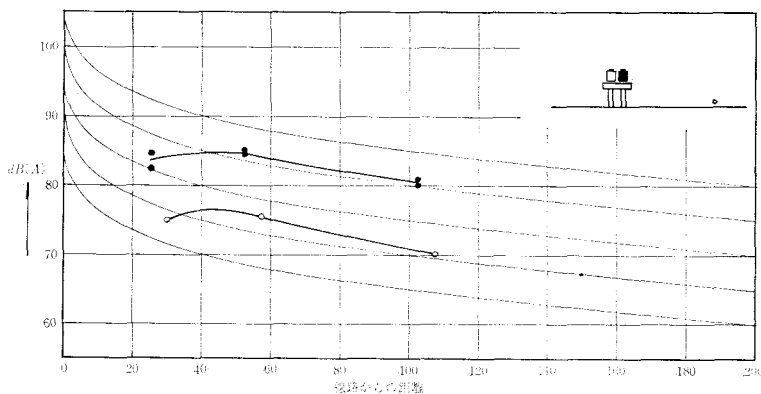


図-4 高架の距離減衰

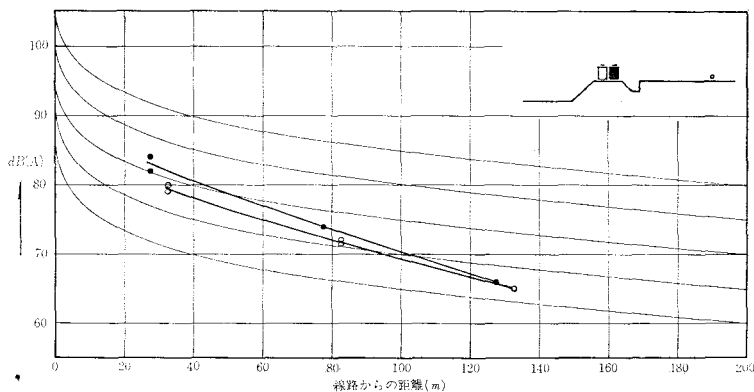


図-5 盛土の距離減衰

線路に一番近い測点が44mであるので高架の場合ほど、顕著でなく、さらに近い点での測定値があれば明確にできよう。手前側を通過する際は、ほぼ(2)式による減衰を示す。

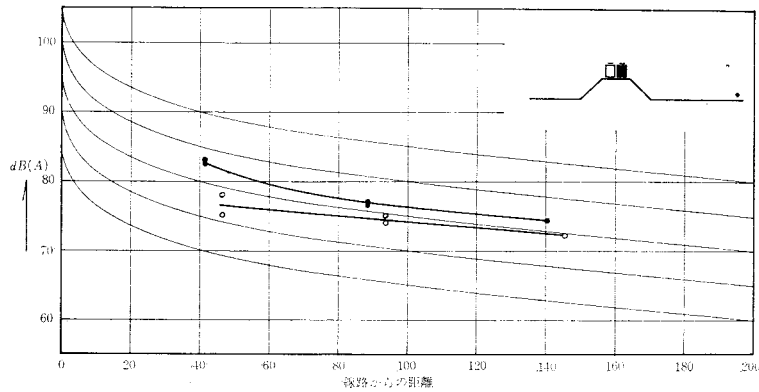


図-6 盛土（平坦）の距離減衰

図-6 に示す盛土であるが測点が路床と同レベルである場合、(2) 式による減衰よりも急激な減衰を示している。この原因は、地表近くを伝搬する音波が、自由空間とは異なった振舞をするためと推察されるが、今のデータからは明確にできない。

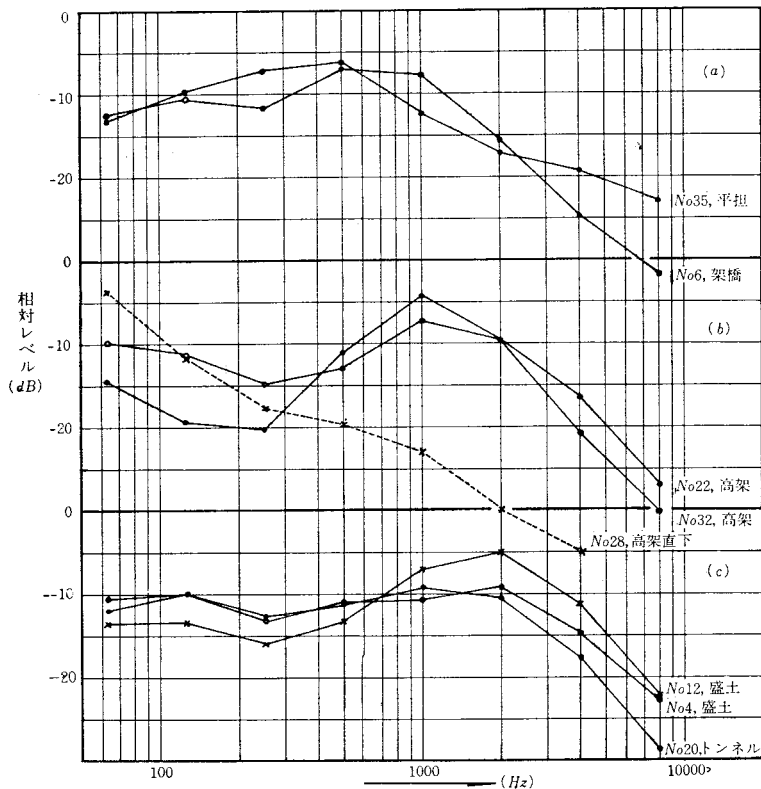


図-7 周波数特性

以上述べた距離減衰で回折の影響の現われた50m以内での測点値から得られたパワーレベルを図-3から除くと、高架、盛土についての騒音パワーレベルは100~110dB(A)といえよう。

3-3. 周波数特性について

各種の分析結果のうち、オクターブ分析結果を図-7に示すが、周波数特性として同図の a , b , c の三つに大きく分かれる。 a は、京都駅車での低速(53km/h)および鉄橋を通過するときの分析結果で、 $200H_z \sim 1000H_z$ にかけてのエネルギーが多い。 b は高架についてで、 $1000H_z$ 付近が多いことが特徴である。また点線は高架直下での分析結果であるが、高周波成分(短波長成分)が大幅に減少しており、前述の回折を裏付けるものである。盛土については $2000H_z$ 付近が多く、トンネルも大差ない。他の交通騒音と比較すると、中高音成分が多いことが、新幹線騒音の特徴であろう。

§ 4 結 言

以上の考察より次のことが結論として得られた。

- 1) 橋りょう(鉄橋)の騒音パワーレベルは110~115dB(A)で最大である。
- 2) 高架盛土の騒音パワーレベルは100~110dB(A)内でバラツキがある。
- 3) 高架、盛土の場合、列車通過位置によって騒音レベルが異なり、受音点側を通過する場合の方が数dB以上大きい。
- 4) 高架、盛土の場合、路線から50m以内では騒音の影の部分が生じ、理論的距離減衰に従わない。
- 5) 音源と受音点と同レベルの敷地上にある場合の距離減衰は、理論的距離減衰よりも急激である。
- 6) 周波数特性としては、高架の場合、 $1000H_z$ 付近のエネルギーが大であり、盛土の場合は $2000H_z$ 付近、鉄橋および低速(盛土)の場合は $200 \sim 1000H_z$ のエネルギーが多い。

終りに、本研究は広島大学瀬沼勲教授の御指導の下で、同研究室 田辺氏、上田、佐伯両君他多くの方々の多大なる御協力とデータ整理の労を得て行なわれたので謝意を表する次第である。また一部はすでに日本建築学会中国支部に発表済みであることを付記する。

参考文献

- 注1) 「東海道新幹線の騒音の現状」日本国有鉄道騒音研究会 昭和44年5月
- 注2) 「東海道新幹線の騒音の現状」日本国有鉄道騒音研究会 昭和44年5月
- 注3) 藤井「交通騒音に関する研究」第1報 呉工業高等専門学校研究報告第4巻第1号 昭和43年12月
- 注4) 藤井、瀬沼「列車騒音の伝搬に関する一考察」日本建築学会中国支部研究報告 昭和45年3月
- 注5) 瀬沼、藤井、田辺「新幹線列車の騒音について(路床別距離減衰)」同上誌
- 注6) 藤井、佐藤「点と線の組合せ音源による音圧レベル」日本建築学会中国支部研究報告 1968年8月
(昭和46年1月8日受付)

昭和45年度中本校教官による他誌発表論文

著 者	題 目	発 表 誌	発 表 場 所
下 村 登	「Richard Wright : Native Son」		中国・四国アメリカ文学会（昭和45年5月30日）
	「James Baldwin 文学について」		中国・四国アメリカ文学会研究大会シンポジウム（昭和45年6月14日）
堀 武 夫	陸上競技の写真判定と計時について	体育学研究 14巻5号	日本体育学会（昭和45年7月）
	陸上競技の写真判定と計時について（その2）	第21回日本体育学会口頭発表	第21回日本体育学会（昭和45年11月21日）
久保田 勲	ディーゼル機関の排気濃度特性について	内燃機関 4月号（1970, vol. 9）	
大 下 隆 章	ホットピーニングをした高 Cr 鋼（SUS53）の疲労強度	機械学会徳島地方講演会講演論文集 No705—1,（1970）, 215.	機械学会徳島地方講演会（昭和45年7月）
里 信 敏 行	「鋳物砂の焼着の研究」	広島県総合技術委員会研究報告	広島県総合技術委員会（昭和45年7月）
灘 野 宏 正	Basic Studies on Scoring of Spur Gears	Bulletin of the JSME, vol. 13, No. 63, 1970	
	表面硬化歯車の歯面温度について	日本機械学会講演論文集No.700—1,	第47期通常総会講演会（昭和45年3月31日）
清 和四土	「荒島石の基本的性質について」	日本建築学会中国支部研究報告	日本建築学会中国支部（昭和45年3月）
	「エフロレッセンスの現状とその対策」	日本建築学会中国支部研究報告	日本建築学会中国支部（昭和45年3月）
	「廊下調査の一方法」	日本建築学会大会学術講演梗概集	日本建築学会大会（昭和45年9月）
	「床面平坦度の実測例」	日本建築学会中国支部研究報告	日本建築学会中国支部（昭和45年10月）

編 集 委 員

糸	島	寛	典
中	村	正	三
阿	部	康	俱
高	井	芳	治
下	村		登
富	田		豊

呉工業高等専門学校
研 究 報 告
第6巻 第2号 (1971)
(通巻 第8号)

昭和46年3月印刷
昭和46年3月発行

編集兼 呉工業高等専門学校
発行者

〒737 呉市豊栄2丁目2ノ1
電話 呉 (0823) 71—9121

印刷所 宇都宮印刷工業株式会社
〒737-01 呉市広町大新開
電話 呉 (0823) 71—7125

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

1. AUDIO-LINGUAL THEORY OF LANGUAGE LEARNING AND THE TEACHING
OF READING Ryoji KUMAGAWA..... 1
2. "Studies on the Physical Standard and Strength and the Exercise Ability of Our
College Students" (Report 1)Takeo HORI and Tokushi ISHIJIMA..... 7
3. A Study of Ranking Decision on the Finish Line of Track and Field
.....Takeo HORI and Tokushi ISHIJIMA.....21
4. Analysis on the Stability of Linear Stationary Systems with Time Delay
.....Masao KOIKE, Yutaka TOMITA and Isao IMAI.....29
5. The Effects of Grain Size of the Rolled Copper Plate on Redidual Stresses
.....Takaaki ŌSHITA.....37
6. The Effects of Grain Size of the Grinded S45C on Redidual Stresses...Takaaki ŌSHITA.....43
7. Studies on the Specific Sliding of the Constant Acceleration Cam with the
Reciprocating Follower (Report 2)Hironori ITOSHIMA.....49
8. Studies on the Specific Sliding of the Constant Velocity Cam with the
Reciprocating Follower (Report 1)Hironori ITOSHIMA.....61
9. Studies on 4-Gear Drives (Report 3)Hironori ITOSHIMA.....75
10. The Visibility of Hue under Low Illumination.....Kazuhiko HARADA.....83
11. The Effects of Color Rendering on Work Efficiency.....Kazuhiko HARADA.....89
12. Temperature Compensated FET DividerHiroshi ŌTAGAKI and Yoshinobu KUROSE.....93
13. Studies on the Traffic Noise (Report 4)=Noise from Sinkansen-Railway=...Takeshi FUJII.....99