

呉工業高等専門学校

研 究 報 告

第7巻 第1号 (通巻第9号)

昭和46年11月(1971)

目 次

1. A Study on "This Side of Paradise".....下 村 登..... 1
2. A STUDY ON CLAUSES OF CONCESSION, "NO MATTER WHAT..."
AND "WHATEVER..."熊 川 良 治..... 11
3. 丁巳復辟真因高 城 博 昭..... 17
4. ラック連桿機構の研究(第2報)糸 島 寛 典..... 21
5. 3歯車リンク機構の研究(第2報)糸 島 寛 典..... 31
6. 揺動等角加速度カムの滑り率の研究(第1報)糸 島 寛 典..... 45
7. 単弦運動カムの滑り率の研究(第1報)糸 島 寛 典..... 59
野 原 稔
8. ポッシュ排気濃度についての理論的考察久保田 勲..... 71
9. ディーゼル機関燃料噴射時期測定装置の試作浜 田 憲 治..... 79
10. 実験計画法によるドリル加工寸法拡大の検討里 信 敏 行..... 87
11. 非接触歯車ポンプの歯間部すきまの最適値(第2報)
(油の粘度変化を考慮した場合)京 免 進..... 93
12. 高圧ナトリウムランプによる色相の見え方原 田 一 彦..... 99
13. DRAP: 回路網解析プログラム村 上 滋 樹.....105
14. 線形計画法を適用した回路網設計法村 上 滋 樹.....111
15. サイリスタチョッパによる直流他励電動機速度制御(第1報)野 村 利 英.....117
16. 電子計算機による楕円型境界値問題の数値解析(第1報)森 本 義 広.....121
17. 鉄筋コンクリート骨組の動的実験福 原 安 洋.....129
18. 格技場の設計計画(第1報)石 沢 正 秋.....135

A Study on "This Side of Paradise"

(英語) 下 村 登

Noboru SHIMOMURA

In order to understand F. Scott Fitzgerald, it is the best way for us to read his last biographical essay "The Crack-Up." The author exposed himself to the public fully, and sometimes excessively. And besides, for more thorough understanding, I think it necessary to read his first biographical novel "This Side of Paradise." This is the very novel that, though considered literarily immature, made him a popular writer overnight. There is something essential in him that continued unchanged from the beginning to the end of his life. His life might be said to be the process of the crack-up of that thing. In this study; I have tried to find what the thing is—what F. Scott Fitzgerald really is.

(Received August 1, 1971)

The days when F. Scott Fitzgerald was born are called "The Turn of the New Century." The American society underwent so sudden a change owing to the rapid mechanization and modernization. Monopolistic capitalism was flourishing without restraint and was enjoying its prosperity. The people were casting off their old customs and conventions, and instead were taking up a new mode of life. This is the situation he was living his young days in. While he was brushing up his literary ability together with his friends at Princeton University, World War I broke out in Europe. The United States was also forced to join the war in 1917, and therefore many of his fellow students volunteered for service and went to the battle-front. He himself volunteered and was trained in the camp. But, strange to say, even in the camp he secretly planned his plot of a biographical novel and made use of every place and time available for writing. In 1918 he completed the script and sent it to the publisher. This is the original script of Book One The Romantic Egotist in "This Side of Paradise." When he moved to a camp in Alabama, he happened to meet a very beautiful girl, Zelda Sayre, daughter of a state supreme court judge. The two soon fell in ardent love. On the other hand the script was refused by the publisher. He rewrote it and sent it again, but it could not be accepted. In the meanwhile, the war came to an end. Without having been to the battle-front, he was discharged from the army and came back to New York. There he worked in an advertising company for some time. Zelda's love began to cool off for him, a handsome but just ordinary poor young man. Broken-hearted, he was lost in alcohol and quit the company. Back to St. Paul, he set to rewrite the biographical novel. This time he was absorbed in the work during the hot days of the summer. He sent the script to the Scribner's. He was very much excited to receive a notice of acceptance he had been longing for. Within a week after the publication, he was told that the number of the sold copies exceeded twenty thousands. Really he woke up to

find himself famous one fine morning. At the age of twenty-three, all of a sudden, he became the favorite of the days. Naturally he succeeded in getting married with Zelda.

This novel is divided into two books. Book One is 'The Romantic Egotist' and Book Two is 'The Education of a Personage.' In Book One, the author tells us about Amory Blaine's birth to his enrollment into the army, while in Book Two the author tells us about the hero's bitter experiences of the heyday of youth in the post-war society.

"Some of them had been freshmen, and wild freshmen, with Amory; some were in the class below; and it was in the beginning of his last year and around small tables at the Nassau Inn that they began questioning aloud the institutions that Amory and countless others before him had questioned so long in secret. First, and partly by accident, they struck on certain books, a definite type of biographical novel that Amory christened 'quest' books. In the 'quest' book the hero set off in life armed with the best weapons and avowedly intending to use them as such weapons are usually used, to push their possessors ahead as selfishly and blindly as possible, but the heroes of the 'quest' books discovered that there might be a more magnificent use for them. 'None Other Gods,' 'Sinister Street,' and 'The Research Magnificent' were examples of such books;" (The Bodley Head SCOTT FITZGERALD vol. III "This Side of Paradise," p. p. 123-124)

Here, Amory Blaine, the alter-ego of Fitzgerald, named a definite type of biographical novel 'quest' book. Judging from his remark, perhaps Fitzgerald tried to imitate such biographical novels and wanted to call this very novel 'quest' book. Then, what did he quest for in this novel? In order to find what he quested for, I will trace each stage of Amory's spiritual growth, his disillusion of life and his realization of himself.

Amory's father had a taste for literature and was an unassertive person, while on the other hand his mother Beatrice had much vanity and a brilliant education barren of all ideas. He inherited almost every trait from, and moreover was largely influenced by, the mother. So, he was a premature boy. At eleven he could talk about such famous composers as Brahms, Morzard and Beethoven. He already experienced drinking and smoking. When he was thirteen, his mother had a nervous breakdown. So, he was sent to live with his aunt and uncle in Minneapolis. There he first faced the crude civilization of the West. At school, he tried to conceal his conviction from other pupils that he was by far superior to others. As soon as he found that it was a prerequisite to distinction to be an excellent athlete, he devoted himself to the sport—football.

"Always, after he was in bed, there were voices—indefinite, fading, enchanting—just outside his window, and before he fell asleep he would dream one of his favourite walking dreams, the one about becoming a great half-back, or the one about the Japanese invasion, when he was rewarded by being made the youngest general in the world. It was always the becoming he dreamed of, never the being." (ibid., p.27)

Such dreams seem to have much to do with his conviction of superiority or with his self-conceit. Besides, the dream of the becoming, not of the being, means that the dreamer can not be satisfied with the present position, but is always ambitious and anxious for a

more distinguished position. But this is a very symbolical and synical remark, for this functioned quite opposite for Fitzgerald—he suffered from a gradual and steady decline in popularity after the brilliant climax of "This Side of Paradise," even if some of his later works such as "The Beautiful and Damned", "The Great Gatsby" and "Tender is the Night" are considered literarily superior.

Anyway he confessed that this was quite characteristic of Amory. This quotation shows that there was something very dreamy and romantic in him.

"But more than that, he had formulated his first philosophy, a code to live by, which, as near as it can be named, was a sort of aristocratic egotism. He had realized that his best interests were bound up with those of a certain variant, changing person, whose label, in order that his past might always be identified with him, was Amory Blaine. Amory marked himself a fortunate youth, capable of infinite expansion for good or evil. He did not consider himself a 'strong char'c'ter,' but relied on his facility (learn things sorta quick) and his superior mentality (read a lotta deep books). He was proud of the fact that he could never become a mechanical or scientific genius. From no other heights was he debarred." (ibid., p. 27)

He had a sort of aristocratic egotism and at the same time a sort of Puritan conscience that looked contradictory with egotism. For instance, when he first kissed a thirteen-year-old girl, Myra St. Claire, he felt disgusted with himself and he hoped he would not see her face or never kiss any girl again. On the other hand, he had vanity mingled with self-suspicion. He thought other people would be his robots and that he would be able to get to a vague top of the world.

At fifteen, he was sent to St. Regis, a Catholic school, in Connecticut. His school-life there for two years was not enjoyable. He was disliked by everybody because of his conceit and arrogance. But towards the end of the second year, he took part in the football match as a quarter-back and suddenly became popular for his heroic play. He was very much elated. After the football season he slumped into dreamy content. He began to read voluminously at the beginning of his eighteenth year—Dickens, Tennyson, Kipling and so on. He decided to go to Princeton University, because he knew there were some attractive clubs in the campus. Thus, his new life began in Princeton. Here, again he devoted himself to football in order to be a big man in the campus. In the dormitory, he discussed literature with some of the inmates and made intimate friends with them. He got a new knowledge of authors and works—Wilde, Swinburne, Shaw, Keats and so on. He joined the staff of the Daily Princetonian. He also took part in the Triangle Club. His main concern was to get everybody's attention. At his sophomore year he distinguished himself as an editor. At the same time, he went on the Triangle Club performance trip, and at each place he attended various parties. Most of them were petting parties. After the Triangle trip, he went to Minneapolis to see his old girl friend Isabelle, sixteen years old. Love flared up in both of them. When she came up to the town, he kissed her. The moment was the high point of his vanity and conceit of youth. But soon afterwards they quarreled with each other on a trifle thing. He came to the realization that really he did not love her. She was aware of the change of his mind and pointed out his lack of self-respect. So, his pride was badly hurt. He sat for the exam but failed to get the credit of mathematics. This

caused him to leave the editorship and to lose the chance of sitting in the senior council. Because of his broken heart, his grief over father's death and his disappointment at a poor legacy, he was thrown into slump and carelessness. At Christmas he was invited by Monsignor Darcy, mother Beatrice's old friend. He told Darcy he was leaving University. In response, Darcy gave him a very interesting lesson.

"'But, Monsignor, I can't do the next thing,' 'Amory, between you and me, I have only just learned to do it myself. I can do the one hundred things beyond the next thing, but I stub my toe on that, just as you stubbed your toe on mathematics this fall.' 'Why do we have to do the next thing? It never seems the sort of thing I should do,' 'We have to do it because we're not personalities, but personages.' 'That's a good line—what do you mean?' 'A personality is what you thought you were, what this Kerry and Sloane you tell me of evidently are. Personality is a physical matter almost entirely; it lowers the people it acts on—I've seen it vanish in a long sickness. But while a personality is active, it overrides "the next thing." Now a personage, on the other hand, gathers. He is never thought of apart from what he's done. He's a bar on which a thousand things have been hung—glittering things sometimes, as ours are; but he uses those things with a cold mentality back of them.'"

(*ibid.*, p. 108)

Darcy had set his affections upon Amory as if upon his own son. Amory had felt much respect for Darcy and was very much influenced by Darcy's character.

The above conversation is just like the exchange of pieces of 'koan' in Zen Buddhism. Darcy explains about the relationship between 'the next thing' and 'a personage.' Apparently 'the next thing' is something like a piece of 'koan' and the idea of 'a personage' smells of Eastern philosophy. Here Darcy taught him not to be just dreamy, but to be steady in everyday-life affairs.

This lesson of Darcy's seems to hint at the hero's realization of the importance of "the sense of security" in the latter part. Encouraged by the remark, Amory returned to University. So far, various changes had taken place not only in Amory's mind, but also in the campus and his fellow students. Club activities were active and prosperous, but on the other hand there was a strong opposition that club activities were harmful to democracy. Some of his friends were inclining to socialism or idealism. He was not a person who believed in socialism. He strayed into the misty side-street of literature. He went on so far as to read Huysmans, Walter Pater, Boccaccio and so forth. Now he gained a new hope again. One day he received a letter from Darcy reading that Amory's third cousin Clara Page was living poor and widowed in Philadelphia. He was asked to see her as a favor. He went there to find that she was intellectual and calm, and that she was gifted with humor and imagination. He was so much charmed by her personality that he began to secretly consider his marriage with her. He even thought that he had never seen such a splendid lady as she. Finally he revealed his love to her. But she did not accept his proposal because she knew really he did not love her. He merely loved her in his imagination, not in the reality. In the meanwhile, the war was surging on the campus.

One friend after another left school for the army. He himself volunteered for service and was commissioned second lieutenant. He had left Princeton with his dear memories of young days. By and by the war was over. He was looking for a job in the town. In New York he happened to meet his friend's sister Rosalind. She proved to be a typical apres-guerre flapper. She did not seem to feel scruple in kissing one boy after another. In the post-war society deep nihilism and decadence was prevailing. The Victorian days were gone when a kiss meant a marriage. The two fell in feverish love, and secretly made an engagement between them. But she was not a girl fitted for a house wife. She cared more for her beauty than for domestic works. Her love began to cool off. She chose to be a lover of an upstart millionaire businessman. She betrayed him just because he was not rich.

"Don't misunderstand! Amory had loved Rosalind as he would never love another living person. She had taken the first flush of his youth and brought from his unplumbed depths tenderness that had surprised him, gentleness and unselfishness that he had never given to another creature. He had later love-affairs, but of a different sort; in those he went back to that, perhaps, more typical frame of mind, in which the girl became the mirror of a mood in him. Rosalind had drawn out what was more than passionate admiration; he had a deep, undying affection for Rosalind. But there had been, near the end, so much dramatic tragedy, culminating in the arabesque nightmare of his three weeks' spree, that he was emotionally worn out." (ibid., p.200)

Broken-hearted and incurably shocked, he walked from bar to bar in alcoholism. He quit the company. What was worse, he was financially troubled. He felt very much isolated and lonely because his inmate Tom De'Inviller went home from the apartment house. So he left for Washington to see Darcy. But unluckily Darcy was out, so he went to Mary-land to spend a few weeks at uncle's. There, walking in the fields, he was struck by a summer storm. While looking for shelter, he happened to hear Verlaine recited by a girl on a haystack. He was charmed by the girl's eyes and he fell in love with the girl, Eleanor. She was the last chance that evil crept up to him with the utmost beauty. She was the last mystery that stirred his last remaining imagination, that charmed him all the more and that churned his mind. One day, late at night, she fell off the horse when she was going to jump over the cliff. On their way home, she revealed her secret to him that her mother died mad. His love suddenly came to an end. He was disgusted with his own image reflected on the mirror of a girl. He was driven into a deep despair and an incurable nihilism.

"He was in an eddy again, a deep lethargic gulf, without desire to work or write, love or dissipate. For the first time in his life he rather longed for death to roll over his generation, obliterating their petty fevers and struggles and exultations. His youth seemed never so vanished as now in the contrast between the utter loneliness of this visit and that riotous, joyful party of four years before. Things that had been the merest commonplaces of his life then, deep sleep, the sense of beauty around him, all desire, had flown away and the

gaps they left were filled only with the great listlessness of his disillusion."

(*ibid.*, p. p. 234—235)

Here, he felt disillusion for the first time in his life. He became more and more careless. One day, he read an article in the paper that Rosalind got engaged with the rich businessman. Until that time, he secretly had a little hope that she might come back to him. But now his hope was completely gone. She had run away from him just because he was not rich.

"I detest poor people," thought Amory suddenly. "I hate them for being poor. Poverty may have been beautiful once, but it's rotten now. It's the ugliest thing in the world. It's essentially cleaner to be corrupt and rich than it is to be innocent and poor." (*ibid.*, p. 245)

He did not consider this idea immoral. What was worse, a severe financial difficulty and Darcy's death followed. He was thrown into difficulty, both spiritual and financial. He realized his heyday had fallen down to the bottom of life. Now he was forced to stand not in the midst of his youth, but on the outside of his youth. He reflected on his past days with a bitter feeling. In grief and nihilism he began to think about himself. On his memory of Darcy, all of a sudden, he came to the realization.

"Of Amory's attempted sacrifice had been born merely the full realization of his disillusion, but of Monsignor's funeral was born the romantic elf who was to enter the labyrinth with him. He found something that he wanted, had always wanted and always would want—not to be admired, as he had feared; not to be loved, as he had made himself believe; but to be necessary to people, to be indispensable; he remembered the sense of security he had found in Burne."

(*ibid.*, p. 255)

"Not to be admired or loved, but to be necessary to people,"—"the sense of security." This was what he had been looking for. This was what he had been questing for. Suddenly life turned bright. He felt an eager desire to give people "the sense of security." Then he began to know himself. He considered his own selfishness. He confessed he had not any drop of human kindness, but thought that even if he may sacrifice himself, it is just because it is the best expression of himself. Finally, he came to the conclusion, "There was no God in his heart, he knew; his ideas were still in riot; there was ever the pain of memory; the regret for his lost youth—yet the waters of disillusion had left a deposit on his soul, responsibility and a love of life, the faint stirring of old ambitions and unrealized dreams. But—oh, Rosalind! Rosalind!...

'It's all a poor substitute at best,' he said sadly. And he had determined to use to the utmost himself and his heritage from the personalities he had passed...

He stretched out his arms to the crystalline, radiant sky. 'I know myself, he cried, 'but that is all.' (*ibid.*, p. 270)

After the disillusion of life, he found responsibility and a love of life. And yet his idea was still in chaos. His memories were bitter and full of grieves and regrets for the lost

heyday of youth. He sadly said to himself that those newly found things were all a poor substitute at best for the love for Rosalind.

This biographical novel is composed of poems, dramatic pieces and fragmental pieces of story. The hero's upgrowth and experiences of love form its main plot. Its structure is quite unrestrained and free. There are some people who doubt the literary value of the novel. Fitzgerald is said to have been offended himself when the name of this novel was mentioned in his later years. Anyway, I should like to consider the reason why this novel was enthusiastically welcomed and read in those days. One of the reasons is, it seems to me, that he frankly revealed and expressed what he himself had felt and done in his youth in the post-war society. This novel might be said to have been dedicated to the apres-guerre young men. In this novel, perhaps the younger generation could discern or see the image of the society they were living in, and in the hero perhaps they could discern the image of their own. Compared with naturalistic novels, this novel is very romantic and lyrical. These points, frank revelation and lyricism, must have appealed to the young people. The other reason is that there is a characteristic atmosphere of restlessness. For instance, the hero argued socialism to the father of his old friend who was killed in France.

"It's not all rubbish," cried Amory passionately. "This is the first time in my life I've argued Socialism. It's the only panacea I know. I'm restless. My whole generation is restless. I'm sick of a system where the richest man gets the most beautiful girl if he wants her, where the artist without an income has to sell his talents to a button manufacturer. Even if I had no talents I'd not be content to work ten years, condemned either to celibacy or a furtive indulgence, to give some man's son an automobile." "But, if you're not sure—" "That doesn't matter," exclaimed Amory. "My position couldn't be worse. A social revolution might land me on top. Of course I'm selfish. It seems to me I've been a fish out of water in too many outworn systems....."

(ibid., p. p. 265-266)

In this novel, the hero's spring-time of life is not glorified. It is filled with too much restlessness and regrets. It is natural that he should have had restless and dark young days, because he had had some of his friends sent to the battle-field and killed. Besides they were just in the midst of the prosperous and unrestrained capitalism. Only millionaires could do anything they wanted. But for poor people the situations were quite contrary. Consciously or un-consciously, Fitzgerald revealed the restlessness of the post-war generation.

No doubt, this also must have made this novel very attractive to the young people. In this way Fitzgerald was rocketed to fame overnight. But no other works of his have sold so well. From that time on, his private life with the wife Zelda was pompous and at the same time pitiful. As he named Book One 'The Romantic Egotist', so he himself is considered to be a romantic egotist. This typical trait of his character remained unchanged to the very end of his life. So, as I have mentioned in the summary, his life might be called the process of the crack-up of a romantic egotist.

Last but not least, I think I should mention the meaning of the two quotations on the flyleaf. The first is a quotation from the following poem.

TIARE TAHITI

Mamua, when our laughter ends,
 And hearts and bodies, brown as white,
 Are dust about the doors of friends,
 Or scent ablowing down the night,
 Then, oh! then, the wise agree,
 Comes our immortality.
 Mamua, there waits a land
 Hard for us to understand.
 Out of time, beyond the sun,
 All are one in Paradise,
 You and Pupure are one,
 And Taü, and the ungainly wise
 There the Eternals are, and there
 The Good, the Lovely, and the True,
 And Types, whose earthly copies were
 The foolish broken things we knew;
 There is the Face, whose ghosts we are
 The real, the never-setting Star;
 And the Flower, of which we love
 Faint and fading shadows here;
 Never a tear, but only Grief;
 Dance, but not the limbs that move
 Songs in Song shall disappear;
 Instead of lovers, Love shall be;
 For hearts, Immutability;
 And there, on the Ideal Reef,
 Thunders the Everlasting Sea!
 And my laughter, and my pain,
 Shall home to the Eternal Brain.
 And all lovely things, they say,
 Meet in Loveliness again;
 Miri's laugh, Teipo's feet,
 And the hands of Matua,
 Stars and sunlight there shall meet
 Coral's hues and rainbows there,
 And Teüra's braided hair;
 And with the starred *tiare's* white,
 And white birds in the dark ravine,
 And *flamboyants* ablaze at night,
 And jewels, and evening's after-green,
 And dawns of pearl and gold and red,
 Mamua, your lovelier head!

And there'll no more be one who dreams
 Under the ferns, of crumbling stuff,
 Eyes of illusion, mouth that seems,
 All time-entangled human love.
 And you'll no longer swing and sway
 Divinely down the scented shade,
 Where feet to Ambulation fade,
 And moons are lost in endless Day.
 How shall we wind these wreaths of ours,
 Where there are neither heads nor flowers?
 Oh, Heaven's Heaven!—but we'll be missing
 The palms, and sunlight, and the south;
 And there's an end, I think, of kissing,
 When our mouths are one with Mouth....

Taü bere, Mamua.

Crown the hair, and come away
 Hear the calling of the moon,
 And the whispering scents that stray
 About the idle warm lagoon.
 Hasten, hand in human hand,
 Down the dark, the flowered way,
 Along the whiteness of the sand,
 And in the water's soft caress,
 Wash the mind of foolishness,
 Mamua, until the day.
 Spend the glittering moonlight there
 Pursuing down the soundless deep
 Limbs that gleam and shadowy hair,
 Or floating lazy, half-asleep.
 Dive and double and follow after,
 Snare in flowers, and kiss, and call,
 With lips that fade, and human laughter
 And faces individual,
Well this side of Paradise!...
There's little comfort in the wise.

PAPEETE, February 1914 (Note: underlined by Shimomura)

This poem was written by an English poet, Rupert Brooke (1887-1915).

He was educated at Rugby and at King's College. He went to the battle-front and died in World War I. He had traveled to North America and the South Seas. He wrote this poem based on his own impression of Tahiti. I think the wonders of Tahiti deserving the name of "the Paradise of this World" were so impressive that he thought of the other world "Paradise." So there are the images of the two Paradises overlapping in his mind. Perhaps he thinks we are now living just on this side of Paradise, not on the far side of

Paraside. Here the foolish and dull can be easily satisfied and content, but the wise and sensitive can not be easily satisfied. It is said that Fitzgerald was very much fascinated by Rupert Brooke whose characteristics were very similar to his own.

Next comes Oscar Wilde's.

"Experience is the name so many people give to their mistakes." No comfort visited Amory Blaine who eagerly quested for something in his young days. For Amory Blaine, who got badly hurt with love and was troubled with regret, it is useless to say that this experience will serve to help him live in the labyrinth of life. That is why at last he grieved and cried "I know myself, but that's all."

Selected Bibliography

Primary Sources

- This Side of Paradise. London: The Bodley Head, 1965
 The Beautiful and Damned. New York: Scribner's, 1950
 The Great Gatsby. London: The Bodley Head, 1970
 Tender Is the Night. New York: Scribner's, 1934
 The Last Tycoon. London: The Bodley Head, 1970
 The Crack-Up and Other Biographical Pieces. London: The Bodley Head, 1965
 Six Tales of The Jazz Age and Other Stories. New York: Scribner's, 1960
 All the Sad Young Men. New York: Scribner's, 1926
 1914 & Other Poems by Rupert Brooke. London: Sidgwick & Jackson, Limited, 1929 The South Seas

Secondary Sources

- Charles E. Shain. University of Minnesota Pamphlets on American Writers vol.III. Tokyo: Hokuseido, 1960
 Takashi Nozaki. Guide of 20th Century English and American Literature F. Scott Fitzgerald. Tokyo: Kenkyusha, 1966
 Kenneth Eble. Twayne's United States Authors Series F. Scott Fitzgerald. New York: Twayne Publishers, Inc., 1963
 Hashyaku Takaki. A Documentary History Of The American People Vol.V Tokyo: Iwanamishoten, 1968

(昭和46年8月1日受付)

A STUDY ON CLAUSES OF CONCESSION, "NO MATTER WHAT . . ." AND "WHATEVER . . ."

(英語) 熊川・良治

Ryoji KUMAGAWA

This is a comparative study on the usage of the two forms of concession often used interchangeably. It is based on a statistical survey of materials collected from eight novels or some 2,500 running pages. The primary findings are (1) that the concessive clause beginning with *no matter what, how*, etc., is commonly used in speech despite assertions to the contrary, and (2) that there is a strong tendency to place the concessive clause beginning with an indefinite relative word *whatever, however*, etc. before the principal clause it is to modify. Other observations related to the subject are made alongside.

(Received July 31, 1971)

1 The idea of concession may be indicated by clauses introduced by a) an indefinite relative pronoun (adjective, or adverb) + *ever* and b) *No matter* + interrogative pronoun (adjective, or adverb).

a) *Whatever* faults he may have, meanness is not one of them.

b) *No matter what* I did, no one paid any attention.¹

The concessive ideas conveyed by these two types of concessive clause approach very close approximation, and the indefinite relative pronoun and the *no matter* + interrogative may be used interchangeably with little alteration in the concessive idea. Some dictionaries are found to give these two types as equivalent in meaning.²

The following examples which are used in almost the same context serve to illustrate the point. Here, getting into contact with the person in question is requested as a matter of great urgency in disregard of his whereabouts.

Ilene shook her head. "His office says he's in New York, but they don't know where to reach him." "You get him, *wherever* he is!" Rina smiled. "You can't fool me any more," she said. -H. Robbins, *The Carpetbaggers*

If anything's really important, get in touch with me *no matter where* I am. -E. S. Gardner, *The Case of the Borrowed Brunette*

2 We have seen that the two types seem mutually replaceable without change in the concessive idea, but it still remains to be seen whether or not there is a tendency to prefer one or the other type as the more appropriate form in accordance with the occasion in which it is used. This is largely a matter of usage.

Grammarians point out that the *no matter what* type is literary, that its style is pompous and that therefore it had better be avoided in the spoken language.³ It is also pointed out

that such concessive clauses as 'no matter what may happen,' 'come what may' are usually replaced by 'whatever happens,' and 'try as he will' by 'however (hard) he tries.' Furthermore, it is said that in the spoken language, 'interrogative + *ever*... indicative present (past) tense' has practically replaced all the other forms that indicate concession.⁴

We would like to see to what extent this is true.

3 A survey was made of concessive clauses beginning with *no matter* + interrogative and with an indefinite relative word from the following eight novels, totaling some 2,500 pages.

F. Scott Fitzgerald, *This Side of Paradise* (Scribner's)

" , *The Great Gatsby* (do.)

" , *Tender is the Night* (Penguin)

" , *The Last Tycoon* (do.)

William Saroyan, *The Human Comedy* (Dell)

John Updike, *Couples* (Penguin)

Harold Robbins, *The Carpetbaggers* (Pocket Books)

Erle Stanley Gardner, *The Case of the Borrowed Brunette* (do.)

The samples thus collected were next classified into two categories, 'written' and 'spoken'. Here, by 'written', it is meant that the clauses in question appeared in the descriptive or narrative parts of the novel, and by 'spoken', that they appeared in direct quotations as spoken by some one of the characters in the novel.

Distribution of the samples is shown in the following table.

TABLE I

		<i>Paradise</i>	<i>Gatsby</i>	<i>Tender</i>	<i>Tycoon</i>	<i>Comedy</i>	<i>Couples</i>	<i>Carpetbaggers</i>	<i>Brunette</i>	Total
<i>No matter what</i> TYPE	WRITTEN	0	0	2	1	0	2	13	0	18
	SPOKEN	0	1	4	0	2	8	10	8	33
<i>Whatever</i> TYPE	WRITTEN	3	1	0	1	5	7	4	0	21
	SPOKEN	2	0	1	2	2	0	5	4	16

Clauses beginning with *whenever* and *wherever* present some difficulty in classification. As Curme states, it is often difficult to make a clear distinction between a concessive clause and a clause of time (or place) with general or indefinite meaning.⁵ The latter often has concessive force and therefore may be classified as such. I have included in my table the following quotations as instances conveying concession.

They played the song for the soldier Marcus, *wherever* he happened to be, because it was the song he loved best. -Saroyan

Ilene shook her head. "His office says he's in New York, but they don't know where to reach him." "You get him, *wherever* he is!" Rina smiled. "You can't fool me any more," she said. -Robbins

What's more, Hines said that *whenever* we went out, Eva was to wear the clothes

that were there in the apartment—she wasn't to wear anything of her own.
-Gardner

Whenever any friend of Helen Reedley called the apartment, Mrs. Winters was to stall the party, promise that Helen Reedley would call back in fifteen or twenty minutes, report to Hines—and then forget it. -Gardner

4.1 It may be seen from the table given above that in the spoken language the *no matter what* type occurred 33 times, whereas the *whatever* type occurred just 16 times. In other words, the frequency of the former type may be said to be approximately twice that of the latter in the spoken language.

Here, however, we must remind ourselves that what we have classified as 'spoken' are no more than direct quotations or transcribed speech in quotation marks and that they are by no means accurate representation of actual speech. On the other hand, in what we have classified 'written' there are instances of narration in the first person, and, stylistically, they could better be classified as 'spoken'. It is important, therefore, that we do not attach too much importance to these figures as showing anything absolute or decisive. It should be borne in mind that these figures merely serve to suggest the general tendency of the two forms of concession.

4.2 It was mentioned in 2 that the *no matter what* type was considered literary, its style pompous, and that therefore it had better be avoided in the spoken language. This statement, however, could not be verified. As far as the statistics are concerned, there is obviously a tendency to prefer the *no matter what* type in the spoken language. This is also in contradiction to the assertion that in the spoken language, the 'interrogative + *ever...* indicative present (past) tense' type has practically replaced all other forms indicating concession.

A study of these examples makes it difficult to deny the existence of a definite liking to use the analytic *no matter what* type in present day spoken English. At any rate, it seems extremely unrealistic to term the form 'literary' or to suggest restriction of its usage to the written language.

Some examples from direct quotations:

"*No matter how* good they make it sound, Junior," my father said, "never let 'em get their hooks into you. -Robbins

"Keep your shirt on. Answer my question. Did you at any time have a key to Helen Reedley's apartment?"

"No."

"Not for any period of time, *no matter how* brief? Not just to go and get something for her?" -Gardner

"Be sure not to talk. Don't answer any questions about the crime—*no matter how* simple they sound. Understand?" -Gardner

Rosemary, falling into line, swayed toward Dick and crooned: 'Oh, you're so nice. I can't imagine anybody not forgiving you anything, *no matter what* you did to them.' -Fitzgerald, *Tender*

Angela stood and said, 'I think we're all pretty much alike, *no matter what* we

think we believe. Husband, I'm drunk. Take me home.'

4.3 It is also worthy of notice that the *no matter what* type and the *whatever* type appeared with about the same frequency in the written language. There is nothing to indicate that the *no matter what* type is preferred to the *whatever* type in a literary context. The usage seems largely a matter of choice.

5.1 The position of the concessive clause in a sentence presents an interesting problem. In the material examined for this study, the concessive clauses were distributed as shown in Table II. Here, by 'pre-position' it is meant that the concessive clause comes before the subject and the predicate verb of the principal clause, by 'mid-position', between the subject and the verb, by 'post-position', after the subject and the verb.

TABLE II

		Pre-position	Mid-position	Post-position
<i>No matter what</i> TYPE	WRITTEN	9	0	9
	SPOKEN	14	0	18
<i>Whatever</i> TYPE	WRITTEN	15	4	2
	SPOKEN	12	1	3

5.2 The figures in the table show that the *no matter what* clauses occur in the pre-position and the post-position with almost the same frequency in both the spoken and the written language. There seems to be a slight tendency to prefer the post-position in the spoken language, but it is dubious whether a mere difference of just four instances could be considered significant.

Examples of *no matter what* clauses in pre-position and post-position:

(Pre-position)

"*No matter who asks me,*" she said, "I'd swear, and will always swear, that Della Street never said a word to me." -Gardner

When she was on the screen, *no matter who else was in the scene,* he could not take his eyes off her. -Robbins

(Post-position)

'We'll all be punished *no matter how it goes.* That's a rule of life, people are punished. -Updike

A hospital was a hospital *no matter how hard you tried to make it look like a hotel.* -Robbins

5.3 In the case of concessive clauses introduced by *whatever, however,* etc., there is a strong tendency to place the concessive clause before the principal clause. This tendency is observable both in the spoken and in the written language.

The followings are examples with the concessive clause in pre-position:

'What did I say to Schwartz in the airport? Do you remember—exactly?'

'You said, "*Whatever you're after,* the answer is No!"' -Fitzgerald, *Tycoon*

She stroked his head gently. "Something is wrong," she said softly. "I know there is. You can tell me, Laddie. *Whatever it is,* you can tell me. I'll understand

and try to help." -Robbins

I have no idea what is ahead, but *whatever it is* I am resigned and ready for it.
-Saroyan

Even his power to wound her with neglect was a power she had created and granted; *whatever he did* he could not escape the province of her freedom, her free decision to love. -Updike

However glorious might be his future as Jay Gatsby, he was at present a penniless young man without a past, and at any moment the invisible cloak of his uniform might slip from his shoulders. -Fitzgerald, *Gatsby*

It may also be worthy of notice that all the instances with the concessive clause in mid-position were those of the *whatever* type. In the first three of the following four examples, the explanation for having chosen the indefinite relatives may be that they are shorter and more concise in form and therefore the more appropriate to insert between the subject and the predicate verb.

Before he began sleeping with Foxy, when Freddy, *however unknowingly*, held Georgene as hostage, Piet would not have been so quick to answer, so defiant.
-Updike

This Freddie, *whoever he was*, knew how to take pictures. -Robbins

When the purse hit the carpet, it hit with quite a thud. Some of the lighter stuff spilled out, but the heavy thing, *whatever it was*, stayed inside. -Gardner

Amory based his loss of faith in help from others on several sweeping syllogisms. Granted that his generation, *however bruised and decimated from this Victorian war*, were the heirs of progress. -Fitzgerald, *Paradise*

6 In most cases of the examples examined, the concessive clause was a full clause, namely a clause consisting of a subject and a predicate verb. In a few cases, however, there were examples in which the predicate verb was not expressed. They belong to the type which Curme considers either as an elliptical form of the full clause or as an absolute nominative construction.⁶ Professor Harasawa points out that such elliptical forms are not infrequent and that they occur only when the subject is a noun.⁷

Examples are:

Now, in order to keep his nephew from annoying him, he had given his three secretaries orders to bar David from his office, *no matter what the emergency*.
-Robbins

No matter how cold the weather, it was always hot in the Amvets'. -Updike

Amory based his loss of faith in help from others on several sweeping syllogisms. Granted that his generation, *however bruised and decimated from this Victorian war*, were the heirs of progress. -Fitzgerald, *Paradise*

It must be noted, however, that such abridged statements are not confined only to the ellipsis of the predicate verb. There are also instances in which both the subject and the predicate verb of the clause are omitted. In most of these cases, the abridged statements stand as predicatives to the subject understood.

"No matter what," he said seriously, "you're my friend." -Robbins

No matter what, he shouldn't have let it happen. -Robbins

"...Did you at any time have a key to Helen Reedley's apartment?"

"No."

"Not for any period of time, no matter how brief?" -Gardner

Neither individually nor as a crowd could they be said to dominate the environment, as one comes to dominate a work of art he may possess, no matter how esoteric. -Fitzgerald, *Tender*

Rosemary appreciated how different it was from any party in Hollywood, no matter how splendid in scale. -Fitzgerald, *Tender*

In the following two examples, the abridged statements are used adverbially.

When I was a young man it was different—if a friend of mine died, no matter how, I stuck with them to the end. -Fitzgerald, *Gatsby*

Before he began sleeping with Foxy, when Freddy, however unknowingly, held Georgene as hostage, Piet would not have been so quick to answer, so defiant. -Updike

Finally, we must take note of the fact that only two instances made use of *however* against eight instances making use of *no matter what* or *how*. The latter seems to be by far the more usual or common form when the concessive clause is abridged.

Notes:

- 1 A. S. Hornby, *A Guide to Patterns and Usage in English* (Oxford, 1956) § 124d & § 124f
- 2 e.g. *Advanced Learner's Dictionary* s. v. MATTER 5 Don't trust him no matter what (=whatever) he says or does.
- 3 安藤貞雄, 「英語語法研究」(研究社, 昭44) p. 127
- 4 原沢正喜, 「現代口語文法」現代英文法講座・7 (研究社, 昭32) p. 79
- 5 Curme, *Syntax* (D. C. Heath & Co., 1931) 26 & 27
- 6 *ibid.*, 32 2
- 7 原沢正喜, *loc. cit.*

(昭和46年7月31日受付)

Additional notes:

After this manuscript had been sent out for printing, I noticed in the serial "Brush Up Your English" (296) by Dr. Scott Baird in the *Asahi Evening News* (Sept. 3, 1971) a statement which will verify my point that the *no matter what* type is the preferred form in the spoken language. Let me quote:

(5) **However** good our health may be, we must take care of ourselves.

This particular use of the word **however** is more literary than spoken. In English speech the construction is usually replaced by the phrase **no matter how** (6).

(6) **No matter how** good our health may be, we must take care of ourselves.

(Oct. 15, 1971)

丁巳復辟真因

(史学) 高 城 博 昭

The Facts of Ding-si Restoration

Hiroaki TAKASHIRO

The object of this article is to illustrate the structure of the political power in the Warlord Period after the establishment of the Republic by showing some historical facts of what caused this restoration movement.

§ 1 まえがき

辛亥革命の革命性の欠除を立論するため、軍閥・同盟会派・立憲派の階級性、社会的経済的基礎、同盟会派・立憲派の階級的基礎の主流をなすといわれる民族ブルジョアジー、農民・都市市民による大衆闘争等の面にふれる予定であったが、今堀教授より香港ミヤゲを頂き、復辟の真因を更に追求したいと思う。これまでの研究でふれた辛亥革命の革命性、軍閥と民党関係等の点は前記の如き側面から深くほりさげるべき大問題であるが、後の機会にゆずり、本稿は復辟の真因追求により民国初期軍閥政権の権力構造把握の基礎工事としたい。

猶、今堀教授より頂いた資料は、テキスト・クリティークの必要があるが、「軍閥政界人物秘史」(学人図書公司印行)、「軍閥軼聞」(羅雨田編・琥珀出版社・民国56年)である。他にその後入手した「北洋軍閥史話第六集」(田布衣著・春秋出版社・民国56年)を主として使用する。

§ 2 北洋の三傑等との関係

皖系首領の段祺瑞・直系首領の馮国璋・それに王士珍の三傑と言われる軍閥が反対を明示すれば復辟は不可能であったことはいうまでもない。

三傑等との関係については、民国5年の第3革命時、5月の南京会議時、6月から6年1月までの3次にわたる徐州会議時、続く参戦問題の進展時、5月の第4次徐州会議時等を中心に数多くの

資料より詳述した^①。これらの研究成果をふまえ、また比較しながら深めていこう。

皖系首領段については、袁の死後、終始一貫北洋派の領袖として軍事独裁政権の確立を図り、そのためには、時には張勳と結び時には対立した。6年5月黎元洪総統に國務総理を罷免されるや、政治生命をかけて張勳復辟によって黎を打倒させ、しかる後、張を打倒して北洋派領袖に帰り吹くということで要約されよう。このことを実証した際に使用した資料とその後入手の資料(以下新資料という)とを細かく比較したが違いはないので詳述は省き、復辟実行直前の段・張関係について、新資料を使用して深めていこう。

6年5月復辟の実行を決定した第4次徐州会議について、新資料田布衣著「北洋軍閥史話」(以下「史話」という)によると—以前「史話」と略記して使用したのは陶菊隱著「北洋軍閥統治時期史話」であり別のものである—63頁に「会議中北京政府(黎総統)は段総理罷免を発令、之に対し会議に参加した北洋軍閥の督軍団は、主張推倒這個北洋派公敵的総統。事实上、這些劍拔弩張的將軍們沒有一個是真心擁護的，他們所關心的只北洋団体的利益、……因此張勳乘機提出实行清室復辟的主張。……段的代表徐樹錚也参加了這個會議。張勳雖因段沒有直接兵權而不予以重視，但段究竟是北洋派的一個領袖，因此想從徐的口裏窺探段對復辟的態度。徐表示說，芝老(段)只求達到驅黎目的，一切手段在所不計。徐是段手下的第一

紅人、他既有此表示、張勳就認為段也不会反对復辟了。」とある。更に66頁に「徐樹錚回到天津來、向段報告徐州會議的一切內容。因此、段党和研究系人物就決定暫時不表示反对復辟、甚至偽裝同意、引誘張勳放心大胆地進行復辟、假張勳之手驅逐總統、然後举起擁護共和國的旗幟來、起兵打倒張勳、恢復段的獨裁政權。這個計劃非常機密、局外人無從得知、……」とある。これらの資料より段は復辟反对を表示せず、第4次徐州會議に徐樹錚を参加させ、同意を偽装し、復辟を進行させ、張勳に黎を驅逐させる。その後共和擁護の名を以て張勳を打倒し、段は獨裁政權を恢復するとみるのが妥当であろう。

次に直系首領馮について、新資料「軍閥軼聞」（以下「軼聞」という）180頁に、張勳の見解として「南陸北馮対袁宮保的不合作、是洪憲皇帝的催命符。」²⁾とある如く、張は陸・馮との関係を重視した。馮は袁の在世中（袁の帝制撤鎖後）より、その武力・地理的位置から南北の争いの調停者として双方から期待されたことは事実であり、それに乗じて定見はもたないが北方と南方の中間勢力として段を政敵とし總統位につくことを図ったということで要約されよう。このことを実証した際に使用した資料と新資料とを細かく比較したが違いはないので詳述は省き、復辟実行前の陸・馮・張関係について新資料を使用して深めていこう。

まず、袁が帝制樹立を企図した頃、陸榮廷の兒子の弔問に馮は潘を派遣した。その際「軼聞」182頁に、潘は陸に馮の意旨として「華帥的意思、与其擁戴項城尊称、毋寧擁戴清朝復辟。」又説「復辟是一件天順人之事、馮華帥与張紹帥的意见、完全相同。」と説いている。之に対し陸は意見を表示せず、いいかげんにあしらった³⁾とある。更に「軼聞」にはないが、「史話」62頁に潘は徐州の張と会見「又対張説・陸幹帥極端贊成復辟。」とある。また「六年三月、陸経過徐州時、張勳在宴会中表示「民国不如清朝、共和制度不如君主政体」陸既是城府很深的人、当然不置可否地聽着。張勳因此誤認陸不便公開贊成復辟、只以不反对来反映其贊成的態度。不久陸到了北京、曾往清宮謁見溥儀、外間又有「獻女為妃」的謠言、張勳因此相信潘的情報是真的。」⁴⁾とある如く、張は南の陸の復辟贊成を信じた。

次に馮との関係については、「史話」62頁に、六年參戰問題は中国国内の收拾すべからざる紛乱の中に政争の具に供せられた頃、馮は潘を徐州に派遣し張の時局に対する態度を探った。その際潘は張に「河間（馮）是個胸無主宰的人。但他善於觀望風色、善於為自身打算。如果大帥和北洋派一致主張復辟、他不会一個人反对復辟。他在辛亥年攻下漢陽、受封男爵、就曾竭力主張反抗革命軍、維持清室就可証明」。張勳本来也認為馮是個善於觀望風色、善於為自身打算的人、潘的花言巧語正和他的看法相同。⁵⁾とある如く、定見をもたないで天下の形勢をみて、自己目的達成（總統位取得）をはかる馮は、北洋派が一致して復辟を主張すれば反対はできないと張は判断した。これは辛亥年だけでなくその後の南京會議以降の馮の動きからみて充分予想しうることであったと思う。ただし、「軼聞」162頁によると、張は潘の言葉だけでは安心せず馮に「共和不適国情、鞏固北洋团体当另籌別策」と打電、之に対し馮は「贊成復辟」と返電した。これは潘が馮の秘書長胡に意をふくめて馮の名義で回答したものである⁶⁾とある。以上のことより張は尊敬する宗社党人潘・胡の画策によって、馮が復辟贊成と判断したと思うが、これまでの馮の動きからみても黎を打倒して總統位取得のためには反対は明示しなかったと思う。

最後に王士珍についてであるが、北洋派中で威望高く三傑と言われ、また非北洋派からも支持されたが、他の三傑段・馮とちがって張の復辟に参加した。従って王・張関係ははっきりしているのであるが、ここで新資料⁷⁾を使用して当時政權を左右した諸勢力即ち北洋派の段・馮・王・張と非北洋派の黎・南の陸との関係を分析し復辟の真因をほりさげてみよう。

參戰問題がこじれ六年五月の第四次徐州會議の頃、非北洋派で兵權をもたない黎は、督軍団特に皖系段一派によって參戰問題で陥った危機を、米國路線及び張・王によって切り抜けようとして段總理を罷免し、王に組閣を請うも王は「不肯売友（段）求榮」。馮を首領とする直系軍閥も王の組閣を主張したが王はうけず、黎は李に組閣を命じ難航したが、結局李内閣即ち実質的には張内閣登場之に対し督軍団は張と正面から争わず李内閣反对ということで張に反対。王の努力で北洋派各省督

軍の一部は黙認、南の陸は反対せずと打電。一方皖系段一派は、前記の如く徐樹錚の画策で李内閣＝張内閣による復辟路線を諒承し、それによる黎打倒続いて張打倒により独裁政権の樹立を計っていた。かくて六月二十四日王を陸軍総長となすと発表。二十五日李就職宣布。ただし李内閣は一流人物に入閣を請うも拒否され、北方各省軍閥はこれを軽視し、依然王の組閣を最適とした。二十八日康有為は化装して入京、その三日後北京城に竜旗が掲げられた。

詳述は省くが要約すれば、黎は王・張によって総統位保持を、馮も王支持によって総統位取得を、段も王・張を利用して総理を奪回して独裁政権の樹立を、陸は王を軸にして李内閣＝張内閣に反対せずという体制下で復辟が実行されたとみるべきであろう。従って王の果たした役割は大きいと言わざるを得ない。復辟後、段・馮共に復辟に反対し、之を打倒して段は総理に、馮は総統位取得と自己目的を達している。この間の事情を裏づける新資料として復辟失敗後、「北洋派三領袖之一的王士珍自覚無顏見人，他的兩個老朋友一個做了總統（馮国璋），一個当了総理（段祺瑞），而他却变成復辟的附從，因此他準備回正定原籍隱居，段聽了馬上跑到他的寓邸安慰他，勸他以北洋团体為重，繼續担任參謀總長。王士珍外，北京軍警長官江朝宗（步軍統領）吳炳湘（警察總監）陳光遠（第七師長）等附逆無罪，而且維持北京秩序有功，均不加罪。」また馮は「要北洋三傑團結，以重振北洋聲勢，……」^⑧とある如く、復辟参加の王士珍外を無罪とし、面目なくて顔向けができないと隱居を準備していた王を參謀總長として、段・馮共に北洋の三傑の團結により政局の主導権を北洋軍閥によって握ろうとした。また「乱事平定之後，段雖曾照會荷蘭公使館，以張勳為内乱犯要求引渡，但那不過是略以解嘲的官樣文章。对參預逆謀的要犯，只下令通緝康有為，劉廷琛，升允，梁鼎芬，万繩栻，胡嗣瑗等，也等於是通而不緝，敷衍了事。」^⑨とある如く、段はてれかくしにオランダ公使館に張の引渡しを要求し、康有為・万繩栻・胡嗣瑗等を全国手配し逮捕する命令を下したが捕縛せず、いかげんにお茶をにごしている。この原因は「捩説張勳所珍藏的「復辟実録」共分二類・第一類為徐州會議紀錄，是由幕僚扈回憶補写

的。第二類為北洋軍閥贊成復辟的函電，共計八十二件。由於張手中有這些文件，所以他有恃無恐，以此為他勒索的本錢。」^⑩とある如く、張は徐州會議紀錄，北洋軍閥の復辟贊成電文を取めた「復辟実録」という頼りになるものが手中にあって恐れるものではなく、これをゆするもとでとじていたからである。

最後に復辟の真の主腦・劃策者として張の參謀長万繩栻について新資料で紹介しよう。彼の叔父が張の幼年貧困期張の母子の生活費をみてやったことが両者の結びつきの淵源であり、張の幕内で大きな権力を有し張が平日酒色に耽り大事を任せただから、万が張に迎合して自分の出世のため康有為・胡・潘と共にすべて暗中復辟を促成した^⑪ことも大きな原因といえよう。

§ 3 道德的知識

段は張勳を、雜牌軍出身の妄自尊大の老粗と評価しているように、妄りに自らを尊大にして独断独行する張勳の個人的性格・力量も一因として考えられる。このことは南京會議・徐州會議等で示され細かく実証したが^⑫、更に新資料により深くほりさげたい。

前記「軍閥政海人物秘史」（以下「秘史」という）によると「彼は満清の旧恩を忘れ得ない忠耿頑固の人であり、道德的知識は旧交を重んじ、同郷觀念が強く、彼の出身地である江西省奉新県人に対し毎年多額の金品を与え、同郷人の多くは彼の拔擢によって重職につき、出身地赤田村は全戸裕福となり、北京の江西會館・奉新県會館は豪華をきわめ、同郷の在京学生に対しては全て奨学金を与える等している。また張勳が民国後も清朝時代の衣冠・葬礼を用いたことは、五十才以上の奉新県出身者に、今になるまでずっと清朝が続いているような印象を与えた」^⑬とある。これらは余りにも偏狭な忠耿心・郷土愛であり、独断独行と言わざるをえない。

「軼聞」によると「民国成立時、彼の軍隊は完全に無紀律の土匪であり、康有為等が彼の隊伍を利用して復辟の軍隊とした」^⑭。

また「辛亥革命時、彼は革命党人を脅制するに数十万の軍隊をもっていると資政院に電報を打っているが、実際は三千余人、老少病弱を除いて戦

闘能力者は千余人に過ぎなかった」^⑧とある。

「秘史」によると、康有為は事前に「復辟は虚君共和制を行うべし、政権は内閣に帰すべし、徐州の現有兵力は三万（この時はあったと思われる）その中一万を入京さし、余りは津浦鐵路と京奉鐵路をおさえる厳密な布陣をとる」よう説いている。もしこの通りに行なっていれば、段祺瑞の入京は当然不可能であったと思われる。彼は急功近利の人であり……」^⑨とある。以上のことより妄自尊大の老粗で独断独行した彼の個人的性格・力量がはっきり示されよう。

§ 4 おわりに

復辟の真因は、民国初期の混乱特に袁の死後、北洋派と非北洋派の対立、更に北洋派内部の対立・最も顕著なものは直・皖の対立、これらは参戦問題で激化し、この混乱の中で、万繩栻・康有為・宗社党潘博、胡嗣瑗等が勸策し、王士珍を軸として段祺瑞は総理奪回のため復辟支持を、馮国璋は総統位取得のため復辟反対を明示せず、陸榮廷も反対を明示せずという体制下で、急功近利型の張勳が復辟を断行したというのが真因であろう。

猶、帝国主義列強との関係については、以前の研究と新資料との間に違いはなく詳述しなかった。簡述すれば、前記中国内部の対立は、帝国主義列強による中国の対独参戦勧誘によって激化したが、大戦の激化＝欧戦線の緊張によって、日本を除く帝国主義勢力の対華侵略が以前に比し緩和され、日本も復辟に反対を明示しなかった。このことより帝国主義列強は、復辟実行に対し反対はしないものと張勳は判断したと思う。

最後に、軍閥とは「軍人が本来の職権の範囲をこえてその握有する軍事勢力を背景として政権に干与し、またはこれを独占する場合、この軍人を中心とする政治軍事機構をいう」とされるが、この期の中国軍閥の特性として、その組織内に濃厚な血縁的・地縁的關係（親分子分關係）および師弟關係をもち、例外なく特定の地盤（排他的財政区域）に割拠するといった諸点が実証されたと思う。

(註)

- ① 拙稿「張勳軍閥の研究」(一)(二)(三)
- ② 同様のことが「史話」61頁
- ③ 同様のことが「史話」62頁
- ④ 同様のことが「軼聞」181頁
- ⑤ 同様のことが「軼聞」182頁
- ⑥ 同様のことが「史話」62頁
- ⑦ 「史話」64～79頁
- ⑧ 「史話」112頁・114頁
- ⑨ 「軼聞」193頁、「史話」112頁
- ⑩ 「軼聞」193頁、「史話」112頁
- ⑪ 「史話」106頁
- ⑫ 拙稿「張勳軍閥の研究」(一)(二)(三)
- ⑬ 「秘史」28～29頁
- ⑭ 「軼聞」165頁
- ⑮ 「軼聞」169頁
- ⑯ 「秘史」34頁

付記)

本研究を終えるに際し、資料を提供して下さった広島大学今堀誠二教授に対し謝意を表する。

(昭和46年8月1日受付)

ラック連桿機構の研究 (第2報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the Motion of the Gear-Rack Drive Mechanism (Report 2)

Hironori ITOSHIMA

In Report 1, the analysis of the angular displacement of the out-put gear on the gear-rack drive mechanism was discussed.

In this report, the angular velocity and acceleration of the out-put gear is examined, when the out-put gear has no eccentricity. If the off-set of the rack is zero, the analyzation of the motion of the out-put gear is easy.

By selecting the sizes of each parts on this mechanism, the maximum angular acceleration of the out-put gear can decrease.

§ 1 緒 言

主動リンクをクランクとし、連桿をラックとし、従動リンクに歯車を用いるラック連桿機構において被動歯車の運動のうちその角変位すなわち回転角については前報¹⁾において被動歯車が偏心していない場合と偏心している場合についてその理論式を導き、それが実験と一致していることを示した。

本報告において被動歯車が偏心していない場合の被動歯車の角速度と角加速度の計算式を導き、最大角加速度の小さい機構を得るための機構の設計を行う。

§ 2 記 号

a : クランクの長さ	b : 固定リンクの長さ
e : ラックのオフセット量	r : 被動歯車のピッチ円半径
θ : クランクの回転角	ϕ : 被動歯車の回転角
$\phi = \phi_2 - \phi_1$	δ : クランクと垂直線との角
s : OO_1 の距離	

§ 3 機構の被動歯車の角速度、角加速度

図1のクランクの回転角 θ と被動歯車の回転角 ϕ との関係を求めるために前報¹⁾において図2に示すように連桿を固定した場合を考え、クランク AB が B 点の垂線 BY となす角を δ とし、クランクの長さ a 、クランクと被動歯車の中心距離を b 、被動歯車のピッチ円の半径を r 、オフセット量を e 、被動歯車の中心 O が AB 線上にある場合の特別な位置 O_1 と A_1 における A_1B の BY となす角を δ_0 、 OO_1 の

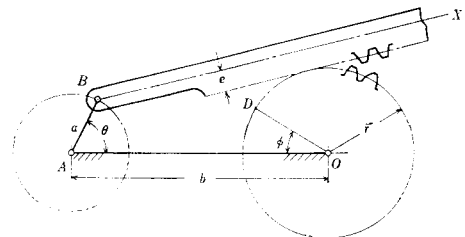


図1 ラック連桿機構

距離を s , BO_1 とピッチ円の交点を D_1 , O_1D_1 線を基準とする歯車の回転角を ϕ とすれば前報より次式が得られた。

$$b \sin(\theta - \delta + 90^\circ) = r + e + a \cos \delta \dots\dots\dots(1)$$

$$s = \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta - (b - a) \sin \delta_0 \dots\dots\dots(2)$$

$$\cos \delta_0 = (r + e) / (b - a) \dots\dots\dots(3)$$

被動歯車の回転角 ϕ は $\angle AOD$ で前報により

$$\phi = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{s}{r} + \theta - (\delta - \delta_0) \dots\dots\dots(4)$$

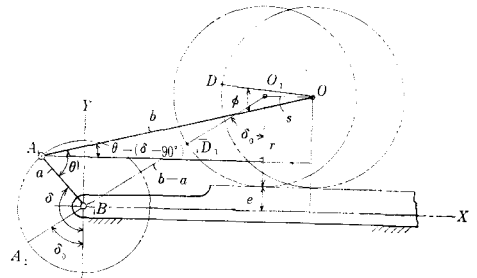


図2 ラックを固定する場合

となる。よって、 a, b, r, e を指定し、 δ に種々な値を与えることにより式(1)より θ , 式(2)より s が求まるので式(4)より ϕ が求まり、 δ をパラメータとし θ と ϕ の関係が得られた。

次にクランクの角速度 ω すなわち $\dot{\theta}$ に対する被動歯車の角速度 $\dot{\phi}$ を求める。そのためには上式を時間で微分し、式(1)より

$$\dot{\delta} = \frac{b \cos(\theta - \delta + 90^\circ)}{b \cos(\theta - \delta + 90^\circ) - a \sin \delta} \dot{\theta} \dots\dots\dots(5)$$

が得られる。また式(1)より

$$b \cos(\theta - \delta + 90^\circ) = \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} \dots\dots\dots(6)$$

が得られるので、式(5)は

$$\dot{\delta} = \frac{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2}}{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta} \dot{\theta} \dots\dots\dots(7)$$

となり、式(2)より

$$\dot{s} = \left\{ \frac{a \sin \delta (r + e + a \cos \delta)}{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2}} - a \cos \delta \right\} \dot{\delta} \dots\dots\dots(8)$$

が得られ、式(4)より

$$\frac{\dot{\phi}}{\dot{\theta}} = \frac{\dot{s}}{r \dot{\theta}} + 1 - \frac{\dot{\delta}}{\dot{\theta}} \dots\dots\dots(9)$$

が得られるので、式(7)、(8)を上式に代入して整理すれば

$$\frac{\dot{\phi}}{\dot{\theta}} = \frac{a}{r} \cdot \frac{(e + a \cos \delta) \sin \delta - \cos \delta \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2}}{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta} \dots\dots\dots(10)$$

となり、クランクの角速度 $\dot{\theta} = \omega$ は一定であるので式(10)より被動歯車の角速度 $\dot{\phi}$ は求められる。

次にクランクの角加速度 $\ddot{\theta} = 0$ であるので、被動歯車の角加速度 $\ddot{\phi}$ は式(10)を時間で微分し整理すれば次式のように示される。

$$\frac{\ddot{\phi}}{(\dot{\theta})^2} = \frac{a}{r} \times \frac{[\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} (a \cos^2 \delta - a \sin^2 \delta + e \cos \delta) + \{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2\} \sin \delta - a(r + e + a \cos \delta) \sin \delta \cos \delta] - \{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta\} - a\{(e + a \cos \delta) \sin \delta - \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} \cos \delta\} \{(r + e + a \cos \delta) \sin \delta - \cos \delta \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2}\}}{\{\sqrt{b^2 - (r + e + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta\}^3} \dots\dots\dots(11)$$

以上の各式を用い、データとして前報に示された $a = 25mm$, $b = 101.2mm$, $e = 8.25mm$, $r = 36mm$, $\delta = 50^\circ \sim 410^\circ$ の場合の $\theta, \phi, s, \dot{\phi}/\dot{\theta}, \ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$ を求めたものを表1と図3に示す。

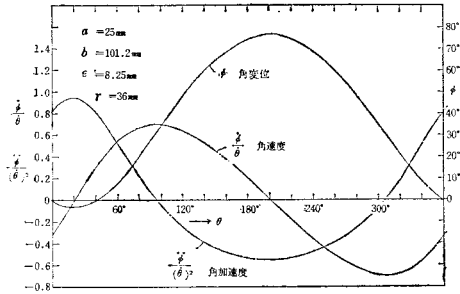


図3 ラック連桿機構の運動

表1 $a=25mm$, $b=101.2mm$, $e=8.25mm$, $r=36mm$

δ°	θ°	s mm	ϕ°	$\dot{\phi}/\dot{\theta}$	$\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$
50	- 3.41289	0.07229	1.20174	- 0.37572	0.77635
60	4.10911	0.10475	- 1.22459	- 0.26738	0.86936
70	11.44931	0.80632	- 2.76782	- 0.15184	0.92846
80	18.69520	2.11576	- 3.43787	- 0.03264	0.95049
90	25.92872	3.97777	- 3.24088	0.08679	0.93541
100	33.22578	6.34305	- 2.17936	0.20310	0.88588
110	40.65631	9.16656	- 0.25507	0.31313	0.80669
120	48.28446	12.40454	2.52647	0.41387	0.70393
130	56.16839	16.01087	6.15007	0.50261	0.58435
140	64.35994	19.93320	10.58420	0.57690	0.45460
150	72.90374	24.10906	15.77409	0.63466	0.32082
160	81.83625	28.46247	21.63526	0.67422	0.18822
170	91.18458	32.90145	28.04845	0.69437	0.06101
180	100.96547	37.31700	34.85690	0.69444	- 0.05767
190	111.18458	41.58386	41.86693	0.67429	- 0.16560
200	121.83625	45.56347	48.85236	0.63435	- 0.26132
210	132.90374	49.10906	55.56282	0.57563	- 0.34393
220	144.35994	52.07258	61.73561	0.49970	- 0.41291
230	156.16839	54.31309	67.10995	0.40866	- 0.46800
240	168.28446	55.70581	71.44259	0.30508	- 0.50911
250	180.65631	56.15119	74.52330	0.19196	- 0.53623
260	193.22578	55.58344	76.18915	0.07262	- 0.54944
270	205.92872	53.97777	76.33658	- 0.04938	- 0.54885
280	218.69520	51.35615	74.93064	- 0.17035	- 0.53466
290	231.44931	47.79095	72.01055	- 0.28653	- 0.50699
300	244.10911	43.40602	67.69152	- 0.39428	- 0.46596
310	256.58711	38.37451	62.16162	- 0.49009	- 0.41150
320	268.79186	32.91240	55.67315	- 0.57076	- 0.34331
330	280.63153	27.26670	48.52741	- 0.63348	- 0.26084
340	292.02003	21.69778	41.05270	- 0.67597	- 0.16336
350	302.88549	16.45668	33.57669	- 0.69657	- 0.05038
360	313.17967	11.76090	26.39730	- 0.69444	0.07763
370	322.46951	8.69951	20.81496	- 0.66986	0.21676
380	332.02003	4.59677	13.83560	- 0.62316	0.36702
390	340.24704	3.15499	9.76795	- 0.55757	0.51292
400	348.79186	0.77302	4.52174	- 0.47334	0.65565
410	356.58711	0.07229	1.20174	- 0.37572	0.77635

図3より行程の出発と停止においてすなわち角速度の零の点で最大の角加速度をとり、この場合出発の角加速度の方が大きいことがわかる。

§ 4 ϕ の極大極小の位置における θ の値とそのときの角加速度

ϕ の極大極小の位置を求めるには、その位置において角速度 $\dot{\phi}/\dot{\theta}=0$ であるので、式(10)の右边を零とおけば ϕ の極大極小の位置における δ が2つ求められる。これを δ_1, δ_2 とす。

$$(e + a \cos\delta)\tan\delta = \sqrt{b^2 - (r + e + a \cos\delta)^2} \dots\dots\dots(12)$$

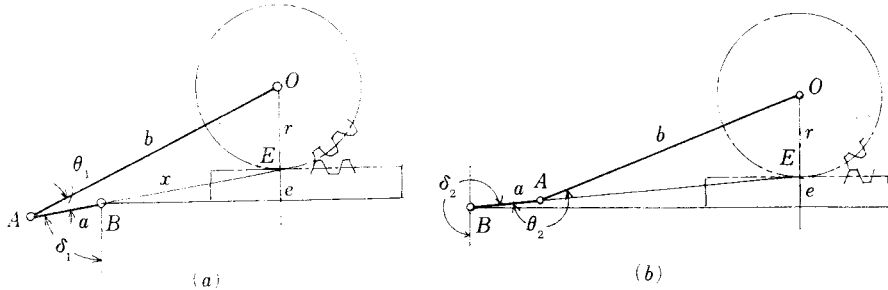


図4 ϕ の極大と極小の位置

この式を図に変換すれば図4の(a), (b)の場合に一致する。いずれの場合もクランク AB の延長がピッチ点 E を通る。このことはまた図1からも速度ベクトルを用いて明らかである。

次に式(12)から δ を求めれば次式のような3次式となる。

$$\cos^3\delta + \frac{a^2 - b^2 + r^2 + 2re}{2ar} \cos^2\delta + \frac{e}{r} \cos\delta + \frac{e^2}{2ar} = 0 \dots\dots\dots(13)$$

いまこの式に表1のデータを代入し計算すれば、 $\delta_1 = 82.722815^\circ, \delta_2 = 265.959241^\circ$ が得られ、これを式(1)~(4), (11)に代入すれば表2が得られる。

表2 ϕ の極大と極小の位置 e = 8.25mm

δ	θ	ϕ	$\dot{\phi}/(\dot{\theta})^2$
$\delta_1 = 82.722815^\circ$	20.66268°	-3.46998°	0.94999
$\delta_2 = 265.959241^\circ$	200.78404°	76.46370°	-0.55074

これから ϕ の極大極小における θ と $\dot{\phi}/(\dot{\theta})^2$ が求められ、もし e を $-15mm$ から $+15mm$ 迄変化させた場合正負の近似最大角加速度は表3と図5のようになる。

角加速度の値は e によって殆んど変化しない。図6は $a = 25mm, e = 8.25mm, r = 36mm$ で $b = 70 \sim 200mm$

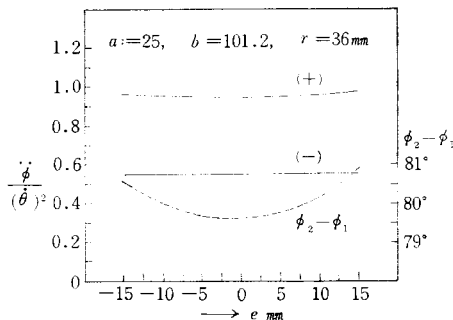


図5 e の変化による近似最大角加速度

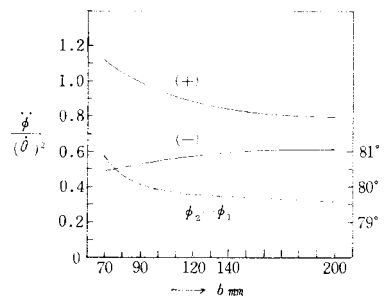


図6 b の変化による近似最大角加速度

表3 $a=25mm, b=101.2mm, r=36mm$

e mm	δ°	θ°	ϕ°	$\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$
0	90	20.83825	- 3.50224	0.94396
	270	200.83825	76.07523	- 0.54926
5	85.71568	20.77732	- 3.49106	0.94606
	267.57289	200.81868	76.21231	- 0.54979
10	81.02956	20.57175	- 3.45324	0.95311
	265.07762	200.75784	76.65952	- 0.55146
15	75.80351	20.17369	- 3.37988	0.96685
	262.50536	200.65206	77.49268	- 0.55438
- 5	93.97603	20.78577	- 3.49265	0.94582
	272.36673	200.81965	76.19923	- 0.54977
-10	97.71050	20.64121	- 3.46637	0.95107
	274.68000	200.76557	76.55207	- 0.55124
-15	101.25320	20.41867	- 3.42628	0.95939
	276.94684	200.67929	77.11294	- 0.55362

変化させた場合で $b=130mm$ 以下になると正の角加速度が急上昇する。

$a=25mm$ とし、 r を変化させた場合と $r=36mm$ として a を変化させる場合とで近似最大角加速度はかなり変化するのでこれを図7に示す。 $a=25mm$ の場合 r を小さくすると正負の角加速度が急増し、 $r=36mm$ として a を大きくすると正の角加速度が増大するので、 a は小さい程よいことがわかる。

§ 5 オフセット量 $e=0$ の場合の
近似最大角加速度

式(13)より $e=0$ の場合は $\cos\delta=0$ となり、 $\delta_1=90^\circ, \delta_2=270^\circ$ が得られる。これを図8に示す。式(1)~(4)より

$$\theta_1 = \sin^{-1} r/b, \theta_2 = \sin^{-1} (-r/b), \theta_2 - \theta_1 = 180^\circ \dots\dots\dots (14)$$

$$\cos\delta_0 = \frac{r}{b-a}, \sin\delta_0 = \frac{\sqrt{(b-a)^2 - r^2}}{b-a} \dots\dots\dots (15)$$

$$s_1 = \sqrt{b^2 - r^2} - a - (b-a)\sin\delta_0, s_2 = \sqrt{b^2 - r^2} + a - (b-a)\sin\delta_0 \dots\dots\dots (16)$$

$$\phi_1 = \frac{180^\circ}{\pi} - \frac{s_1}{r} + \theta_1 - 90^\circ + \delta_0, \phi_2 = \frac{180^\circ}{\pi} - \frac{s_2}{r} + \theta_2 - 270^\circ + \delta_0 \dots\dots\dots (17)$$

$$\phi_2 - \phi_1 = \frac{180^\circ}{\pi r} (s_2 - s_1) = \frac{360^\circ}{\pi r} a \dots\dots\dots (18)$$

式(11)に $\delta_1=90^\circ$ と $\delta_2=270^\circ$ を代入すれば

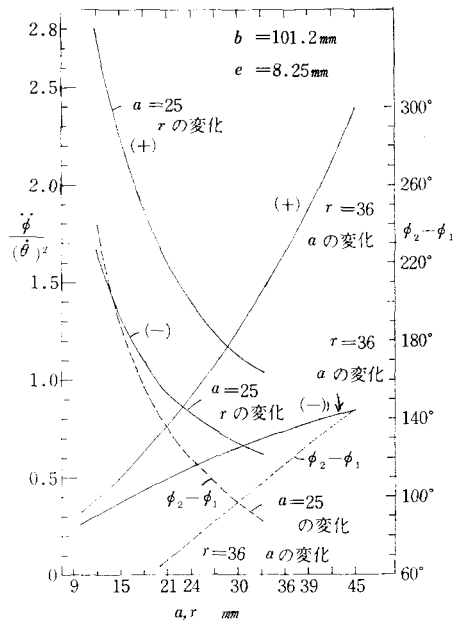


図7 a, r の近似最大角加速度に及ぼす影響

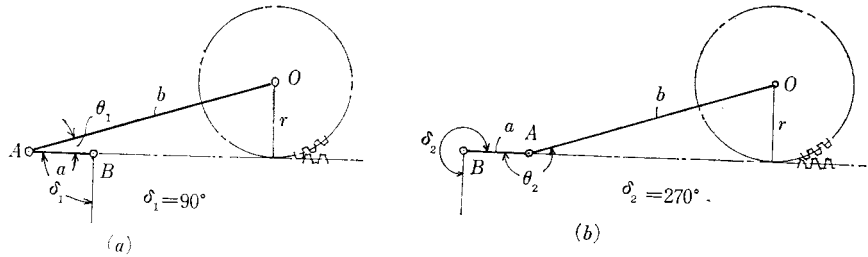


図8 e = 0 の場合の φ の極大と極小の位置

$$\left| \frac{\ddot{\phi}}{(\dot{\theta})^2} \right|_{\delta_1=90^\circ} = \frac{a}{r} \cdot \frac{\sqrt{b^2 - r^2}}{\sqrt{b^2 - r^2} - a} \quad \left| \frac{\ddot{\phi}}{(\dot{\theta})^2} \right|_{\delta_2=270^\circ} = -\frac{a}{r} \cdot \frac{\sqrt{b^2 - r^2}}{\sqrt{b^2 - r^2} + a} \quad (19), (20)$$

が得られる。

いま $\phi_2 - \phi_1 = \varphi$ とおけば式(18)より

$$a = \frac{\pi r}{360^\circ} \varphi \quad (21)$$

$\varphi = 90^\circ$ のとき $a = \frac{\pi}{4} r$, $\varphi = 180^\circ$ のとき $a = \frac{\pi}{2} r$, $\varphi = 360^\circ$ のとき $a = \pi r$ となる。

式(21)にこれらの値を代入し、被動歯車の歯数 $Z = 36$, $e = 0$, $m = 0.75\text{mm}$, $r = 13.5\text{mm}$, $\varphi = 60^\circ \sim 360^\circ$, $b = 30 \sim 250\text{mm}$ の場合の近似最大角加速度を求めたものを図9に示す。φが小さい場合はbが小さくても最大角加速度は小さいがφの増す程大となり、bが大きくなれば一定値に近づく。図から $e = 0, \varphi = 360^\circ$ のとき $b = 189\text{mm}$ で最大角加速度が4となり、これよりbが増しても減少しないことがわかる。

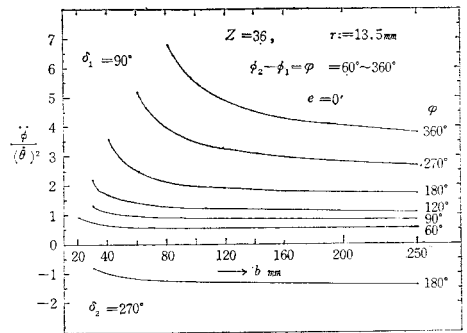


図9 φ の指定による近似最大角加速度の b による変化

§ 6 e = 0 の場合の運動

ラックのオフセット量が零の場合の角変位, 角速度, 角加速度を求める。

$$\theta = \sin^{-1} \frac{r + a \cos \delta}{b} + \delta - 90^\circ, \quad a = \frac{\pi r}{360^\circ} \varphi \quad (22)$$

$$s = \sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta - (b - a) \sin \delta_0 \quad (23)$$

$$\phi = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{s}{r} + \theta - (\delta - \delta_0) \quad (24)$$

式(10)より角速度 $\dot{\phi}/\dot{\theta}$ は

$$\frac{\dot{\phi}}{\dot{\theta}} = -\frac{a}{r} \cos \delta \quad (25)$$

となり, 角加速度は式(11)より

$$\frac{\ddot{\phi}}{(\dot{\theta})^2} = \frac{a}{r} \times \frac{\sin \delta \sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2}}{\sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2} - a \sin \delta} \quad (26)$$

いま $\delta = 90^\circ, 270^\circ$ の場合を式(25), (26)に代入すれば容易に $\dot{\phi}/\dot{\theta} = 0$, 式(19), (20)が得られる。また式(22)から

$$\sin(\delta - \theta) = \frac{1}{b} \sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2}$$

だから、式(26)は次式のようになる。

$$\frac{\ddot{\phi}}{(\dot{\theta})^2} = \frac{a}{r} \cdot \frac{b \sin \delta \sin(\delta - \theta)}{b \sin(\delta - \theta) - a \sin \delta} \dots (27)$$

実例として (1) $e=0$, $\varphi=360^\circ$, $a=\pi r=42.4115$ mm, $r=13.5$ mm, $m=0.75$ mm, $Z=36$, $b=189$ mm の場合を図10に, (2) $e=0$, $\varphi=180^\circ$, $a=\pi r/2=21.2058$ mm, $r=13.5$ mm, $b=100$ mm の場合を図11に, それぞれの被動歯車の角変位, 角速度, 角加速度線図を示す。両図から $\phi_2 - \phi_1 = \varphi$ の値が小さい程近似最大角加速度が小となり, 運動は単弦運動に近づき, 滑らかな運動になることがわかる。

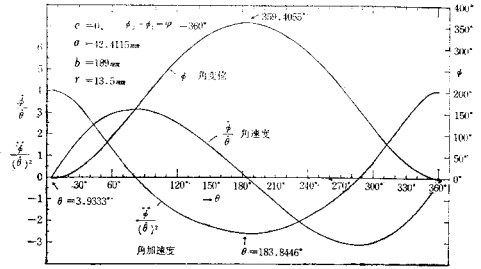


図10 $e = 0$, $\varphi = 360^\circ$ のラック連桿機構の運動

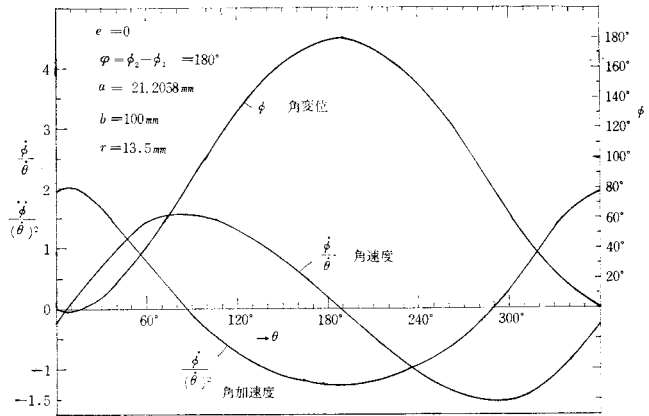


図11 $e = 0$, $\varphi = 180^\circ$ のラック連桿機構の運動

§ 7 $e = 0$ の場合の最大角速度

$e=0$ の場合の最大角速度を求めるには式(26)の $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2=0$ とおけばよいので, その結果

$$\sin \delta \sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2} = 0 \dots (28)$$

となるが, 式(12)から $\sqrt{b^2 - (r + a \cos \delta)^2} \neq 0$ なので

$$\sin \delta = 0, \delta = 180^\circ, 360^\circ \dots (29)$$

となる。

(1) $\delta = 180^\circ$ の場合

式(22)~(25)より

$$\sin(\theta - 90^\circ) = \frac{r-a}{b}, \cos \delta_0 = \frac{r}{b-a}, \sin \delta_0 = \frac{\sqrt{(b-a)^2 - r^2}}{b-a} \dots (30), (31), (32)$$

$$s = \sqrt{b^2 - (r-a)^2} - \sqrt{(b-a)^2 - r^2} \dots (33)$$

$$\dot{\phi}/\dot{\theta} = a/r \dots (34)$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi = 360^\circ \text{ の場合式(21)より } & a = \pi r, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max} = \pi \\ \varphi = 180^\circ \text{ の場合 } & a = \pi r/2, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max} = \pi/2 \end{aligned} \right\} \dots (35)$$

となる。

(2) $\delta = 360^\circ$ の場合

$$\sin(\theta - 270^\circ) = \frac{r+a}{b}, s = \sqrt{b^2 - (r+a)^2} - \sqrt{(b-a)^2 - r^2} \dots (36), (37)$$

$$\dot{\phi}/\dot{\theta} = -a/r \dots (38)$$

$$\left. \begin{array}{l} \varphi=360^\circ \text{の場合} \quad (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max} = -\pi \\ \varphi=180^\circ \text{の場合} \quad (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max} = -\pi/2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots(39)$$

となる。

(3)例として図10の $\varphi=360^\circ$, $b=189mm$, $r=13.5mm$, $a=\pi r=42.41150mm$ の θ , $s, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}$ を求める。

$$\delta=180^\circ \text{の場合}, \theta=81.20087^\circ, s=40.81006mm, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}=3.14159$$

$$\delta=360^\circ \text{の場合}, \theta=287.20718^\circ, s=34.57505mm, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}=-3.14159 \text{ となる。}$$

(4) $\varphi=180^\circ$, $b=100mm$, $r=13.5mm$, $a=\pi r/2=21.20575mm$ の θ , $s, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}$ を求める。

$$\delta=180^\circ \text{の場合}, \theta=85.58056^\circ, s=22.07352mm, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}=1.57080$$

$$\delta=360^\circ \text{の場合}, \theta=290.30742^\circ, s=16.15524mm, (\dot{\phi}/\dot{\theta})_{max}=-1.57080 \text{ となる。}$$

§ 8 e = 0 の場合の最大角加速度

被動歯車の角加速度の最大になる θ の位置は ϕ の値が極大, 極小になる θ の位置とは少しずれている。この θ の位置を求めるために, そのときの δ を求める。

式(11)を時間で微分し $d^3\phi/dt^3=0$ とおけばよいが, 式(11)は非常に複雑なので実行できない。

$e=0$ の場合の角加速度を示す式(26)を時間で微分すれば $d\theta/dt$ が一定だから

$$\frac{d^3\phi}{dt^3} = \frac{a}{r} \left(\frac{d\theta}{dt} \right)^2 \frac{\left[A \cos\delta + \frac{a}{A} \sin^2\delta(r+a \cos\delta) \right] (A-a \sin\delta) - \left[\frac{a}{A} \sin\delta(r+a \cos\delta) - a \cos\delta \right] A \sin\delta}{(A-a \sin\delta)^2} \times \dot{\delta} \dots\dots\dots(40)$$

ただし

$$A = \sqrt{b^2 - (r+a \cos\delta)^2} \dots\dots\dots(41)$$

となるので, 右辺を零とおき δ について整理すれば

$$\cos^2\delta \{ b^2 - (r+a \cos\delta)^2 \}^3 = a^4 (1 - \cos^2\delta)^3 (r+a \cos\delta)^2 \dots\dots\dots(42)$$

となり, $\cos\delta$ の 8 次式になるので, これはそのままでは解けないが式(13)から得られる δ_1, δ_2 の値に近いので逐次近似法を用いて δ を求めることができる。 δ が求まれば式(4)~(11)より $\theta, \ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$ の値が求まる。

(1) 例として図10の $\varphi=360^\circ$, $b=189mm$, $r=13.5mm$, $a=\pi r=42.41150mm$ の場合, 近似最大角加速度は $\delta_1=90^\circ$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2=4.05353$, $\delta_2=270^\circ$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2=-2.56462$ であるので式(42)から電子計算機により δ_1 を求めれば $\delta_1=89.789996^\circ$ となり, このとき $\mu_1=4.14329^\circ$, $s_1=0.12929mm$, $\dot{\phi}/\dot{\theta}=-0.01152$, $\theta_1=3.93329^\circ$, $\phi_1=-0.59211^\circ$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2_{max}=4.05357$ となり $\delta_1=90^\circ$ の $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$ との差は 0.00004 だけ大となる。

δ_2 を求めれば $\delta_2=269.79478^\circ$ となり, このときの $\mu_2=4.04985^\circ$, $s_2=8.49738mm$, $\dot{\phi}/\dot{\theta}=0.01126$, $\theta_2=183.84463^\circ$, $\phi_2=359.405552^\circ$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2_{max}=-2.56463$ となり $\delta_2=270^\circ$ の場合との差は -0.00001 だけ大となる。

(2) 図11の $\varphi=180^\circ$, $b=100mm$, $r=13.5mm$, $a=\pi r/2=21.20575mm$ の場合, 近似最大角加速度は $\delta_1=90^\circ$ で $\dot{\phi}/(\dot{\theta})^2=1.9985$, $\delta_2=270^\circ$ で $\dot{\phi}/(\dot{\theta})^2=-1.29388$, 式(42)から $\delta_1=89.638774^\circ$, $\theta_1=7.47472^\circ$, $\phi_1=248.28796^\circ$, $\dot{\phi}/\dot{\theta}=-0.00990$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2_{max}=1.99856$ となり角加速度は 0.00005 だけ大きくなる。

次に $\delta_2=269.64616^\circ$, $\theta_2=187.32905^\circ$, $\phi_2=428.28446^\circ$, $\dot{\phi}/\dot{\theta}=0.009702$, $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2_{max}=-1.29390$ で角加速度は -0.00002 だけ大となる。

$e=0$ の場合最大角加速度を生ずる δ の値は角速度の零の点すなわち出発点と停止点 $\delta=90^\circ, 270^\circ$ の位置より少し大きい値であるが, 最大角加速度の値と近似最大角加速度の差は非常に少ないので, $\delta=90^\circ, 270^\circ$ の位置の角加速度を最大角加速度と見做してよい。

よって $e \neq 0$ の場合においてもほぼ同様なことが言え、しかもその値は e に余り影響されないので表 3 に示す δ における $\ddot{\phi}/(\dot{\theta})^2$ が最大角加速度と考えてよい。

§ 9 結 論

ラック連桿機構においてオフセット量 e を零とすれば、被動歯車の揺動角 $\varphi = \phi_2 - \phi_1 = 360^\circ a / (\pi r)$ となり、クランク a の長さを調節することにより被動歯車の揺動角を適当に調節することができるので非常に便利な機構と思われる。

以上によりラック連桿機構の角速度、角加速度の理論式とその変化が明示され最大角変位、最大角速度、最大角加速度の位置の問題が解かれた。被動歯車の偏心のある場合については次報に譲る。

文 献

- 1) 糸島寛典, 西本進: ラック連桿機構の研究 (第1報), 呉工業高等専門学校研究報告, 第3巻, 第1号, 55~61頁, 1967.
- 2) G.N. Sander & D.R. Wilt: Optimal Synthesis of a Geared Four-Link Mechanism, Journal of Mechanism, Vol. 4, No. 4, p. 291~302, Winter 1969.

(昭和46年7月31日受付)

3 歯車リンク機構の研究 (第 2 報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典

Studies on the 3-Gear Drives (Report 2)

Hironori ITOSHIMA

In Report 1, the motion of the 3-gear drives was discussed when the driving and driven gears were made in the same size. Consequently it was found out that the angular acceleration of the driven gear at the starting point or the stopping point is zero.

In this report, the motion (angular displacement, angular velocity and angular acceleration) of the driven gear on the 3-gear drives with gear ratio 1:2 was examined. In order to decrease the maximum angular acceleration of the driven gear, the value of the eccentricity of the driving gear was acquired.

§ 1 緒 言

前報¹⁾において 3 歯車リンク機構の駆動歯車に対する被動歯車の角変位, 角速度, 角加速度の計算式を導き, 被動歯車の 1 回転中一時停止する場合について, 両歯車の歯数が等しい場合の駆動歯車の偏心率と軸間距離の計算式を示した。

その結果被動歯車の出発と停止における角加速度が零であることがわかった。これを応用して衝撃の小さい往復運動機構を作成するため駆動歯車と被動歯車の歯数が異なる場合, 特に 1:2 となるすなわち駆動歯車が 1 回転中被動歯車が 2 度一時停止する場合の各リンクの長さおよび歯数の影響を調べる。

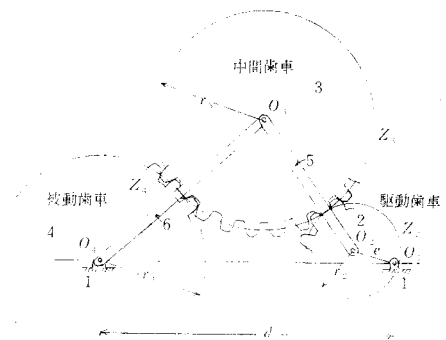


図 1 3 歯車リンク機構

§ 2 記 号

Z_2, Z_3, Z_4 : 駆動歯車, 中間歯車, 被動歯車の歯数

r_2, r_3, r_4 : 駆動歯車, 中間歯車, 被動歯車のピッチ円半径

d : 駆動歯車と被動歯車との軸間距離

d_0 : 被動歯車が一時停止する場合の軸間距離

e : 駆動歯車の偏心率

m : 歯車のモジュール

$\alpha_0, \beta_0, \phi_0$: 駆動歯車の中心 O_2 が O_4O_1 の延長上にあるときの三角形 $O_2O_3O_4$ における各頂角

$\theta_{21}, \theta_{31}, \theta_{41}$: 歯車 2, 3, 4 が固定リンク 1 に対する回転角

θ_{51}, θ_{61} : リンク 5, 6 が固定リンク 1 に対する回転角

図3は $Z_2=36, Z_4=72$ とし中間歯車 $Z_3=60\sim 108$ に変化させた場合の各 e に対する被動歯車が一時停止を行う軸間距離 d_0 を示す。図から中間歯車の歯数 Z_3 が小さい程 d_0 は短くなり、前報¹⁾における $Z_2=Z_4=60, Z_3=108$ の場合に較べて e の値が小となる。 $Z_2=30, Z_4=60$ の場合を図4に示す。図3に較べて図4の場合は e が更に小さくなる。図3の曲線上の○点は最大角加速度と最大角減速度の絶対値が等しい場合の e と d_0 を示す。

表1から一時停止の駆動歯車の回転角 θ_{21} は e が増加すれば逆に減少する。

前報¹⁾において $Z_2=Z_4$ の場合は d を与えて一時停止するための e の値を計算式を導き、それを求めることができたが、 $Z_2 \neq Z_4$ の場合は成功しないため、Hirschhorn の示す式を用いなければならぬので、 e を与えて d_0 を求めるほかなく逆ができない。

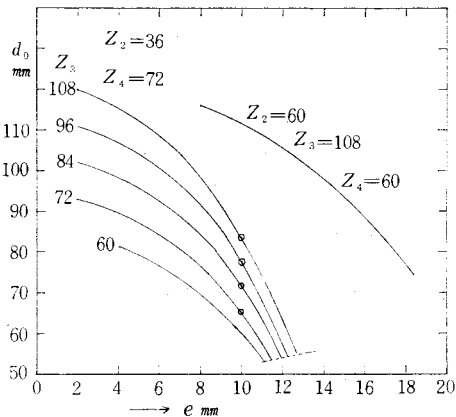


図3 $Z_2=36, Z_4=72$ の場合の e の変化による一時停止 d_0 の値

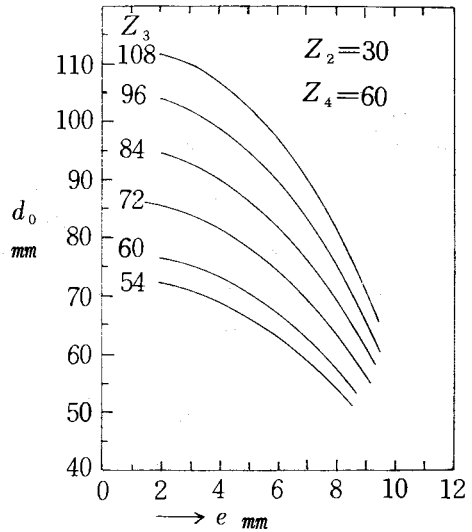


図4 $Z_2=30, Z_3=60$ の場合の e の変化による d_0 の値

§ 4 3 歯車リンク機構の角変位，角速度，角加速度 ($Z_2 \neq Z_4$)

図5に示す駆動歯車の回転角 $\theta_{21}=0$ の場合の頂角 α_0, β_0 , ϕ_0 は前報¹⁾より次式で求められる。

$$\cos\alpha_0 = \frac{(d+e)^2 + (r_2+r_3)^2 - (r_3+r_4)^2}{2(d+e)(r_2+r_3)} \dots\dots(13)$$

$$\cos\beta_0 = \frac{(r_2+r_3)^2 + (r_3+r_4)^2 - (d+e)^2}{2(r_2+r_3)(r_3+r_4)} \dots\dots(14)$$

$$\cos\phi_0 = \frac{(d+e)^2 + (r_3+r_4)^2 - (r_2+r_3)^2}{2(d+e)(r_3+r_4)} \dots\dots(15)$$

次に駆動歯車の回転角 θ_{21} に対するリンク5, 6の固定リンク1に対する角変位 θ_{51}, θ_{61} は前報より次式で求められる。

$$\tan\lambda = \frac{d+e \cos\theta_{21}}{e \sin\theta_{21}} \dots\dots(16)$$

$$\sin(\theta_{61} + \phi_0 + \lambda) = \frac{d^2 + e^2 + (r_3+r_4)^2 - (r_2+r_3)^2 + 2de \cos\theta_{21}}{2(r_3+r_4)\sqrt{d^2 + e^2 + 2de \cos\theta_{21}}} \dots\dots(17)$$

$$\tan(\alpha_0 - \theta_{51}) = \frac{-e \sin\theta_{21} + (r_3+r_4) \sin(\phi_0 + \theta_{61})}{d + e \cos\theta_{21} - (r_3+r_4) \cos(\phi_0 + \theta_{61})} \dots\dots(18)$$

これらの各式より被動歯車4の角変位，角速度，角加速度は前報より次式によって求められる。

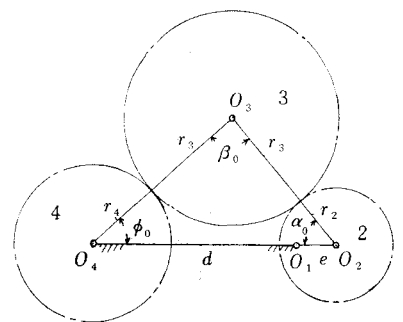


図5 駆動歯車の回転角 $\theta_{21}=0$ の場合

角変位

$$\theta_{41} = \frac{r_2}{r_4} \theta_{21} + \frac{r_3+r_4}{r_4} \theta_{61} - \frac{r_2+r_3}{r_4} \theta_{51} \dots\dots\dots(19)$$

角速度

$$\frac{\dot{\theta}_{41}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{r_2}{r_4} + \frac{e}{r_4} \times \frac{d \sin \theta_{21} + (r_2 - r_4) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})}{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})} \dots\dots\dots(20)$$

角加速度

$$\begin{aligned} & d \{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})\} \cos \theta_{21} + \\ & \{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})\} (r_2 - r_4) \times \cos(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61}) \\ & \left(1 - \frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}}\right) - \left\{d \cos(\phi_0 + \theta_{61}) \frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} - e \cos(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61}) \times \right. \\ & \left. \left(1 - \frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}}\right)\right\} \{d \sin \theta_{21} + (r_2 - r_4) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})\} \\ \frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} = & \frac{e}{r_4} \times \frac{\dots\dots\dots}{\{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})\}^2} \dots\dots\dots(21) \end{aligned}$$

ただし $\frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{e}{r_3+r_4} \times \frac{d \sin \theta_{21} - (r_3+r_4) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})}{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})} \dots\dots\dots(22)$

例えば $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm, r_2=13.5mm, r_3=40.5mm, r_4=27mm, d=104.16mm, e=7mm$ を指定して式(13)~(15)より $\alpha_0=26^\circ 48', \beta_0=132^\circ 4', \phi_0=21^\circ 6'$ となるので $\theta_{21}=0\sim 360^\circ$ の場合について $\theta_{41}, \dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}, \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2$ を求めたものを表2と図6に示す。

表2 $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm, e=7mm, d=104.16mm$ の場合の $\theta_{41}, \dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}, \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2$

θ_{21}	θ_{41}	$\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}$	$\ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2$	θ_{21}	θ_{41}	$\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}$	$\ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2$
0°	0°	0.53149	0.59733	190°	152°46'	0.38497	-0.44508
10°	5°50'	0.63444	0.57725	200°	156°08'	0.30924	-0.42101
20°	12°40'	0.72673	0.54514	210°	158°52'	0.23858	-0.38710
30°	20°25'	0.81747	0.45608	220°	160°56'	0.17463	-0.34436
40°	28°58'	0.88978	0.36653	230°	162°23'	0.11883	-0.29384
50°	38°10'	0.94563	0.27285	240°	163°20'	0.07246	-0.23644
60°	47°50'	0.98490	0.16294	250°	163°52'	0.03666	-0.17282
70°	57°48'	1.00694	0.07992	260°	164°06'	0.01247	-0.10342
80°	67°55'	1.01291	-0.01058	270°	164°10'	0.00088	-0.02849
90°	78°	1.00361	-0.09478	280°	164°10'	0.00284	0.05178
100°	86°3'	0.98830	-0.17701	290°	164°16'	0.01924	0.13689
110°	97°34'	0.94407	-0.24124	300°	164°36'	0.05084	0.22571
120°	106°47'	0.89651	-0.30238	310°	165°20'	0.09811	0.31592
130°	115°28'	0.83904	-0.35464	320°	166°37'	0.16098	0.40353
140°	123°32'	0.77328	-0.39727	330°	168°36'	0.23849	0.48271
150°	130°55'	0.70097	-0.42951	340°	171°26'	0.32855	0.54610
160°	137°32'	0.62399	-0.45068	350°	175°12'	0.42775	0.58623
170°	143°23'	0.54432	-0.46036	360°	180°	0.53149	0.59733
180°	148°25'	0.46398	-0.45840				

表1から $\theta_{21}=273^\circ 37'$ の所で一時停止をし、そのときの θ_{41} は表2から約 $164^\circ 10'$ であることがわかる。図6から角速度、角加速度曲線は単弦曲線に似た曲線をもち、 $\theta_{21}=273^\circ 37'$ の所で角速度は零となり、また角加速度も零となることがわかるので、この点を基準にすれば出発と停止時の角加速度は零となるので、これを応用すれば衝撃の少い機構を得ることができる。

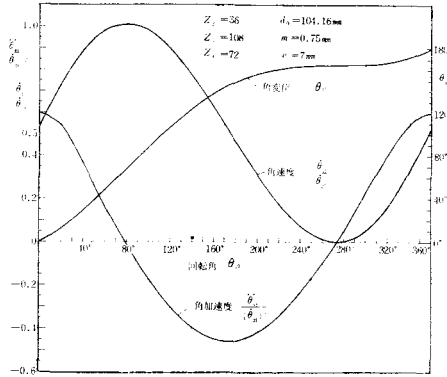


図6 3 歯車リンク機構の運動

§ 5 被動歯車の近似最大角加速度 ($Z_2 \neq Z_4$)

図6から被動歯車の角加速度は前報と同様に $\theta_{21}=0$ で近似的に正の最大値, $\theta_{21}=180^\circ$ で負の最大値をとることがわかる。ゆえに $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の場合の被動歯車の角加速度を求める。

(1) $\theta_{21}=0$ の場合

式(16)より $\lambda=90^\circ$ となるので, 式(17), (22)に $\theta_{21}=0$ を代入すれば

$$\sin(\phi_0 + \theta_{61} + 90^\circ) = \cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{(d+e)^2 + (r_3+r_4)^2 - (r_2+r_3)^2}{2(r_3+r_4)(d+e)} \dots\dots(23)$$

$$\frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{e}{d+e}, \quad 1 - \frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{d}{d+e} \dots\dots(24), (25)$$

が得られ, 式(21)より角加速度は次式のようになる。

$$\frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} = \frac{de}{r_4} \times \frac{d+e + (r_2-r_4)\cos(\phi_0 + \theta_{61})}{(d+e)^2 \sin(\phi_0 + \theta_{61})} \dots\dots(26)$$

(2) $\theta_{21}=180^\circ$ の場合

式(16)より $\lambda=90^\circ$ となるので, 式(17), (22)に $\theta_{21}=180^\circ$ を代入すれば

$$\sin(\phi_0 + \theta_{61} + 90^\circ) = \cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{(d-e)^2 + (r_3+r_4)^2 - (r_2+r_3)^2}{2(r_3+r_4)(d-e)} \dots\dots(27)$$

$$\frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{-e}{d-e}, \quad 1 - \frac{\dot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{d}{d-e} \dots\dots(28), (29)$$

が得られ式(21)より角加速度は次式のようになる。

$$\frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} = -\frac{de}{r_4} \times \frac{d-e + (r_2-r_4)\cos(\phi_0 + \theta_{61})}{(d-e)^2 \sin(\phi_0 + \theta_{61})} \dots\dots(30)$$

近似最大角加速度の絶対値の大小を比較するために式(30)の絶対値から式(26)の絶対値を減ずれば,

$$\frac{2d^2e^2}{r_4(d+e)^2(d-e)^2 \sin(\phi_0 + \theta_{61})} \left\{ \frac{d^2 - e^2}{d} - 2(r_4 - r_2)\cos(\phi_0 + \theta_{61}) \right\}$$

となるので

$$\left. \begin{aligned} &\frac{d^2 - e^2}{2d} \geq (r_4 - r_2)\cos(\phi_0 + \theta_{61}) \\ \text{から} &\left| \frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} \right|_{\theta_{21}=180^\circ} \geq \left| \frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} \right|_{\theta_{21}=0} \end{aligned} \right\} \dots\dots(31)$$

となる。

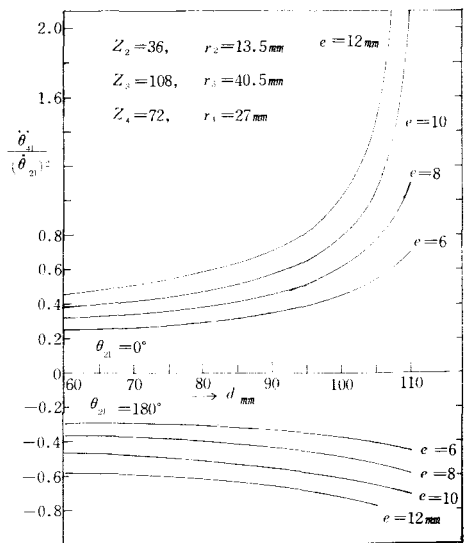


図7 d と e の変化による近似最大角加速度

表3 $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm$ の場合の近似最大角加速度

e mm	d mm	$\ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 \theta_{21}=0$	$\ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 \theta_{21}=180^\circ$
6	60	0.23553	-0.26688
	80	0.28901	-0.29782
	100	0.42545	-0.36925
	110	0.70340	-0.45076
8	60	0.30819	-0.36531
	80	0.38603	-0.40146
	100	0.59416	-0.48773
	110	1.15150	-0.58291
10	60	0.38104	-0.46954
	80	0.48445	-0.50817
	100	0.78712	-0.60556
	110	2.15434	-0.71068
12	60	0.45165	-0.58034
	80	0.58527	-0.61839
	100	1.01623	-0.72381
	105	1.46939	-0.77151

前例の歯数を式(23), (26)と式(27), (30)に代入して $e=6\sim 12mm, d=60\sim 110mm$ について計算したものを表3と図7に示す。

図7から d が小さいときは $\theta_{21}=180^\circ$ の負の近似最大角加速度が $\theta_{21}=0$ の正のそれより大であるが $d>90mm$ から $\theta_{21}=0$ の近似最大角加速度の方が急増する。一般には e の値が大なる方が最大角加速度も大である。

図8は $Z_2=36, Z_4=72, m=0.75mm, e=10mm$ と指定し, 中間歯車の歯数 $Z_3=80\sim 160$ と変化させた場合の近似最大角加速度を示す。図から中間歯車の歯数が小なる程近似最大角加速度は大となり特に+側の影響が著るしい。

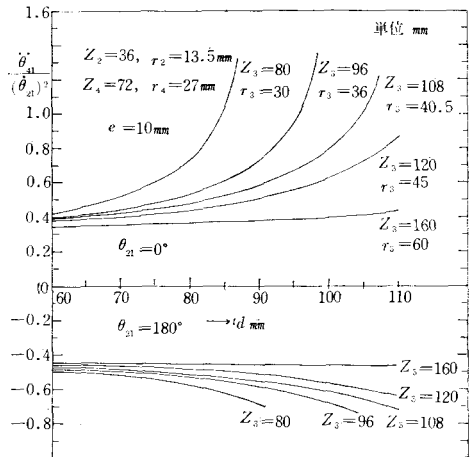


図8 中間歯車の近似最大角加速度に及ぼす影響

§ 6 偏心量と軸間距離の角変位, 角速度, 角加速度に及ぼす影響

(1) e が変化する場合

前例により $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm$ の場合, 図9は $d=80mm$ と指定し, $e=10\sim 30mm$ と変化させ, 各 θ_{21} に対する θ_{41} の角変位曲線を求めたもので e の増加に伴って θ_{41} は図のように変化する。

図10は角速度に及ぼす影響を調べたもので e が大きい程最大角速度が大となり, 逆転する。図11は角加速度に及ぼす影響を調べたもので, e の増加につれて最大角加速度が増加することがわかり, また最大角加速度は $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の位置より少し θ_{21} の小さい位置であることがわかる。

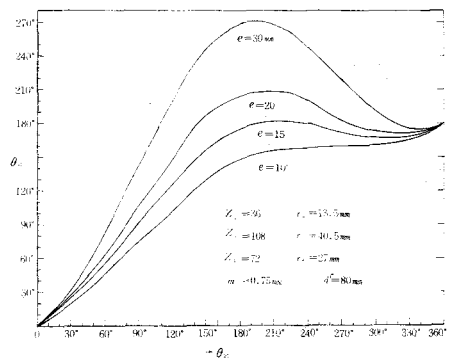


図9 e の角変位に及ぼす影響

(2) d が変化する場合

前と同じ歯数で $e=10\text{mm}$ を指定し、 $d=60\sim 110\text{mm}$ 変化させ $\theta_{21}=0\sim 360^\circ$ の場合の被動歯車4の角変位を図12に示す。 d の増加に伴って歯車4は $\theta_{21}=210^\circ$ 付近で逆転する。

図13は d の変化による角速度の変化を示したもので $d=85\text{mm}$ で一時停止を行うことを示し、 d がそれ以下の場合には停止を行わず、それ以上の場合には逆転を行うことを示す。 d の増加に伴って最大角速度の位置は+側では θ_{21} の小さい方、-側では大きい方に寄る。

図14は d の変化による角加速度の変化を示したもので、 d の増加に伴って最大角加速度は増加し、特に、正の最大角加速度が増大する。

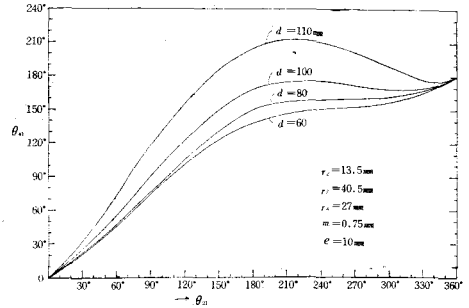


図12 d の角変位に及ぼす影響

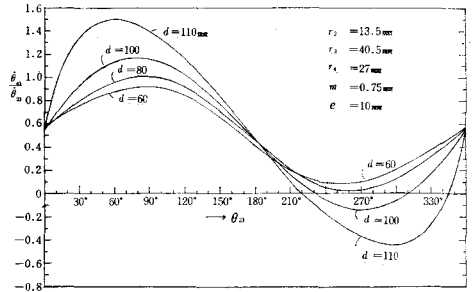


図13 d の角速度に及ぼす影響

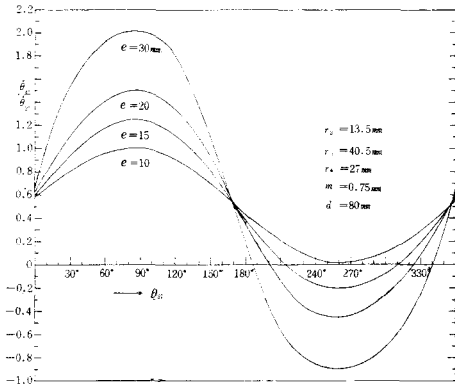


図10 e の角速度に及ぼす影響

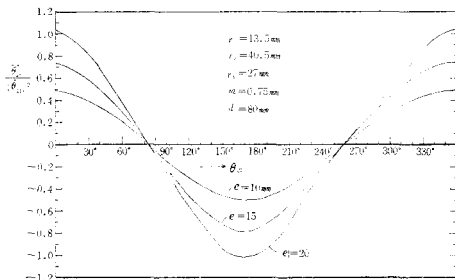


図11 e の角加速度に及ぼす影響

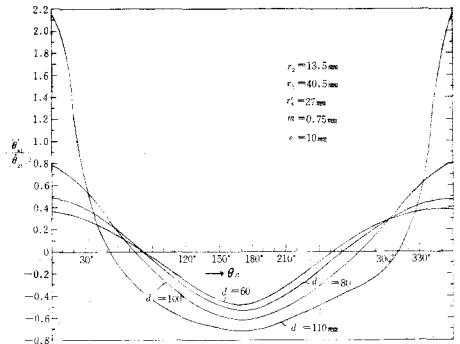


図14 d の角加速度に及ぼす影響

§ 7 中間歯車 Z_3 と偏心量 e の変化による一時停止の d_0 の変化と

そのときの近似最大角加速度

Z_2, Z_3, Z_4, m, e が指定されれば式(1)~(9), 式(26), (30)より一時停止する場合の軸間距離 d_0 と近似最大角加速度が得られる。表4と図15はその一例を示す。

表4 $Z_2=36, Z_4=72, Z_3=60\sim108, m=0.75mm, e=6\sim10mm, 25.5+2r_3 > d_0 > 54mm$

e mm	Z_3	r_3 mm	d_0 mm	停止位置 θ_{21}	近似最大角加速度 $\theta_{21}=0$	近似最大角加速度 $\theta_{21}=180^\circ$
6	60	22.5	76.46754	282°42'	0.77009	-0.41792
	72	27	84.56168	280°49'	0.71822	-0.42399
	84	31.5	92.64506	279°27'	0.68304	-0.42911
	96	36	100.72196	278°24'	0.65762	-0.43351
	108	40.5	108.79475	277°35'	0.63840	-0.43735
8	60	22.5	69.76656	271°12'	0.62989	-0.47231
	72	27	76.94951	270°40'	0.60487	-0.47419
	84	31.5	84.13926	270°20'	0.58759	-0.47573
	96	36	91.33569	270°08'	0.57500	-0.47703
	108	40.5	98.53818	269°59'	0.56545	-0.47816
10	60	22.5	60.06237	260°09'	0.54358	-0.52783
	72	27	65.88254	260°45'	0.53093	-0.52543
	84	31.5	71.73630	261°19'	0.52260	-0.52322
	96	36	77.61731	261°52'	0.51683	-0.52124
	108	40.5	83.52047	262°21'	0.51270	-0.51950

図15から中間歯車の歯数の増加に伴って d_0 の値が大となり、同じ e に対し近似最大角加速度が微減する。近似最大角加速度はむしろ e の影響を受ける。 e の小さい場合は正の近似最大角加速度は大となるが負のそれは小となる。この図では $e=10mm$ の場合に正負の近似最大角加速度が等しくなり、 $\dot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 \doteq 0.52$ となる。

$Z_2=30, Z_4=60$ について調べると $e \doteq 8mm$ となり、 $\dot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 \doteq 0.52$ となる。

§ 8 $Z_2 \doteq Z_4$ の場合の一時停止の θ_{21} の値

一時停止における θ_{21} の値は Hirschhorn から導くことができ、それを表4に示しているが、角速度曲線が $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=0$ の線に交わるすなわち、角速度が零になる θ_{21} の値を求める必要がある。それには一時停止でなく d の値によっては逆転の場合があり、歯車のバックラッシュや機構の誤差からある期間被動歯車が停止し、理論的には逆転するはずであるが実際には停止する。すなわち角速度が零になる2点を生じ、その間で被動歯車が停止する。 θ_{21} の2つの値が一致すれば一瞬停止となる。

そこで式(20)の $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=0$ とおけば次式を得る。

$$\frac{\dot{\theta}_{41}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{r_2}{r_4} + \frac{e}{r_4} \times \frac{d \sin \theta_{21} + (r_2 - r_4) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})}{d \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})} = 0 \dots\dots\dots(32)$$

これから $\phi_0 + \theta_{61}$ について整理すれば

$$(r_2 d + r_4 e \cos \theta_{21}) \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - r_4 e \sin \theta_{21} \cos(\phi_0 + \theta_{61}) = -ed \sin \theta_{21} \dots\dots\dots(33)$$

となる。しかるに前報¹⁾の式(12)を $\phi_0 + \theta_{61}$ について整理すれば次式が得られる。

$$e \sin \theta_{21} \sin(\phi_0 + \theta_{61}) + (d + e \cos \theta_{21}) \cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \{d^2 + e^2 + (r_3 + r_4)^2 - (r_2 + r_3)^2 + 2de \cos \theta_{21}\} / 2(r_3 + r_4) = L + N \cos \theta_{21} \dots\dots\dots(34)$$

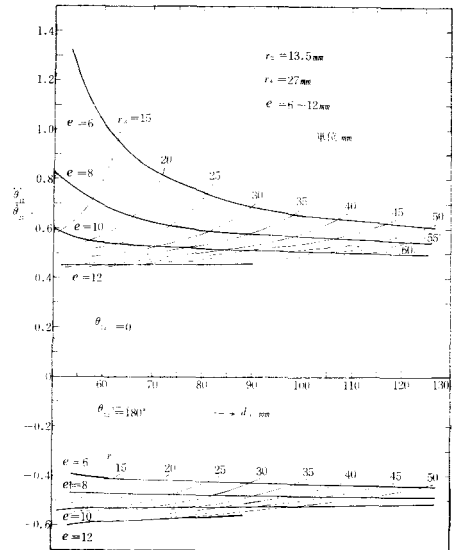


図15 e に対する d_0 の値と近似最大角加速度

ただし

$$L = \frac{d^2 + e^2 + (r_3 + r_4)^2 - (r_2 + r_3)^2}{2(r_3 + r_4)}, \quad N = \frac{de}{r_3 + r_4} \dots\dots\dots(35), (36)$$

式(33), (34)より $\sin(\phi_0 + \theta_{61}), \cos(\phi_0 + \theta_{61})$ は求められる。

$$A = \begin{vmatrix} r_2d + r_4e \cos\theta_{21} & -r_4e \sin\theta_{21} \\ e \sin\theta_{21} & d + e \cos\theta_{21} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(37)$$

とおけば

$$\sin(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{1}{A} \begin{vmatrix} -ed \sin\theta_{21} & -r_4e \sin\theta_{21} \\ L + N \cos\theta_{21} & d + e \sin\theta_{21} \end{vmatrix} = \frac{A_1}{A} \dots\dots\dots(38)$$

$$\cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{1}{A} \begin{vmatrix} r_2d + r_4e \cos\theta_{21} & -ed \sin\theta_{21} \\ e \sin\theta_{21} & L + N \cos\theta_{21} \end{vmatrix} = \frac{A_2}{A} \dots\dots\dots(39)$$

となる。しかるに

$$\begin{aligned} A &= r_2d^2 + r_4e^2 + de(r_2 + r_4)\cos\theta_{21} \\ A_1 &= e(Lr_4 - d^2)\sin\theta_{21} + e(Nr_4 - de)\sin\theta_{21} \cos\theta_{21} \\ A_2 &= Lr_2d + de^2 + (Lr_4e + Nr_2d)\cos\theta_{21} + e(Nr_4 - de)\cos^2\theta_{21} \dots\dots\dots(40) \end{aligned}$$

となる。式(38), (39)より

$$(A_1)^2 + (A_2)^2 = A^2 \dots\dots\dots(41)$$

となるのでこれに式(40)を代入して整理すれば $\cos\theta_{21}$ の4次式となるはずであるが $\cos^4\theta_{21}$ の係数は計算の結果零となるので $\cos\theta_{21}$ の3次式となる。

$$A \cos^3\theta_{21} + B \cos^2\theta_{21} + C \cos\theta_{21} + D = 0 \dots\dots\dots(42)$$

ただし

$$A = N^2r_2r_4 + Nde(r_4 - r_2) - d^2e^2 \dots\dots\dots(43)$$

$$B = 2LNr_2r_4 - \frac{de}{2} \{d^2 + e^2 + (r_2 + r_4)^2\} + \frac{N^2}{2de} (d^2r_2^2 + e^2r_4^2) + Lde(r_4 - r_2) \dots\dots\dots(44)$$

$$C = L^2r_2r_4 + \frac{N^2}{de} (d^2r_2^2 + e^2r_4^2) - Nde(r_4 - r_2) + d^2e^2 - (r_2 + r_4)(d^2r_2 + e^2r_4) \dots\dots\dots(45)$$

$$D = \frac{L^2}{2de} (d^2r_2^2 + e^2r_4^2) + Lde(r_2 - r_4) + \frac{de}{2} (d^2 + e^2) - \frac{1}{2de} (d^2r_2 + e^2r_4)^2 \dots\dots\dots(46)$$

となる。式(35), (36)と式(43)~(46)から A, B, C, D を求め、式(42)の3次式を解き、 $\cos\theta_{21}$ の2つの実根が得られるなら、その点の θ_{21} を計算すればそれが角速度が零になる θ_{21} である。

例えば $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75\text{mm}, e=0.7\text{cm}, d=10.416\text{cm}$ において計算すれば

$$A = -38.276350175, \quad B = -276.440866752, \quad C = 35.400453803, \quad D = -1.096185245$$

となり $\cos\theta_{21}$ の根として次の3つの実根 $-7.348622720, 0.053384929, 0.073000941$ が得られるが第

1根は絶対値が1より大なので不採用、第2根から $\theta_{21}=273^\circ 4'$ 、第3根から $\theta_{21}=274^\circ 11'$ が得られ、その中央は $273^\circ 37'$ となる。表1から $d_0=104.15845\text{mm}$ のときは一時停止の $\theta_{21}=273^\circ 37'$ となるので上式の正確なことがわかる。

§ 9 最大角加速度とその位置

$Z_2 \neq Z_4$ すなわち $r_2 \neq r_4$ の場合の被動歯車の最大角加速度を求めるためには式(21)を θ_{21} で微分し、零と置いて求めねばならぬが計算が複雑なので困難である。§5において $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の場合の角加速度を近似最大角加速度として計算した

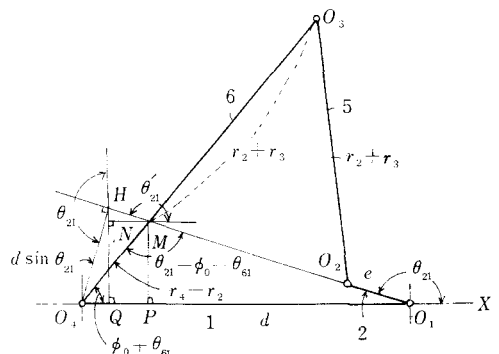


図16 被動歯車の最大角加速度の位置 ($\theta_{21} < 180^\circ$)

が一時停止できない場合は図から最大角加速度の θ_{21} の位置はかなりくるってくる。

そこで近似的に前報の $r_2/r_4=1$ の場合において最大角加速度の位置は $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=1$ の位置であったので、 $Z_2 \approx Z_4$ の場合においても $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=r_2/r_4$ としたときの角加速度 $\ddot{\theta}_{41}/(\ddot{\theta}_{21})^2$ が最大になるように思われる。実際にはこうして得られた角加速度は $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の角加速度よりも大きな値が得られ、正確なのでこれを最大角加速度とした。

式(20)から $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=r_2/r_4$ とすれば

$$\frac{\dot{\theta}_{41}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{r_2}{r_4} + \frac{e}{r_4} \times \frac{d \sin \theta_{21} + (r_2 - r_4) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})}{d \sin(\phi_0 + \theta_{21}) - e \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})} = \frac{r_2}{r_4}$$

となる。これから次式が得られる。

$$d \sin \theta_{21} = (r_4 - r_2) \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61}) \dots \dots \dots (47)$$

これから $\phi_0 + \theta_{61}$ を求めれば

$$\cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{d \sin^2 \theta_{21} \pm \cos \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{r_4 - r_2} \dots \dots \dots (48)$$

となる。この式の土が問題となるので式(48)を図で吟味する。

図16において $\angle O_2 O_1 X = \theta_{21}$ であるので $\theta_{21} < 180^\circ$ の場合、 $O_1 O_2$ と $O_3 O_4$ の交点を M とすれば $\angle O_3 O_4 O_1 = \phi_0 + \theta_{61}$ であるので、 $\angle O_1 M O_4 = \theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61}$ となる。そこで O_4 より $O_1 O_2$ に垂線 $O_4 H$ を下せば式(47)から $O_4 H = d \sin \theta_{21} = O_4 M \sin(\theta_{21} - \phi_0 - \theta_{61})$ から $O_4 M = r_4 - r_2$ となる。しかるに $O_3 O_4 = r_3 + r_4$ だから $O_3 M = r_3 + r_4 - (r_4 - r_2) = r_3 + r_2 = O_2 O_3$ 、ゆえに $O_3 M = O_3 O_2$ 、 $MH = \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}$ となる。また図から M, H より $O_1 O_4$ に垂線 MP, HQ を下し、 M より HQ に垂線 MN を

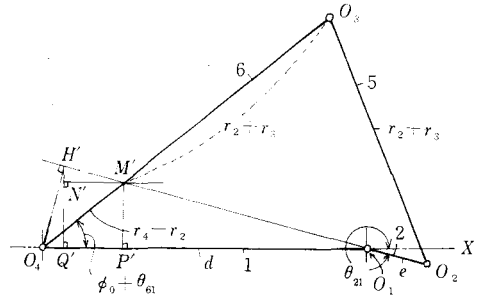


図17 被動歯車の最大角加速度の位置 ($\theta_{21} > 180^\circ$)

下せば $PQ = MN = \cos \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}$ 、 $O_4 Q = d \sin^2 \theta_{21}$ から

$\theta_{21} < 180^\circ$ の場合

$$\cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{d \sin^2 \theta_{21} - \cos \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{r_4 - r_2} \dots \dots \dots (49)$$

となる。

$\theta_{21} > 180^\circ$ の場合を図17に示し、これから

$$\cos(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{d \sin^2 \theta_{21} + \cos \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{r_4 - r_2} \dots \dots \dots (50)$$

が得られる。

(1) $\theta_{21} < 180^\circ$ の場合

$\sin(\phi_0 + \theta_{61})$ を求めるため、図16より

$$(r_4 - r_2) \sin(\phi_0 + \theta_{61}) = MP = HQ - HN$$

$$HN = \sin \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}, \quad HQ = -d \sin \theta_{21} \cos \theta_{21}$$

だから

$$\sin(\phi_0 + \theta_{61}) = \frac{-d \sin \theta_{21} \cos \theta_{21} - \sin \theta_{21} \sqrt{(r_4 - r_2)^2 - d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{r_4 - r_2} \dots \dots \dots (51)$$

が得られる。式(49)、(51)をよく知られた4節リンク機構の次式

$$\{e \cos \theta_{21} + d - (r_3 + r_4) \cos(\phi_0 + \theta_{61})\}^2 + \{(r_2 + r_4) \sin(\phi_0 + \theta_{61}) - e \sin \theta_{21}\}^2 = (r_2 + r_3)^2 \dots \dots \dots (52)$$

に代入すれば次式が得られる。

$$4(r_3+r_4)^2(R+d^2 \cos^2 \theta_{21}) (e^2+2de \cos \theta_{21})+4(r_3+r_4)^2 R d^2 \cos^2 \theta_{21} \\ = \{(Q-2de(r_4-r_2) \cos \theta_{21})^2-4d^2(r_3+r_4)\{Q-2de(r_4-r_2) \cos \theta_{21}\} \cos^2 \theta_{21} \dots\dots\dots (53)$$

ただし

$$Q=(r_4-r_2)\{(r_2+r_3)^2-(r_3+r_4)^2-(d^2+e^2)\}+2d^2(r_3+r_4) \dots\dots\dots (54)$$

$$R=(r_4-r_2)^2-d^2 \dots\dots\dots (55)$$

これは $\cos \theta_{21}$ の 3 次式であるので次の形にする。

$$A \cos^3 \theta_{21}+B \cos^2 \theta_{21}+C \cos \theta_{21}+D=0 \dots\dots\dots (56)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし } A &= 8d^3 e(r_3+r_4)(r_2+r_3) \\ B &= 4d^2[(r_3+r_4)^2\{e^2-d^2+(r_4-r_2)^2\}-e^2(r_4-r_2)^2+(r_3+r_4)Q] \\ C &= 4de\{2R(r_3+r_4)^2+Q(r_4-r_2)\} \\ D &= 4(r_3+r_4)^2 e^2 R-Q^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (57)$$

式(56)を解くことにより $\theta_{21} < 180^\circ$ の場合の θ_{21} を求めることができる。

(2) $\theta_{21} > 180^\circ$ の場合

図17より同様に

$$\sin(\phi_0+\theta_{61}) = \frac{-d \sin \theta_{21} \cos \theta_{21} + \sin \theta_{21} \sqrt{(r_4-r_2)^2-d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{r_4-r_2} \dots\dots\dots (58)$$

となる。これを式(52)に代入すると、その過程において $\theta_{21} < 180^\circ$ の計算と同様になるので式(53)、(56)を解くことによって求められる。

次にこの位置における最大角加速度を求める。式(47)を式(22)に代入し更に式(44)、(51)あるいは式(50)、(58)を代入すれば

$$\frac{\ddot{\theta}_{61}}{\dot{\theta}_{21}} = \frac{e(r_2+r_3)}{(r_3+r_4)\{e+d \cos \theta_{21} + \sqrt{(r_4-r_2)^2-d^2 \sin^2 \theta_{21}}\}} \dots\dots\dots (59)$$

となる。ただし \ominus は $\theta_{21} > 180^\circ$ の場合を示す。

これらの式を式(21)に代入して角加速度 $\ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2$ を求めれば複雑な計算の後に次式のようになる。

$$\frac{\ddot{\theta}_{41}}{(\dot{\theta}_{21})^2} = \frac{2d^2 \cos^2 \theta_{21} - d^2 + (r_4-r_2)^2 + de \cos \theta_{21}}{dr_4 \sqrt{1-\cos^2 \theta_{21}}} \times \frac{-\left[\frac{e(r_2+r_3)}{r_3+r_4} - (2d \cos \theta_{21} + e)\right] \sqrt{(r_4-r_2)^2-d^2 \sin^2 \theta_{21}}}{(e+d \cos \theta_{21} + \sqrt{(r_4-r_2)^2-d^2 \sin^2 \theta_{21}})^2} \dots\dots\dots (60)$$

ただし、 \ominus は $\theta_{21} > 180^\circ$ の場合を示す。

例えば $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm, e=0.7cm, d=10.416cm$ の場合において角加速度は $\theta_{21}=0, \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2=0.597288, \theta_{21}=180^\circ, \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2=-0.458389$ である。

式(56)、(57)を用いて、 A, B, C, D を計算すれば

$$A=230668.596584881, B=1694708.942366504$$

$$C=-232489.642710404, D=-1687550.202620420$$

これから $\cos \theta_{21}$ を求めれば

$$\cos \theta_{21} = -7.348622722, -0.996931902, +0.998612008$$

このうち第2、第3根を採用し、式(60)を用いて最大角加速度を求める。

$$\theta_{21} < 180^\circ \text{ の場合 } \cos \theta_{21} = -0.996931902, \theta_{21} = 175^\circ 31', \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 = -0.460708682$$

$$\theta_{21} > 180^\circ \text{ の場合 } \cos \theta_{21} = 0.998612008, \theta_{21} = 356^\circ 59', \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2 = 0.597252869$$

図6の線図を見ればほぼこのような値をとることがわかる。 θ_{21} の位置はかなりずれるが、角加速度の値は変わらない。

§ 10 その他の例

その他の例として $Z_2=36, Z_3=108, Z_4=72, m=0.75mm, e=9.5mm, d_0=87.8416mm$ の場合を考えると, $d_{max}=125.5mm, d_{min}=65.0mm, \alpha_0=41.81607^\circ, \beta_0=105.94892^\circ, \phi_0=32.23501^\circ$

図18はこの場合の被動歯車の角変位, 角速度, 角加速度線図を示す。

中間歯車3の歯数 Z_3 が大きいと被動歯車の最大角加速度が小さくなるが, 構造上場所をとるので, $Z_3=72$ の場合を取扱う。

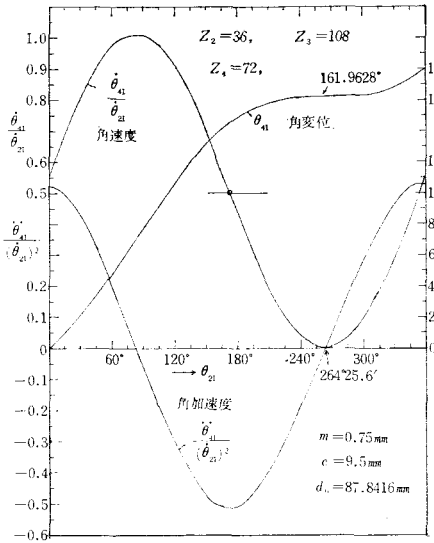


図18 3歯車リンク機構の運動

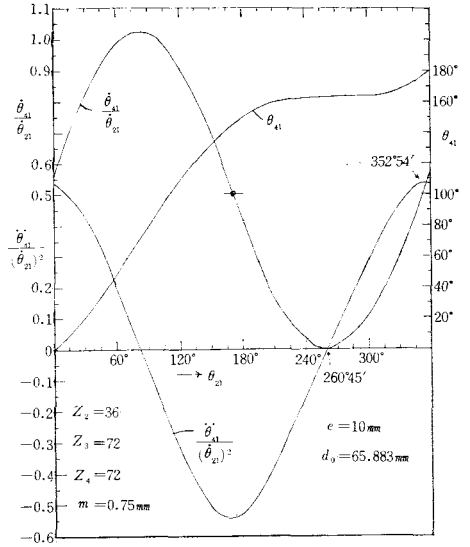


図19 3歯車リンク機構の運動

$Z_2=36, Z_3=72, Z_4=72, m=0.75mm$ の場合 $e=10mm$ とすれば $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の角加速度の絶対値がほぼ等しくなる。式(1)~(9)より $d_0=65.883mm, \mu=81.77206^\circ, \delta=17.48437^\circ$

一時停止の位置 $\theta_{21}=260.74359^\circ=260^\circ 45'$, 角速度 $\dot{\theta}_{41}/\dot{\theta}_{21}=0$ になる位置は式(42)より $\theta_{21}=260^\circ 31', 260^\circ 59'$ で最大角加速度の位置とその値は 式(56)より, $\theta_{21}=170^\circ 24' \quad \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2=-0.53986, \theta_{21}=352^\circ 54' \quad \ddot{\theta}_{41}/(\dot{\theta}_{21})^2=0.53095$ となる。

図19は以上の場合の運動線図であるが, 図18と比較すると極く僅かだが最大角加速度が大きいだけで他は余り変わらない。軸間距離も短かくできるのでこの方が好都合である。

§ 11 正負の最大角加速度が等しい場合の d, e の関係

前述のことから最大角加速度は $\theta_{21}=0, 180^\circ$ の近似最大角加速度との差は非常に少ないので $\theta_{21}=0$ の場合の式(23), (26)と $\theta_{21}=180^\circ$ の式(27), (30)を用いて $Z_2=36, Z_4=72$ で $Z_3=108\sim 72$ の場合の正負の近似最大角加速度を e の変化によって求めたものを図20に示す。 $\theta_{21}=0$ の角加速度は e の増加に伴って減少し, $\theta_{21}=180^\circ$ のそれは e の増加に伴って増加するので正負の最大角加速度の等しい場合が存在し, 中間歯車の歯数の減少に伴ってその角加速度は僅かに増加するが, e の値はほぼ一定でこの場合約 $10mm$ である。図3にもこれを示す。

図21は $Z_2:Z_4=1:2$ の場合, $Z_2=24, 30, 36$ における中間歯車の歯数 Z_3 と e が近似最大角加速度に及ぼす影響を求めたもので Z_3 の増加に伴って角加速度は減少することがわかる。この図から Z_3 を与えて e を選定することができる。

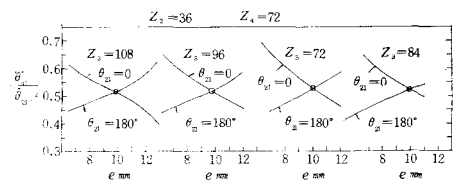


図20 正負の最大角加速度が等しい e の値

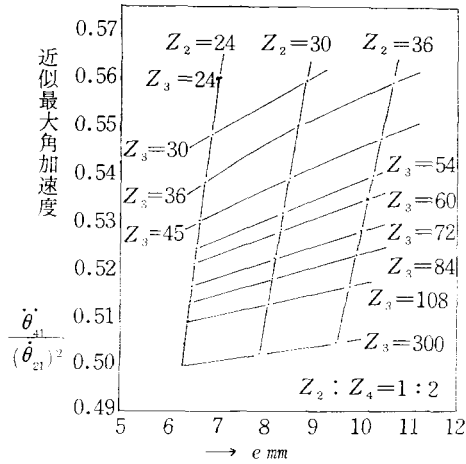


図21 $Z_2/Z_4=1/2$ の場合の Z_3 による e の値と近似最大角加速度

§12 結 論

以上により駆動歯車と被動歯車の歯数が異なる場合特に歯数比 1:2 となる場合の 3 歯車リンク機構の運動解析を行い、(1)被動歯車が最大角加速度を生ずる駆動歯車の回転位置と最大角加速度の値と、(2)被動歯車の角速度が零になる駆動歯車の回転位置と、(3)正負の最大角加速度が等しくなる e の値とを求めることができた。

歯数比 1:2 の場合のみの計算を行ったのは被動歯車に更にスライダクランク機構のクランクを取りつけることにより、出発と停止時にスライダクランク機構で生ずる高いスライダの加速度を減少させるためである。

次報においてはスライダクランク機構を作動させた場合のスライダの運動について調べる。本研究については学生国広義高、香田博明両君の協力に感謝する。

文 献

- 1) 糸島寛典：3 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6巻，第1号，25～36頁，1971.
- 2) N.P. Chironis : Mechanisms, Linkages and Mechanical Controls, 246p. McG. HILL, 1965.
(J. Hirschhorn : 3 Gear Drives)

（昭和46年7月31日受付）

揺動等角加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 Angular Acceleration Cam with the Oscillating Follower (Report 1)

Hironori ITOSHIMA

If the profile of the constant angular acceleration cam with the oscillating follower is expressed with the xy coordinates, the cam is manufactured by the NC machine tool and then the radius of curvature on this cam profile is obtained easily

The specific sliding of the cam with the oscillating circular arc follower is examined, and the cam and follower with the minimum specific sliding is designed.

§ 1 緒 言

前報^{1) 2)}において往復円弧従動節をもつかたより等加速度カムにおける滑り率を論じ、滑り率を考慮したカムの設計を示した。

本報告においては等角加速度運動する揺動円弧従動節の場合のカムの輪郭と接触点軌跡を直角座標で求め^{3) 4)}、これからカム面の曲率半径を求め、それによりカムと従動節の両面の滑り率を計算し、滑り率に関係するカムの基礎円の大きさ、従動節の長さ、円弧半径と更に最大押進め角も考慮して最大滑り率の値の小さい揺動等角加速度カムの設計を行ない、従動節にローラを用いない場合の摩擦の少ないカムの設計を示す。

§ 2 記 号

θ : カムの回転角	d : カムと従動節の中心距離
θ_0 : 往き行程のカムの回転角	R_0 : カムの基礎円半径
θ_r : 戻り行程のカムの回転角	r : 従動節の円弧半径
Ψ : 従動節の最大揺動角	l : 従動節の長さ
ϕ : 従動節の揺動角	ϕ : カムの押進め角
ϕ_1 : 従動節と固定リンクのなす角	$\lambda = l/d, \mu = R_0/d$
ϕ_0 : 従動節が基礎円に接するとき固定リンクとなす角	
ω_1 : カムの角速度	ω_2 : 従動節の角速度
σ_1 : カムの滑り率	σ_2 : 従動節の滑り率
ρ_M : ナイフエッジ従動節の場合のカムの曲率半径	
ρ_T : 円弧従動節の場合のカムの曲率半径	
$d\phi_1/d\theta$: カムの角速度に対する従動節の角速度	
$d^2\phi_1/d\theta^2$: カムの角速度の2乗に対する従動節の角加速度	
x_T, y_T : 円弧従動節の場合のカムの輪郭の直角座標	
x, y : ナイフエッジ従動節の場合のカムの輪郭の直角座標	

§ 3 揺動従動節の板カムの輪郭の理論的表示

図1に揺動従動節をもつ板カムを示し、本研究においてカム1はA点を中心に反時計回りに回転し、従動節2はB点を中心に揺動運動をしているものとする。

基礎円半径を R_0 、従動節の長さ BM を l 、中心距離 AB を d とし、カムの中心A点の回りに回転するカムに固定された xy 座標と従動節の中心B点の回りに回転する従動節に固定された XY 座標を考え、 Y 軸は円弧従動節のときは円弧の中心 M を通る。 x 軸と AB のなす角を θ 、 Y 軸と AB のなす角を φ_1 とし、従動節の曲線の方程式を $Y = F(X)$ とする。

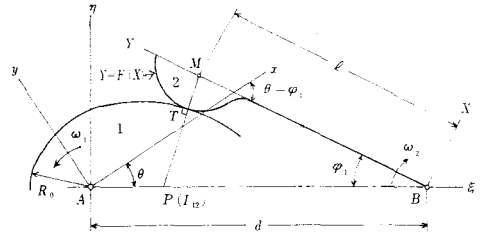


図1 揺動従動節の板カムの輪郭の解析

カムと従動節の両曲線の接触点 T における法線が中心線 AB と交わる点を P とすれば、 P 点は瞬間中心 I_{12} となるので、カムと従動節の角速度をそれぞれ ω_1 、 ω_2 とすれば次の関係が成立する。

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{AP}{BP} = \frac{\dot{\varphi}_1}{\dot{\theta}} = \frac{d\varphi_1}{d\theta} \dots\dots\dots(1)$$

これから $AP+BP=d$ だから AP 、 BP の長さは次のようになる。

$$AP = \frac{d \times \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}}, \quad BP = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots(2)$$

P 点の XY 座標を X_P 、 Y_P とすれば X_P 、 Y_P は次のようになる。

$$X_P = -BP \sin\varphi_1 = \frac{-d \sin\varphi_1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}}, \quad Y_P = BP \cos\varphi_1 = \frac{d \cos\varphi_1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots(3)$$

直線 PT は従動節の曲線 $Y = F(X)$ に垂直なので、直線 PT の方程式は次のようになる。

$$Y = Y_P - \frac{X - X_P}{dY/dX}, \quad Y = F(X) \dots\dots\dots(4), (5)$$

この直線と $Y = F(X)$ の交点が T であるので、両式を解けば T 点の座標 X_T 、 Y_T が求まる。

この T 点の座標 X_T 、 Y_T を xy 座標に座標変換すればカムの輪郭の方程式が求まる。 A 点の XY 座標を X_A 、 Y_A とし、 x 軸が Y 軸となす角は $\theta + \varphi_1$ だから、 XY 座標を xy 座標に変換するということは原点を X_A 、 Y_A だけ移動して軸を $\theta + \varphi_1$ だけ回転することだから

$$\left. \begin{aligned} x_T &= (X_T - X_A) \sin(\theta + \varphi_1) - (Y_T - Y_A) \cos(\theta + \varphi_1) \\ y_T &= (X_T - X_A) \cos(\theta + \varphi_1) + (Y_T - Y_A) \sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

となる。これがカムの輪郭の方程式である。

しかるに X_A 、 Y_A は

$$X_A = -d \sin\varphi_1, \quad Y_A = d \cos\varphi_1 \dots\dots\dots(7)$$

だから式(6)に代入すれば次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x_T &= (X_T + d \sin\varphi_1) \sin(\theta + \varphi_1) - (Y_T - d \cos\varphi_1) \cos(\theta + \varphi_1) \\ y_T &= (X_T + d \sin\varphi_1) \cos(\theta + \varphi_1) + (Y_T - d \cos\varphi_1) \sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

次に PT の長さは次式で与えられる。

$$PT = \sqrt{(X_T - X_P)^2 + (Y_T - Y_P)^2} \dots\dots\dots(9)$$

接触点の軌跡を求めるためには T 点の XY 座標を、 A 点を原点とし AB を ξ 軸とする $\xi\eta$ の直角座標に変換すれば次のように求められる。

$$\left. \begin{aligned} \xi_T &= (X_T - X_A) \sin\varphi_1 - (Y_T - Y_A) \cos\varphi_1 \\ \eta_T &= (X_T - X_A) \cos\varphi_1 + (Y_T - Y_A) \sin\varphi_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(10)$$

この式に式(7)を代入すれば次式のように簡単になる。

$$\xi_T = d + X_T \sin \varphi_1 - Y_T \cos \varphi_1, \quad \eta_T = X_T \cos \varphi_1 + Y_T \sin \varphi_1 \dots\dots\dots(11)$$

揺動従動節が基礎円と接触するとき、従動節が AB となす角を φ_0 とすれば、カムによる従動節の角変位 $\varphi = \varphi_1 - \varphi_0$ となり、 φ_0 は次式で与えられる。

$$\cos \varphi_0 = \frac{d^2 + l^2 - R_0^2}{2dl} \dots\dots\dots(12)$$

§ 4 ナイフエッジ揺動従動節の場合のカムの輪郭

(1) カムの輪郭

ナイフエッジの先端を図2に示すように M とし、 BM の長さを l とし、 M より AB に下した垂線の足を H とすれば M 点の xy 座標は

$$\begin{aligned} x &= AH \cos \theta + MH \sin \theta, \\ y &= MH \cos \theta - AH \sin \theta, \\ AH &= d - l \cos \varphi_1, \quad MH = l \sin \varphi_1 \end{aligned}$$

から次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x &= (d - l \cos \varphi_1) \cos \theta + l \sin \varphi_1 \sin \theta \\ y &= l \sin \varphi_1 \cos \theta - (d - l \cos \varphi_1) \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots(13)$$

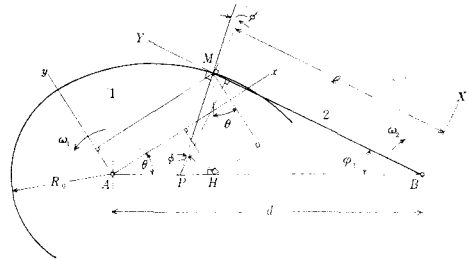


図2 ナイフエッジ揺動従動節のカムの輪郭

図1においてナイフエッジ従動節の場合は $X_T = 0$, $Y_T = l$ となるので、これを式(8)に代入して計算しても式(13)が得られる。無次元化ののために

$$\frac{l}{d} = \lambda, \quad \frac{R_0}{d} = \mu \dots\dots\dots(14)$$

とすれば式(13)は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} x/d &= (1 - \lambda \cos \varphi_1) \cos \theta + \lambda \sin \varphi_1 \sin \theta \\ y/d &= \lambda \sin \varphi_1 \cos \theta - (1 - \lambda \cos \varphi_1) \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

(2) MP の長さ

図2において M 点におけるカムの輪郭への法線と AB の交点を P とし、余弦定理と式(2)より MP は次のように求められる。

$$\frac{MP}{d} = \frac{1}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos \varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(16)$$

(3) 押進め角

押進め角 ϕ は図2に示すように M 点における従動節 BM への垂線と MP の延長線とのなす角であるので、

$$\tan \phi = \frac{l - BP \cos \varphi_1}{BP \sin \varphi_1} = \frac{l \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - d \cos \varphi_1}{d \sin \varphi_1}$$

ゆえに式(14)から

$$\tan \phi = \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos \varphi_1}{\sin \varphi_1} \dots\dots\dots(17)$$

となる。

§ 5 ナイフエッジ従動節の場合のカムの曲率半径

図2においてカムの輪郭は式(13)で示すように θ をパラメーターとする式なので、曲率半径 ρ_M は次

この式はまた図3より ΔMPB において比例からでも求められる。 X_P, Y_P は式(3)において与えられているので、従動節の角変位 $\varphi = f(\theta)$ が与えられれば $\varphi_1 = \varphi + \varphi_0$ から $d\varphi/d\theta$ すなわち $d\varphi_1/d\theta$ が求まり、式(3)より X_P, Y_P が求まり、式(23)より X_T, Y_T が求まるので、式(8)より円弧従動節の場合のカムの輪郭が求められる。

(2) 曲率半径

式(6)あるいは式(8)を θ で微分し、式(18)に代入すればカムの曲率半径 ρ_T は求まるはずであるが計算が非常に複雑なので、凸面円弧従動節の場合の曲率半径 ρ_T は

$$\rho_T = \rho_M - r \dots\dots\dots (25)$$

で表わすことができるので、式(19)あるいは式(20)で求めた ρ_M から ρ_T を求めることにする。

(3) 接触点軌跡

接触点 T の軌跡は式(11)の X_T, Y_T に式(24)を代入すれば次式のようにになる。

$$\frac{\xi_T}{d} = 1 - \lambda \cos\varphi_1 - \frac{\frac{r}{d} \left\{ 1 - \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos\varphi_1 \right\}}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos\varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (26)$$

$$\frac{\eta_T}{d} = \lambda \sin\varphi_1 - \frac{\frac{r}{d} - \lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \sin\varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos\varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (27)$$

(4) 押進め角

図4において揺動従動節の場合押進め角 ϕ は BM の垂線と MP のなす角であるので $\angle PMB = \alpha$ とすれば

$$\phi = 90^\circ - \alpha \dots\dots\dots (28)$$

であり、 α は ΔPMB において余弦の定理より

$$\cos\alpha = \frac{MP^2 + l^2 - BP^2}{2l \times MP}$$

となる。しかるに MP, BP は式(2), (16)に与えられているので、これを上式に代入すれば

$$\cos\alpha = \sin\phi = \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos\varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos\varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (29)$$

となる。これから

$$\cos\phi = \frac{\sin\varphi_1}{\left\{ 1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \cos\varphi_1 \right\}^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (30)$$

となり、式(29), (30)より $\tan\phi$ を求めれば式(17)と一致する。

ϕ あるいは α が求めれば従動節の円弧上の位置が定まり、その位置の滑り率を明示するに必要である。

§ 7 揺動円弧従動節をもつカムの滑り率

図5に示すように線点对偶により T 点で接触している2つの物体を1, 2, 点 T における曲率半径

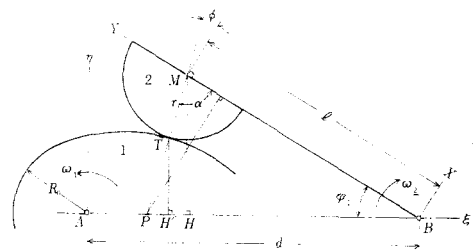


図4 円弧揺動従動節の押進め角

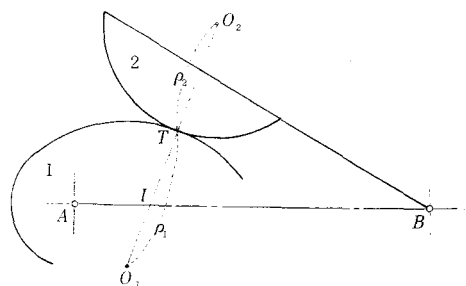


図5 接触物体の滑り率

をそれぞれ ρ_1, ρ_2 とし、物体 1, 2 の瞬間中心を I とし、物体 1, 2 の滑り率を σ_1, σ_2 とすれば滑り率は前報⁵⁾ または Cowie⁶⁾ より次式で示される。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{1/\rho_1 + 1/\rho_2}{1/TI + 1/\rho_2} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_1} \cdot \frac{TI}{\rho_2 + TI} \\ \sigma_2 &= \frac{1/\rho_1 + 1/\rho_2}{1/TI - 1/\rho_1} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{\rho_2} \cdot \frac{TI}{\rho_1 - TI} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(31)$$

よってカムと従動節の滑り率をそれぞれ σ_1, σ_2 とした場合、カムの曲率半径 $\rho_T = \rho_1$ 、円弧従動節の曲率半径は一定で r だから $\rho_2 = r$ 、 P 点は瞬間中心だから $TI = TP$ となる。よって式(31)は、次のようになる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{TP}{r + TP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{TP}{\rho_T - TP} \dots\dots\dots(32)$$

しかるに式(25)より $\rho_T = \rho_M - r$ 、図3より $TP = MP - r$ だから式(32)は次のようになる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP}, \quad \sigma_2 = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP} \dots\dots\dots(33)$$

この式において、 r は指定され、 ρ_M は式(20)より、 MP は式(16)より求められるので滑り率は決定される。カムにおいては $\rho_M > r$ だから σ_1 は無限大にならぬが、従動節において $\rho_M = MP$ のとき σ_2 が無限大となる。

§ 8 等角加速度運動する従動節の角変位、角速度、角加速度

図2に示すカムにおいて揺動従動節の揺動角を φ 、 M 点が基礎円上にある場合の $\angle MBA = \varphi_0$ とすれば式(12)より次式が得られる。

$$\cos \varphi_0 = \frac{1 + \lambda^2 - \mu^2}{2\lambda}, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0 \dots\dots\dots(34), (35)$$

図6は等角加速度カムのカム線図を示す。最大揺動角を Ψ とし、行き行程のカムの回転角を θ_0 、戻り行程のカムの回転角を θ_r とする。行き行程 $0 \leq \theta \leq \theta_0/2$ の範囲すなわち AB 間は等角加速度で、 $\theta_0/2 \leq \theta \leq \theta_0$ の範囲すなわち BC 間は等角減速度で運動する。 C 点を過ぎると普通一時停止するが、ローラ従動節でない場合はこの停止は従動節に無限大の滑り率を伴うので好しくなくまた滑り率の計算の都合上一時停止をせずにすぐ戻り行程に移るとすれば $\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0 + \theta_r/2$ すなわち DE 間は等角加速度で $\theta_0 + \theta_r/2 \leq \theta \leq \theta_0 + \theta_r$ すなわち EF 間は等角減速度とする。曲線は放物線をなすことはよく知られている。

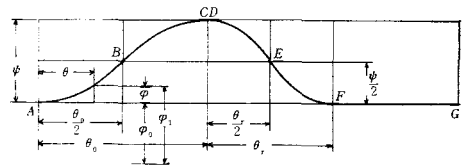


図6 等角加速度カムのカム線図

(1) **AB間の運動** ($0 \leq \theta \leq \theta_0/2$)

カムの回転角 θ を度で与えるものとすれば次式のようなになる。

$$\varphi = \frac{2\Psi}{\theta_0^2} \theta^2, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{4\Psi}{\theta_0^2} \theta, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_0^2} \dots\dots\dots(36)$$

(2) **BC間の運動** ($\theta_0/2 \leq \theta \leq \theta_0$)

$$\varphi = \Psi \left\{ 1 - 2 \left(\frac{\theta - \theta_0}{\theta_0} \right)^2 \right\}, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{4\Psi}{\theta_0^2} (\theta_0 - \theta), \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_0^2} \dots\dots\dots(37)$$

(3) **DE間の運動** ($\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0 + \theta_r/2$)

$$\varphi = \Psi \left\{ 1 - 2 \left(\frac{\theta - \theta_0}{\theta_r} \right)^2 \right\}, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{4\Psi}{\theta_r^2} (\theta - \theta_0), \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_r^2} \dots\dots\dots(38)$$

(4) **EF間の運動** ($\theta_0 + \theta_r/2 \leq \theta \leq \theta_0 + \theta_r$)

$$\varphi = \frac{2\Psi}{\theta_r^2} \{ (\theta - \theta_0) - \theta_r \}^2, \quad \varphi_1 = \varphi + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{4\Psi}{\theta_r^2} \{ (\theta - \theta_0) - \theta_r \}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_r^2} \dots\dots\dots(39)$$

§ 9 揺動等角加速度カムの押進め角の計算

揺動等角加速度カムの押進め角の最大値については45°迄との報告⁷⁾があるので、これを越えることは好ましくないで、最大押進め角はカムのどの位置に生じ、その値は如何なるものであるか、更に基礎円の半径によってどのように変化するかを調べるため次のような例の場合を数値計算する。例えば

$$\theta_0 = 120^\circ, \theta_r = 90^\circ, \Psi = 20^\circ, \lambda = 1.0, \mu = 0.3, 0.5$$

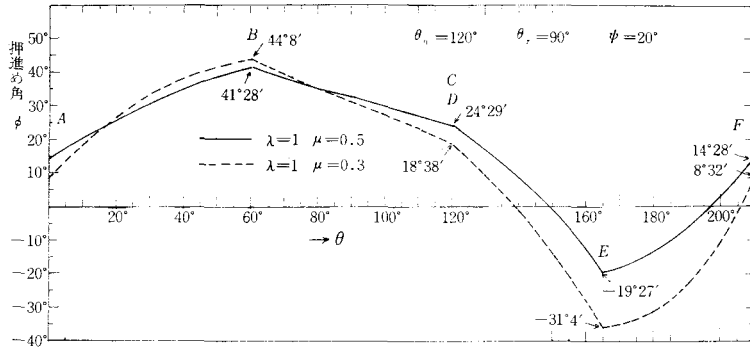


図7 揺動等角加速度カムの押進め角

押進め角 ϕ は式(17)より

$$\phi = \tan^{-1} \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) - \cos\varphi_1}{\sin\varphi_1} \quad \dots\dots\dots (40)$$

であるので、カムの回転角 θ の変化に対し式(36)~(39)を用いて φ_1 と $d\varphi_1/d\theta$ を求め、 ϕ を計算したものを図7に示す。図から往き行程においてはその中央すなわち B 点で最大、戻り行程でもその中央すなわち E 点で最大の押進め角をとる。実際の場合立上りの A 点の押進め角 ϕ_A と往き行程の最大押進め角 ϕ_{max} が問題となる。

基礎円半径 R_0 が小さい程 ϕ_A は小さいが ϕ_{max} は B 点で大きくなり、その値も45°に近いことがわかる。

(1) A 点の押進め角 ϕ_A

A 点においては $\theta=0$, $d\varphi_1/d\theta=0$ だから式(40)より

$$\phi_A = \tan^{-1} \frac{\lambda - \cos\varphi_0}{\sin\varphi_0} \quad \dots\dots\dots (41)$$

となる。 $\phi_A=0$ とするためには $\lambda = \cos\varphi_0 = l/d$ でこれを式(34)に代入すれば次式を得る。

$$\phi_A = 0, \mu^2 = 1 - \lambda^2 \quad \dots\dots\dots (42)$$

(2) 最大押進め角

式(17)を θ で微分し、 $d\phi/d\theta=0$ とおけば

$$\tan\phi_{max} = \frac{\lambda \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \sin\varphi_1}{\frac{d\varphi_1}{d\theta} \cos\varphi_1} \quad \dots\dots\dots (43)$$

が得られる。

B 点の ϕ_{max} は式(36)から $\varphi_1 = \frac{\Psi}{2} + \varphi_0$ と $\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{2\Psi}{\theta_0}$ を式(17)に代入すれば

$$\tan\phi_{max} = \frac{\lambda \left(1 + \frac{2\Psi}{\theta_0} \right) - \cos \left(\frac{\Psi}{2} + \varphi_0 \right)}{\sin \left(\frac{\Psi}{2} + \varphi_0 \right)} \quad \dots\dots\dots (44)$$

となる。E点の ϕ_{max} は式(38)からの $\varphi_1 = \frac{\Psi}{2} + \varphi_0$, $\frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{2\Psi}{\theta_r}$ を式(17)に代入すれば

$$\tan\phi_{max} = \frac{\lambda\left(1 - \frac{2\Psi}{\theta_r}\right) - \cos\left(\frac{\Psi}{2} + \varphi_0\right)}{\sin\left(-\frac{\Psi}{2} + \varphi_0\right)} \dots\dots\dots(45)$$

となる。

図8は $\Psi=20^\circ$, $\mu=0.5$, $\theta_0=90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ に指定し, $\lambda=0.7\sim 1.2$ 変化させた場合の破線で ϕ_A を実線で ϕ_{max} の値を示す。 μ が一定なとき θ_0 を大にする程 λ を小にする程 ϕ_A, ϕ_{max} は小となり, λ が1より小さく, μ が小さいと ϕ_A が負となり急増することに注意されたい。

$\theta_0=120^\circ, \mu=0.5$ の場合は押進め角の点から言えば $\lambda=0.75\sim 0.90$ が望ましく, $\theta_0=120^\circ, \mu=0.3$ の場合は $\lambda=0.85\sim 0.95$ が望ましい。いずれにしても λ は1より小さい方が押進め角が小さい。

図9は $\theta_0=120^\circ, \Psi=20^\circ, \lambda=0.8\sim 1.1$ に指定し, μ を0.3~1.0変化させたものを破線で ϕ_A を, 実線で ϕ_{max} を示す。 ϕ_{max} は μ には余り影響されなくて, λ が小さければ小になる。 λ が小さく μ が極端に小さければ ϕ_A が負で増加するので, 例えば $\lambda=0.8$ のとき $\mu=0.4\sim 0.7$ が望ましい。
 $\lambda=0.8, \mu=0.6$ のとき $\phi_{max} \doteq 27^\circ$ となって最もよい。

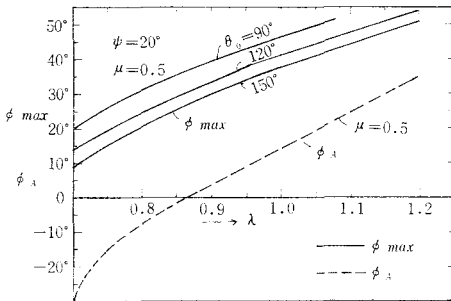


図8 ϕ_A と ϕ_{max}

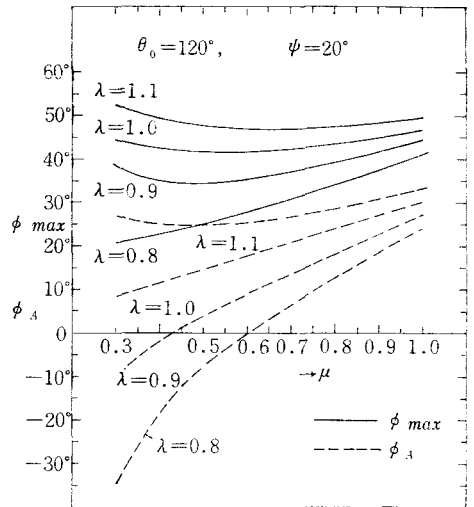


図9 ϕ_A と ϕ_{max}

§ 10 揺動等角加速度カム の曲率半径 ρ_M の計算

カムの設計において $\rho_{Mmin} > r$ でなければならぬので, カムのどの位置において ρ_M が最小になるかまたその値を調べる必要があるので, カムの全輪郭にわたって ρ_M の計算をする必要がある。

そのため例として $\theta_0=120^\circ, \theta_r=90^\circ, \Psi=20^\circ, \lambda=1.0, \mu=0.3, 0.5$ のデータを与えて, $\theta=0\sim 360^\circ$ について ρ_M/d を式(20)より計算したものを図10に示す。

図10から戻り行程の中央E点において ρ_M が最小になり, また μ が小さい方が ρ_{Mmin} が小になり, $\lambda \neq 1$ の場合も同様な傾向となることがわかる。

E点の最小曲率半径 ρ_{Mmin} の計算

E点すなわち $\theta = \theta_0 + \theta_r/2$ の位置の ρ_{Mmin} を求めるために式(38)より

$$\varphi_1 = \frac{\Psi}{2} + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{2\Psi}{\theta_r}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_r^2}$$

を式(20)に代入すれば ρ_{Mmin}/d を求めることができる。図11は $\theta_0=120^\circ, \theta_r=90^\circ, \Psi=20^\circ, \mu=0.4\sim 1.0, \lambda=0.8\sim 1.2$ の場合の ρ_{Mmin}/d の図を示す。これから λ が大なる程, μ が小なる程 ρ_{Mmin} は減少するので λ を1より小さく, μ を大きく定める必要がある。

E点における ρ_{Mmin} が小さいと $\rho_{Mmin} > r$ の関係から r を小さく取らねばならず, その結果滑り率は

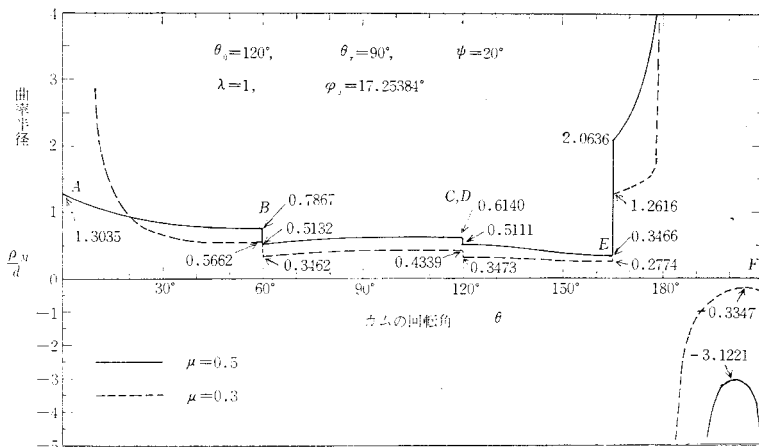


図10 揺動等角加速度カムの曲率半径 ρ_M

増し、E点におけるカムの滑り率が増すので、カムの最大滑り率を小さくするためには是非とも ρ_{Mmin} を大きくせねばならぬ。

§ 11 揺動等角加速度カムの滑り率の計算

カムと従動節の最大滑り率の位置および値を求めるために前例の場合 $\theta_0=120^\circ$, $\theta_r=90^\circ$, $\psi=20^\circ$, $\lambda=1.0$, $\mu=0.3, 0.5$ について $r/d=0.1, 0.15$ として、 $\theta=0\sim 210^\circ$ の滑り率を求める。式(20)より ρ_M/d , 式(16)より MP/d を求めて、滑り率の式(33)に代入すれば σ_1, σ_2 を求めることができる。

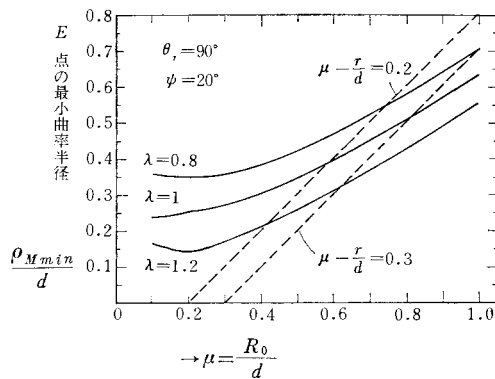


図11 ρ_{Mmin} に及ぼす λ と μ の影響

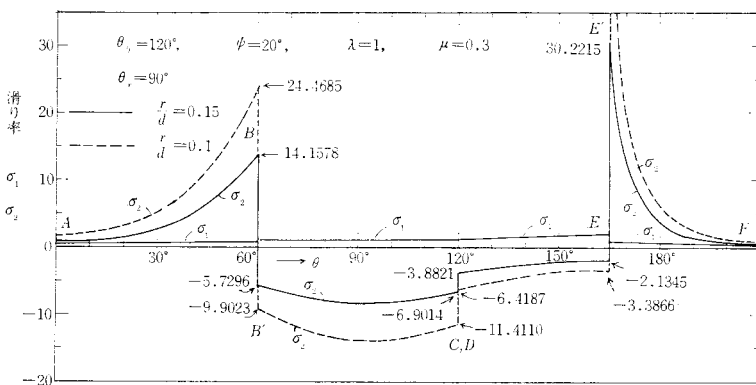


図12 揺動等角加速度カムの滑り率

図12は $\mu=0.3, r/d=0.1, 0.15$ の場合で、図13は $\mu=0.5, r/d=0.25, 0.30$ の場合を示す。図12について言えば σ_1 の方はかなり低い値で問題にならぬが σ_2 の方は r/d が小さい方が大きく、B点とE点とBC間のほぼ中央で大きな値となる。図13でも同様なことが言えるが r/d が大きい場合E点において σ_1 がかなり大きくなるのが問題である。

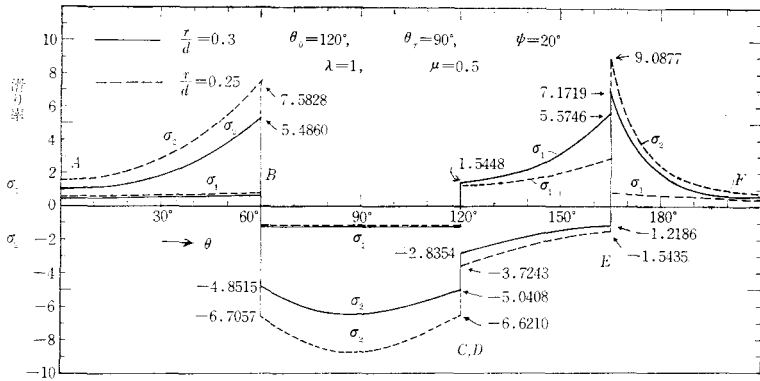


図13 揺動等角加速度カムの滑り率

(1) E点およびE'点における滑り率

図12において問題になるのはEF行程の始点E'の σ_2 である。この位置においては

$$\theta = \theta_0 + \frac{\theta_r}{2}, \quad \varphi_1 = \frac{\Psi}{2} + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{2\Psi}{\theta_r}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_r^2}$$

なので、これらの値を式(16), (20)に代入してMP, ρ_M を求め、式(33)に代入すれば σ_1, σ_2 が求まる

$\theta_0 = 120^\circ, \theta_r = 90^\circ, \Psi = 20^\circ, \mu - \frac{r}{d} = 0.2, \lambda = 0.8, 1.0, 1.2$ の場合EFの始点E'($\theta = 165^\circ$)に

おける滑り率 σ_2 を求めたものを図14に+側の破線で示す。

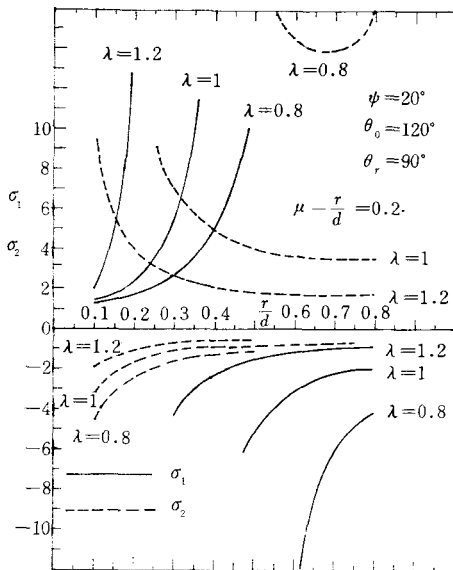


図14 E点における σ_1, σ_2

DEの終点Eの従動節の滑り率 σ_1 を求めるためには

$$\theta = \theta_0 + \frac{\theta_r}{2}, \quad \varphi_1 = \frac{\Psi}{2} + \varphi_0, \quad \frac{d\varphi_1}{d\theta} = -\frac{2\Psi}{\theta_r}, \quad \frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_r^2}$$

を用い前と同様に計算したものを図14の実線で示す。一侧の破線はこの場合の σ_2 を示す。これから $\lambda = 1$ の場合 $r/d = 0.35 \sim 0.45$ の場合には σ_2 は漸減するが σ_1 が急増するので $r/d > 0.5$ とするのがよい。 $\lambda = 0.8$ の場合E'点の σ_2 が非常に大きいので $\lambda < 1$ はよくない。 $\lambda = 1.2$ の場合 $r/d > 0.3$ ならば滑り率の点ではよいが押進め角, 曲率半径の点でよくない。

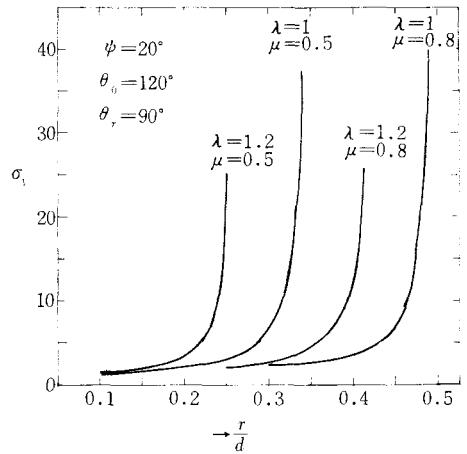


図15 E点の σ_1

E 点の σ_1 が図13から明らかに問題があるので、それを計算したものが図15で、 r/d の僅かの変化で σ_1 が急増するので注意が必要である。図16は E' 点の σ_2 を求めたもので $\lambda > 1$ の場合 μ を小さく r/d を大きくすると σ_2 が小さくなる。

(2) B 点の滑り率 σ_2

$\theta = \theta_0/2$ で $\lambda = 1, 1.2, \mu = 0.5, 0.8$ の場合 $r/d = 0.1 \sim 0.5$ の変化させたときの σ_2 を求めたものを図17に示す。 B 点について言えば λ が小さい程、 r/d が大きい程 σ_2 は小さく、 B' 点について言えば λ が大きい程、 μ が小さい程、 r/d が大きい程 σ_2 が小となる。

(3) BC 間の中央の滑り率 σ_2

図12から BC 間において σ_2 が最大となる位置は近似的に $\theta = \frac{3}{4}\theta_0$ だから $\varphi_1 = \frac{7}{8}\Psi + \varphi_0$, $\frac{d\varphi_1}{d\theta} = \frac{\Psi}{\theta_0}$, $\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2} = -\frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{4\Psi}{\theta_0^2}$ を用い、 $\lambda = 1.2, 1.0, 0.8, \mu = \frac{r}{d} = 0.2, 0.3$ の場合の σ_2 を求めたも

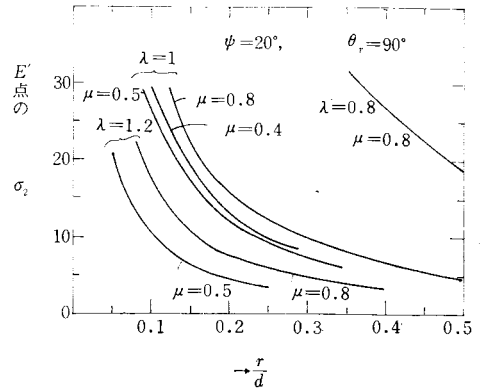


図16 E' 点の σ_2

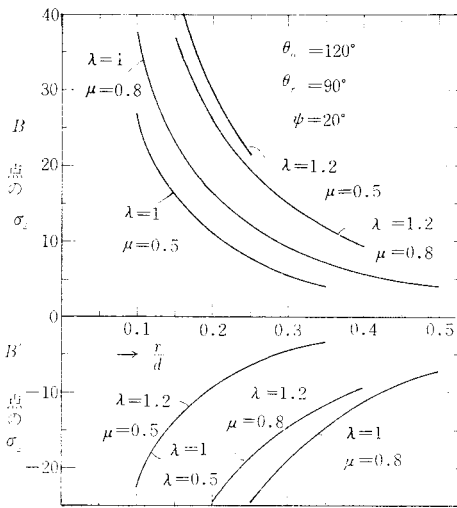


図17 B, B' 点の σ_2

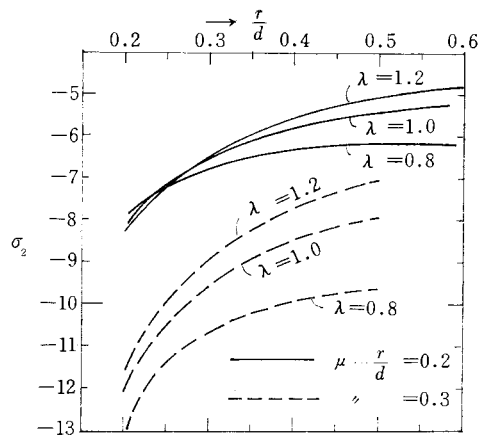


図18 BC 間の中央の σ_2

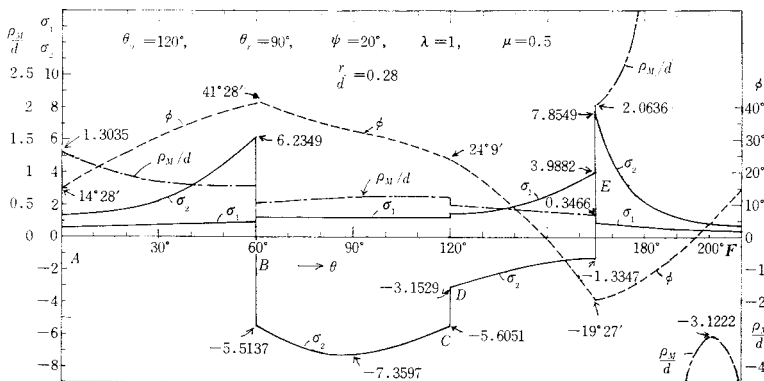


図19 揺動等角加速度カムの $\phi, \rho_M/d, \sigma_1, \sigma_2$

のを図18に示す。図から λ が大きい程、 $\mu-(r/d)$ が小さい程、 r/d が大きい程滑り率 σ_2 が小となること
 がわかる。図19は $\theta_0=120^\circ$ 、 $\theta_r=90^\circ$ 、 $\lambda=1$ 、 $\mu=0.5$ 、 $r/d=0.28$ の場合の押進め角 ϕ 、カムの曲率
 半径 ρ_M/d 、滑り率 σ_1 、 σ_2 を示す。図からカムの滑り率 σ_1 はほぼ一定で小さい値をとるのでE点を除
 いて問題はない。E点の σ_1 が少し大きいのは θ_r が θ_0 に比して小さいためだから r/d を小とすればよ
 い。

従動節の滑り率 σ_2 はBCの中央とE点で大であるが8以下であるので滑り率としては満足される。

図20は円弧従動節上の接触点の位置(押進め角 ϕ
 によって求められる)とその点の滑り率 σ_2 の値
 を細い実線で示したものである。右向きの矢標は
 σ_2 が正、左向きの矢標は σ_2 が負の場合で、カム
 の1回転につき従動節の同一地点を2回滑るので、
 平均滑り率 $\sigma_{2m}=(\sigma_2+|\sigma_2|)/2$ を考え、それ
 を太い実線で示す。S点は従動節のスタートポ
 イントすなわちカムのA点に相当する点である。

押進め角 $\phi=25^\circ\sim 41^\circ$ の間は $\phi=-15^\circ\sim -20^\circ$
 の間に較べて滑り率の値が大きく、その上にその
 巾が広いので前者の部分の摩耗が大きくなる。す
 なわちこの場合従動節の円弧の従動節の中心Bに
 近い部分の摩耗が大きい。摩耗の点から言えば
 σ_2 の値が非常に大きくてもその範囲が小さけれ
 ば摩耗が少ない。それ故滑り率の高い範囲(部分)
 をできるだけ小さくする必要があるように思われ
 る。

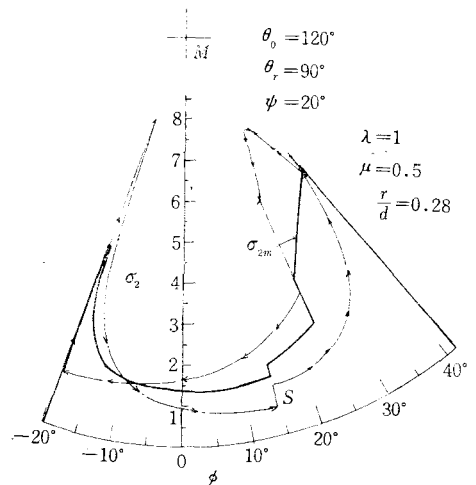


図20 円弧従動節上の σ_2 と
 平均滑り率 σ_{2m}

§ 12 揺動等角加速度カムの輪郭

図19のデータ $\theta_0=120^\circ$ 、 $\theta_r=90^\circ$ 、 $\psi=20^\circ$ 、
 $\lambda=1$ 、 $\mu=0.5$ を式(34)に代入し、 φ_0 を求め、式
 (36)~(39)より φ 、 φ_1 、 $d\varphi_1/d\theta$ を求め、 $\theta=0\sim$
 210° について式(15)に代入して、 x/d 、 y/d を求め
 て図21に示せば図のように $r/d=0$ のナイフエッ
 ジ揺動従動節の場合のカムの輪郭が求められる。

次に $r/d=0.28$ として、式(24)を用いて X_T/d 、
 Y_T/d を求め、式(7)を用いて X_A/d 、 Y_A/d を求
 め、これらの値を式(6)に代入すれば x_T/d 、 y_T/d
 が求められ、これを図21に示せば円弧揺動従動節
 の場合のカムの輪郭が図の内側の一点鎖線で求め
 られる。また式(10)あるいは式(11)より ξ_T/d 、
 η_T/d を求め、図21に示せば円弧従動節の場合の
 接触点軌跡が図のように得られる。図21のカムの
 輪郭からカムとして実用できることがわかる。

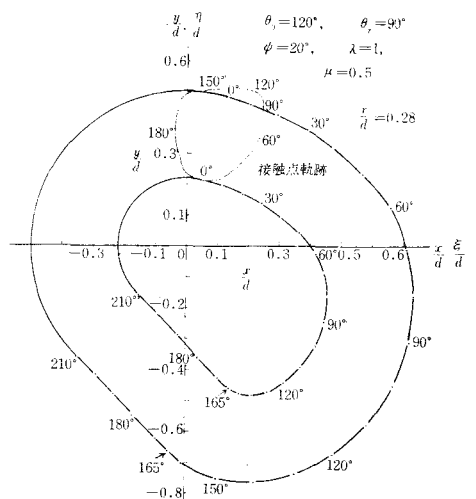


図21 揺動等角加速度カムの輪郭

§13 結 論

以上により揺動従動節をもつ反時計回りに回転する板カムの輪郭を xy 座標で求め、ナイフエッジ従動節の場合のカムの輪郭の曲率半径を求める理論式を導き、従動節の揺動運動を等角加速度とした場合のカムの最小曲率半径とその位置を求め、押進め角を考慮して円弧従動節の場合のカムと従動節の滑り率を求め、この場合のカムの輪郭を求めた。その結果次の結論を得た。

(1) 押進め角は行き行程の中央で最大となり、押進め角だけについて言えばカムは時計回りの方が好ましい。(2) カムの曲率半径は戻り行程の中央で最小となり、戻り行程の後半、曲率半径は正から無限大すなわちカム上では直線となり、それから負に変化する。(3) カムの滑り率は戻り行程の中央で最大となる。(4) 従動節の滑り率は両行程の中央と行き行程の後半の中央で大となる。しかし、これらの値はカムの寸法を適当にとることによりある程度小さくできる。(5) 従動節の滑り率を従動節上に表示し、その正負を滑りの向きとして表示し、その合計あるいは平均値を求め、大きな滑り率をもつ範囲の広い方が摩耗が大であることから従動節の回転中心に近い方が摩耗が大きいことが想像できる。

次報においてカムを時計回りに回転させた場合の滑り率の変化を求め、本報告の場合と比較する。本研究に対し、本校学生、池田典己、斉藤繁雄両君の協力によるものであることを付記する。

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），呉高専研究報告，第6巻，第1号，47～59頁，1970.
- 2) 糸島寛典：往復等加速度カムの滑り率の研究（第2報），呉高専研究報告，第6巻，第2号，49～59頁，1971.
- 3) 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.
- 4) Shigley, J.E. : Kinematic Analysis of Mechanisms, p.144～150, McGRAW-HILL, 1959.
- 5) 糸島寛典：カムの滑り率の研究（第1報），呉高専研究報告，第1巻，第1号，47～58頁，1965.
- 6) Cowie, A. : Kinematics of Contacting Surfaces, Transaction of the ASME, Journal of Engineering for Industry, p. 450～453, 1968.
- 7) 中井英一：実用カムの設計法，55～73頁，日刊工業

（昭和46年7月31日受付）

単弦運動カムの滑り率の研究 (第1報)

(機械工学科) 糸 島 寛 典・野 原 稔

Studies on the Specific Sliding of the Simple Harmonic Motion Cam (Report 1)

Hironori ITOSHIMA and Minoru NOHARA

If the complex profile of cam is expressed with the equation of xy coordinate, it is easily manufactured by NC machine tool. In this paper, the authors drew the cam profile and examined the specific sliding between the simple harmonic motion cam and the follower. When various forms (a circular arc or flat) of follower (oscillating or reciprocating) are given, they are expected to be used for the design of cams.

§ 1 緒 言

近年, NC工作機械の発展と普及により複雑な輪郭曲線をもつカムの製作もカムの輪郭を直角座標で示すことができれば容易となった。

本報告において, 往復あるいは揺動する円弧または平板の従動節が単弦運動する単弦運動カムについて, カムの輪郭を回転直角座標で示し, その曲率半径を求め, 瞬間中心と接触点の距離を求め, それらによりカムと従動節の滑り率の変化を調べ, カムの運動と摩擦を考慮してカムの設計資料とする。

§ 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 |
| θ_a : 従動節の上昇点での停止期間中のカムの回転角 | |
| R_0 : カムの基礎円半径 | e : カムのかたより量 |
| H : 従動節のリフト | r : 円弧従動節の半径 |
| h : 従動節の変位 | α : 平板従動節の傾き角 |
| $\frac{dh}{d\theta}$: カムの角速度に対する従動節の速度 | |
| $\frac{d^2h}{d\theta^2}$: カムの角速度の2乗に対する従動節の加速度 | |
| v : 従動節の速度 | ω : カムの角速度 (一定) |
| 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 | |
| ρ_r : 円弧 (平板) 従動節の場合のカムの曲率半径 | |
| σ_1 : カムの滑り率 | σ_2 : 従動節の滑り率 |
| φ_1 : 従動節の揺動角 | Ψ : 従動節の最大揺動角 |
| $\frac{d\varphi_1}{d\theta}$: カムの角速度に対する従動節の角速度 | |

$\frac{d^2\varphi_1}{d\theta^2}$: カムの角速度の2乗に対する従動節の角加速度

f : 平板従動節のオフセット l : 揺動従動節の長さ

d : カムと揺動従動節の中心距離 φ_0 : 従動節の最下点における揺動角

s : 揺動平板従動節の接触点から中心までの水平距離

§ 3 単弦運動する従動節の変位、速度、加速度

図1に示すように従動節のリフト H , 往き行程のカム回転角を θ_0 , 戻り行程のカム回転角を θ_r , カムの頂点 CD で従動節が休止するカムの回転角を θ_d とするが, 本報告においては, $\theta_0 = \theta_r$, $\theta_d = 0$ とする。

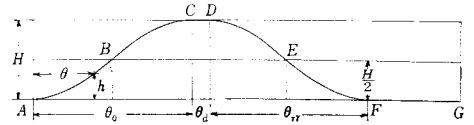


図1 単弦運動カムのカム線図

いま従動節の変位を h とするとカムの角速度 ω は一定だから, 速度 $v = \frac{dh}{dt} = \omega \cdot \frac{dh}{d\theta}$, 加速度 $a = \frac{dv}{dt} = \omega^2 \cdot \frac{d^2h}{d\theta^2}$ となり速度, 加速度は $\frac{dh}{d\theta}$, $\frac{d^2h}{d\theta^2}$ 比例する。

3・1 往き行程 ($0 \leq \theta \leq \theta_0$) の変位、速度、加速度

図1に示すように単弦運動カムのカム線図において, 往き行程の従動節の変位は次式で表わされる。

$$h = \frac{H}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi\theta}{\theta_0} \right) \dots \dots \dots (1)$$

この式を回転角 θ で1回および2回微分し, 次の速度, 加速度を得る。

$$\frac{dh}{d\theta} = \frac{\pi H}{2\theta_0} \sin \frac{\pi\theta}{\theta_0} \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = \frac{\pi^2 H}{2\theta_0^2} \cos \frac{\pi\theta}{\theta_0} \dots \dots \dots (3)$$

3・2 戻り行程 ($\theta_0 + \theta_d \leq \theta \leq \theta_0 + \theta_d + \theta_r$) の変位、速度、加速度

戻り行程の従動節の変位は次式で表わされる。

$$h = \frac{H}{2} \left[1 + \cos \frac{\pi \{ \theta - (\theta_0 + \theta_d) \}}{\theta_r} \right] \dots \dots \dots (4)$$

往き行程と同様にして次式を得る。

$$\frac{dh}{d\theta} = - \frac{\pi}{2} \frac{H}{\theta_r} \sin \frac{\pi \{ \theta - (\theta_0 + \theta_d) \}}{\theta_r} \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{d^2h}{d\theta^2} = - \frac{\pi^2}{2} \frac{H}{\theta_r^2} \cos \frac{\pi \{ \theta - (\theta_0 + \theta_d) \}}{\theta_r} \dots \dots \dots (6)$$

§ 4 往復従動節に円弧を使用する場合

4・1 カムの曲率半径並びにカムと従動節の滑り率

前報¹⁾よりナイフェッジ往復従動節をもつカム輪郭の曲率半径 ρ_M は次式で与えられる。

$$\rho_M = \frac{\left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h+k)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{e^2 + (h+k)^2 + 2 \left(\frac{dh}{d\theta} \right)^2 - 3e \frac{dh}{d\theta} - (h+k) \frac{d^2h}{d\theta^2}} \dots \dots \dots (7)$$

ここで e はカムのかたより量, k はカムの中心から従動節の最下点迄の高さで $k = \sqrt{R_0^2 - e^2}$, 円弧従動節の場合の接触点を T , カムの曲率半径を ρ_T , カムの軸心からみて凸面のときを正, 凹面のときを負, r を円弧の半径とすれば $\rho_T = \rho_M - r$ となる。 ρ_T と ρ_M とは常に正負が同一でなければならないので

$$\rho_M > \rho_T \geq 0 \text{ の場合} \quad \rho_M > r \dots\dots\dots(8)$$

$$\rho_T < \rho_M \leq 0 \text{ の場合} \quad -\rho_T > r \dots\dots\dots(9)$$

となる必要がある。

式(8)の場合、 $\rho_M < r$ となれば切下げを起し、 $\rho_M = r$ になると尖りを生じその面に無理な応力がかかる。また式(9)の場合は $-\rho_T < r$ となれば円弧が輪郭に接しないし、 $-\rho_T = r$ になると円弧が輪郭にはいり込むことになる。

次にカムと従動節の滑り率を σ_1, σ_2 とすれば、それらは前報²⁾により次式で与えられる。

$$\sigma_1 = \frac{\rho_T + r}{\rho_T} \cdot \frac{TP}{r + TP} = \frac{\rho_M}{\rho_M - r} \cdot \frac{MP - r}{MP} \dots\dots\dots(10)$$

$$\sigma_2 = \frac{\rho_T + r}{r} \cdot \frac{TP}{\rho_T - TP} = \frac{\rho_M}{r} \cdot \frac{MP - r}{\rho_M - MP} \dots\dots\dots(11)$$

$$MP = \left\{ \left(\frac{dh}{d\theta} - e \right)^2 + (h + k)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(12)$$

式(11)においてカムの回転中に $\rho_M = MP$ となると $\sigma_2 = \infty$ となる。

4・2 単弦運動カムの数値計算

(1) 押進め角

押進め角 ϕ は図2より次式で与えられる。

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{dh}{d\theta} - e}{h + k} \right) \dots\dots\dots(13)$$

カム中心より従動節の最下点迄の高さは $k = \sqrt{R_0^2 - e^2}$ で表わされる。

いま従動節のリフト $H = 17\text{mm}$ 、カムの基礎円半径 $R_0 = 20, 34, 40\text{mm}$ 、カムの往きの回転角 $\theta_0 = 120^\circ$ 、戻りの回転角 $\theta_r = 120^\circ$ 、停止回転角 $\theta_a = 0$ 、かたより量 $e = 0 \sim 12\text{mm}$ を指定し、式(13)に代入し ϕ の値を求め図3に示す。図において R_0 を変化させた場合 ϕ_{max} がカムの回転速度に対して大きな値である

と思われる時、適当な ϕ_{max} を指定すれば、その時の e の値を知ることができると同時に始点Aにおける ϕ の値も知ることができる。また、 θ_0, H, R_0 を決め ϕ_{max} の概略値を求めるには、最大押進め角線⁵⁾を用いると ϕ_{max} の概略値を簡単に求めることができる。

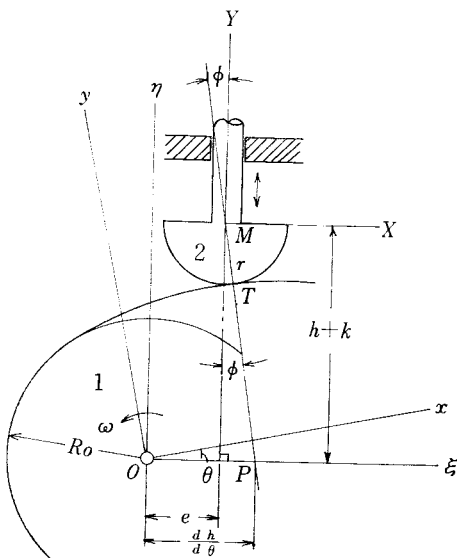


図2 往復円弧従動節に対する板カム

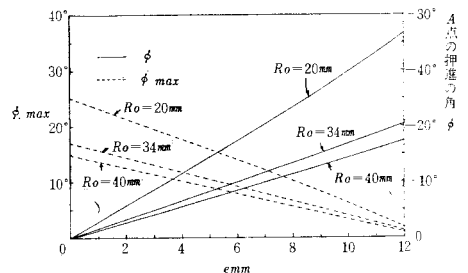


図3 e の変化による始点Aの ϕ と 行き行程 (AC間) の ϕ_{max}

(2) カムの曲率半径と滑り率

式(1)~(6)に実例として、 $H = 17\text{mm}$ 、 $r = 20\text{mm}$ 、 $R_0 = 34\text{mm}$ 、 $\theta_0 = \theta_r = 120^\circ$ 、 $e = 0, 10\text{mm}$ を入れ式(7)より ρ_M を求めて図4に示すと最小曲率半径は式(8)を満足している。いま、図5に e を指定した場合の

R_0 の変化による D 点の ρ_{Mmin} の値を示すが、 e の値によって ρ_{Mmin} はほとんど変化しないことがわかる。式(10), (11), (12)に上記データを代入し、カムと従動節の滑り率を求め図6に示す。この図より円弧従動節の滑り率 σ_2 は、往き行程、戻り行程の中央付近で無限大を生じるが、カムの滑り率 σ_1 はほとんど変化していない。ここで図7に従動節上の接触点の滑り率 σ_2 を示しておく。

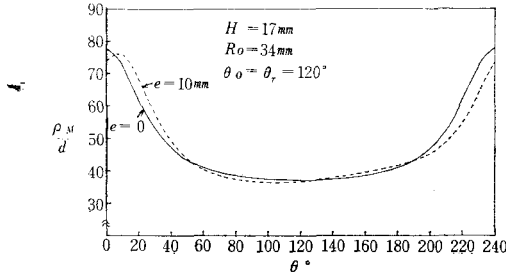


図4 往復動ナイフエッジ従動節の曲率半径

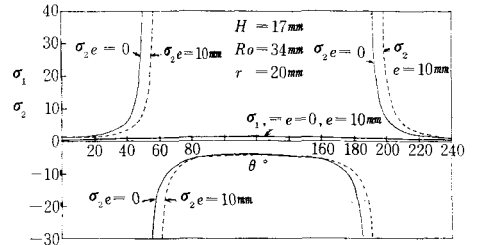


図6 単弦運動カムと円弧従動節の滑り率

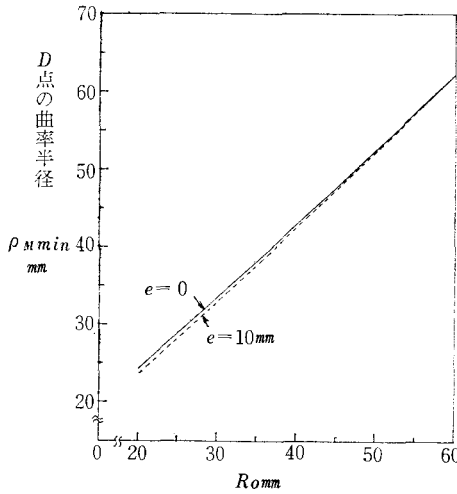


図5 e を指定した場合の R_0 の変化による ρ_{Mmin} の値

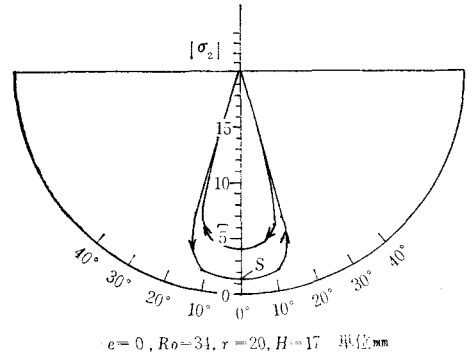


図7 往復円弧従動節上の滑り率

(3) カムの輪郭と接触点軌跡

図2において、カムの輪郭は従動節の固定座標 XY の原点 M を xy 座標に変換した次式で示される。

$$x = (h+k)\sin\theta + e \cos\theta,$$

$$y = (h+k)\cos\theta - e \sin\theta \dots \dots \dots (14)$$

接触点軌跡は

$$\xi_T = r \sin\phi + e, \quad \eta_T = h+k - r \cos\phi \dots \dots (15)$$

与えられるから $e=0, H=17mm, R_0=34mm, r=20mm, \theta_0=\theta_r=120^\circ$ として式(14), (15)に代入し図8においてナイフエッジ従動節の場合のカム輪郭を xy 座標に、接触点 T の軌跡を $\xi\eta$ 座標に示す。

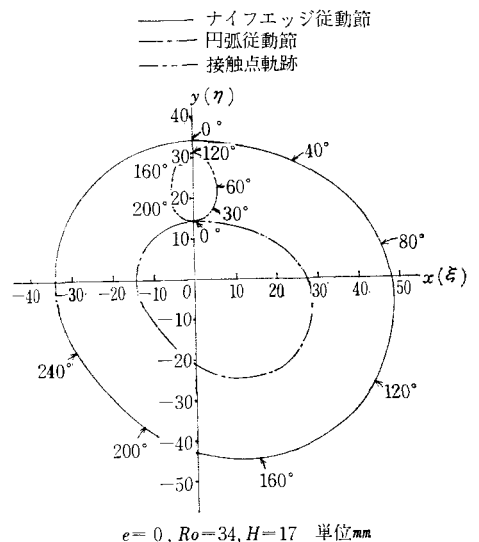


図8 単弦運動のカムの輪郭

§ 5 往復従動節に平板を使用する場合

5・1 カムの曲率半径並びにカムと従動節の滑り率

図9において平板従動節の傾き角を α ，接触点 T における曲率半径を ρ_T とすると前報¹⁾より ρ_T は

$$\rho_T = \left(h + k + \frac{d^2 h}{d\theta^2} \right) \sin \alpha \quad \dots \dots \dots (16)$$

となる。ただしカムの輪郭に凹面を設けることはできないので $\rho_T > 0$ である。

次にカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は前報¹⁾より

$$\sigma_1 = \frac{(h+k)\sin\alpha - \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\cos\alpha}{\left(h+k + \frac{d^2h}{d\theta^2}\right)\sin\alpha}, \quad \sigma_2 = \frac{(h+k)\sin\alpha - \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\cos\alpha}{\left(\frac{d^2h}{d\theta^2}\right)\sin\alpha + \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\cos\alpha} \quad \dots \dots \dots (17)$$

また図9より，平板上の M 点から接触点 T までの距離 s は次式で与えられる。

$$s = \frac{\xi_T}{\sin\alpha} = (h+k)\cos\alpha + \frac{dh}{d\theta}\sin\alpha$$

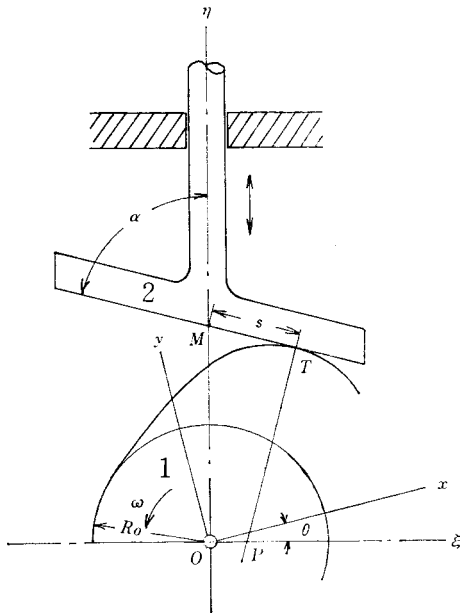


図9 往復平板従動節に対する板カム

5・2 単弦運動カムの数値計算

(1) カムの曲率半径と滑り率

いま $\alpha = 60^\circ, 90^\circ, H = 17\text{mm}, R_0 = 34\text{mm}, \theta_0 = \theta_r = 120^\circ$ とした場合のカムの曲率半径 ρ_T を求め図10に示すが，傾き角 α によってあまり変化はみられず，カムの頂点で ρ_T はほぼ最小になる。

次に滑り率 σ_1, σ_2 を求め図11に示す。 σ_2 は $\alpha = 90^\circ$ の場合，各行程の中央で無限大となり α の変化により，かなり滑り率が変化することがわかる。

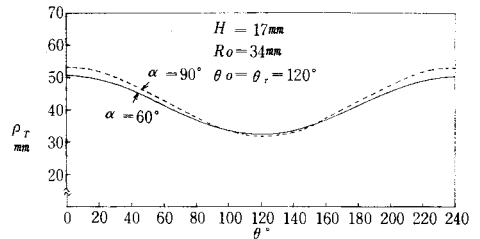


図10 往復平板従動節の曲率半径

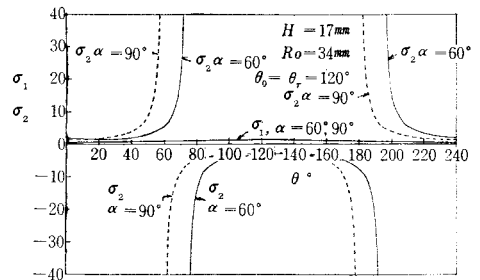


図11 平板従動節の滑り率

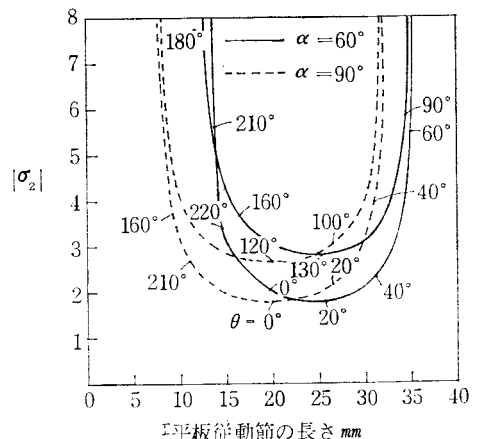


図12 平板従動節上の滑り率 ($s + 20\text{mm}$)

また σ_1 はいずれの位置においてもほとんど変化がみられない。図12にカムの回転角 θ に対する平板従動節上の滑り率 σ_2 を示す。

(2) カムの輪郭と接触点軌跡

前報¹⁾よりカムの輪郭は次式で与えられている。

$$\left. \begin{aligned} x &= (h+k)\sin\alpha \cos(\theta-\alpha) - \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\sin\alpha \sin(\theta-\alpha) \\ y &= -(h+k)\sin\alpha \sin(\theta-\alpha) - \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\sin\alpha \cos(\theta-\alpha) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18)$$

接触点軌跡は次式で与えられている。

$$\left. \begin{aligned} \xi_T &= (h+k)\sin\alpha \cos\alpha + \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\sin^2\alpha \\ \eta_T &= (h+k)\sin^2\alpha - \left(\frac{dh}{d\theta}\right)\sin\alpha \cos\alpha \end{aligned} \right\} (19)$$

ただし $k = R_0/\sin\alpha$

式(18), (19)に上記データを代入し得られた結果によるカムの輪郭と接触点軌跡を図13に示す。

§ 6 揺動従動節に円弧を使用する場合

6・1 押進め角

押進め角 ϕ は図14に示すように、従動節 MO_1 に垂直に立てた直線と MP のなす角で表わされるので、 ΔO_1MP において O_1P の長さは

$$O_1P = \frac{l \cos\phi}{\cos(\varphi_1 - \phi)} \dots\dots\dots(20)$$

となる。また P 点はカムと従動節の瞬間中心であるので、 P 点で両者の速度は等しいから

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{OP}{O_1P}, \quad \frac{d}{O_1P} = \frac{OP + O_1P}{O_1P} = \frac{d\varphi_1}{d\theta} + 1, \quad O_1P = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots(21)$$

が得られる。式(20), (21)は等しいので、次式が得られる。

$$\frac{l \cos\phi}{\cos(\varphi_1 - \phi)} = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots(22)$$

式(22)を変形し ϕ を求めれば

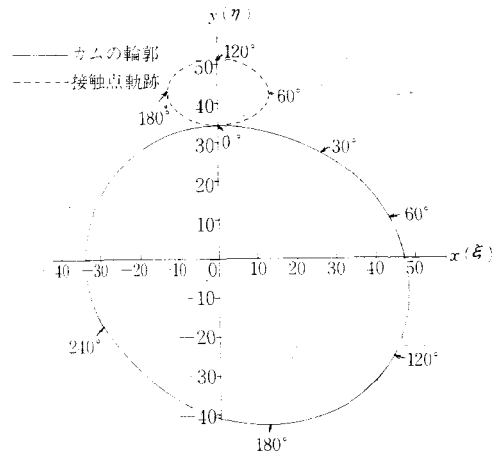
$$\tan\phi = \frac{\lambda \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) - \cos\varphi_1}{\sin\varphi_1} \dots\dots\dots(23)$$

を得る。ただし φ_1 は次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} AC \text{ 間: } \varphi_1 &= \frac{\Psi}{2} \left(1 - \cos\frac{180^\circ}{\theta_0} \theta\right) + \varphi_0 \\ DF \text{ 間: } \varphi_1 &= \frac{\Psi}{2} \left\{1 + \cos\frac{180^\circ}{\theta_r} (\theta - \theta_0 - \theta_d)\right\} + \varphi_0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

ただし φ_0 は図14において従動節が最下位の状態にある場合の角であり、 ΔO_1MP に余弦定理を用いると

$$\varphi_0 = \cos^{-1} \frac{1 + \lambda^2 - \left(\mu + \frac{r}{d}\right)^2}{2\lambda} \dots\dots\dots(25)$$



$\alpha = 90^\circ, R_0 = 34, H = 17$ 単位mm

図13 カムの輪郭と接触点軌跡

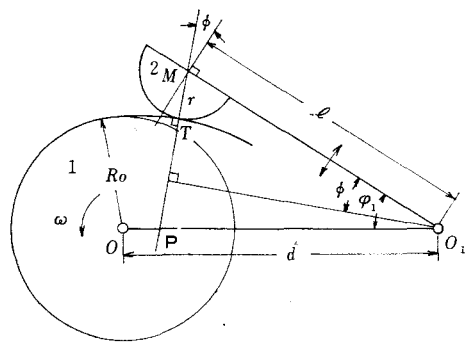


図14 揺動円弧従動節に対する板カム

となる。ここで $\mu = \frac{R_0}{d}$ とする。

6・2 カムの曲率半径並びにカムと従動節の滑り率

前報²⁾よりナイフエッジ揺動従動節のカムの曲率半径 ρ_M は次式で示される。

$$\frac{\rho_M}{d} = \frac{\left\{1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right) \cos\phi_1\right\}^{\frac{3}{2}}}{1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right)^3 - \lambda \frac{d^2\phi_1}{d\theta^2} \sin\phi_1 - \lambda \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right) \left(2 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right) \cos\phi_1} \quad (26)$$

ただし $\lambda = \frac{l}{d}$, $\phi_1 = \phi + \phi_0$, ϕ_0 は従動節が基礎円に接するときの角である。円弧従動節の場合のカムの輪郭の曲率半径は $\frac{\rho_r}{d} = \frac{\rho_M}{d} - \frac{r}{d}$ であるので、式(26)は式(8), $\frac{\rho_r}{d}$ は式(9)を満足せねばならない従動節の円弧の中心 M から瞬間中心 P までの長さ MP は前報²⁾より次式で示される。

$$\frac{MP}{d} = \frac{\left\{1 + \lambda^2 \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right)^2 - 2\lambda \left(1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}\right) \cos\phi_1\right\}^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{d\phi_1}{d\theta}} \quad (27)$$

次にカムと従動節の滑り率 σ_1, σ_2 は式(10), (11)の分母, 分子を d で割った式

$$\sigma_1 = \frac{\frac{\rho_r}{d} + \frac{r}{d}}{\frac{\rho_r}{d}} \cdot \frac{\frac{TP}{d}}{\frac{r}{d} + \frac{TP}{d}} = \frac{\frac{\rho_M}{d}}{\frac{\rho_M}{d} - \frac{r}{d}} \cdot \frac{\frac{MP}{d}}{\frac{MP}{d} - \frac{r}{d}} \quad (28)$$

$$\sigma_2 = \frac{\frac{\rho_r}{d} + \frac{r}{d}}{\frac{r}{d}} \cdot \frac{\frac{TP}{d}}{\frac{\rho_r}{d} - \frac{TP}{d}} = \frac{\frac{\rho_M}{d}}{\frac{r}{d}} \cdot \frac{\frac{MP}{d}}{\frac{\rho_M}{d} - \frac{MP}{d}}$$

を用いる。

6・3 単弦運動カムの数値計算

(1) 押進め角

いま $\lambda = 0.9, \lambda = 1$ の各々について、 $\mu = 0.5$ とし $\frac{r}{d} = 0.1, 0.3$ と変化させた場合のカムの回転角に対する ϕ の変化を、図15に示す。図より λ が大きいほど行き行程の最大押進め角が大きくなり、戻り行程では小さいことに注目されたい。押進め角が問題になるのは行き行程であるので、各 $\frac{r}{d}$, λ で μ を変化させた場合の ϕ, ϕ_{max} の値を図16に示すが、 ϕ_{max} を指定して μ の値を知ると共に図1における A 点の ϕ も知ることができる。

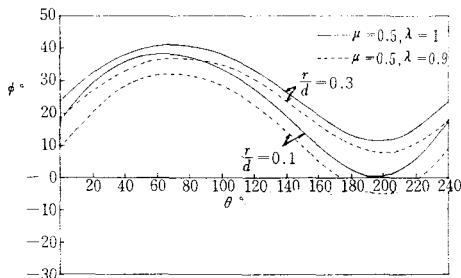


図15 揺動円弧従動節の押進め角

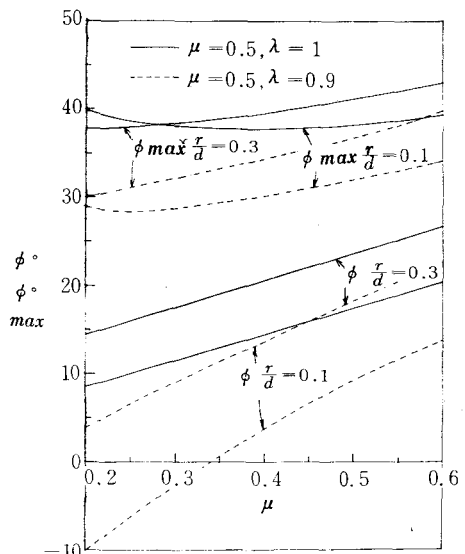


図16 μ の変化による始点 A の ϕ と行き行程 (AC 間) の ϕ_{max}

(2) カムの曲率半径と滑り率

上記した同じ条件で $\frac{\rho_M}{d}$ を求め図17に示すが、 λ を変化させたとき戻り行程の終り付近で $\frac{\rho_M}{d}$ の値が多少異なる程度である。ここで $\lambda=1$ とし $\mu, \frac{r}{d}$ を変化させたとき $(\mu + \frac{r}{d}) < 0.4$ となる場合は、 $\frac{\rho_M}{d} < 0$ となるから式(9)を満足せねばならぬことに注意を要する。

図18に $\mu=0.5$ を指定し $\frac{r}{d}, \lambda$ を変えた場合の滑り率を示すが、カムの滑り率 σ_1 はほとんど変化せず、従動節の滑り率はカムの回転中2カ所で無限大を生じ、 λ の値によってその位置が少し増すのみであり、従動節の摩擦が大きいことを示している。

いま従動節上の滑り率 σ_2 を図19に示しておく。

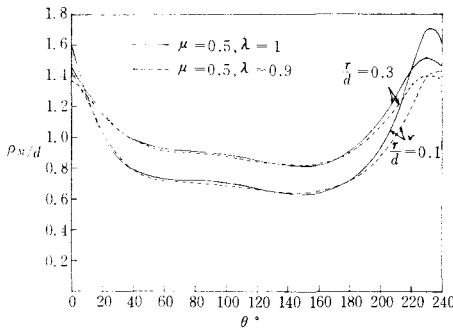


図17 μ を指定し $\frac{r}{d}$ を変化させた場合の $\frac{\rho_M}{d}$

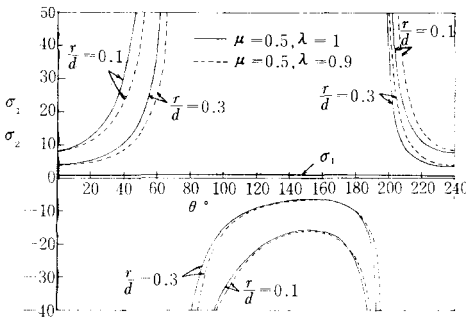


図18 揺動円弧従動節の単弦運動カムに対する滑り率

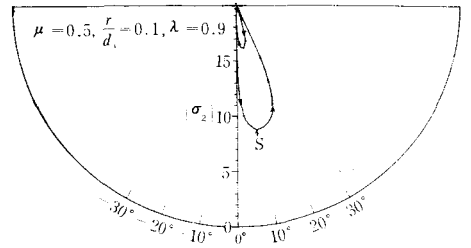


図19 円弧従動節上の滑り率

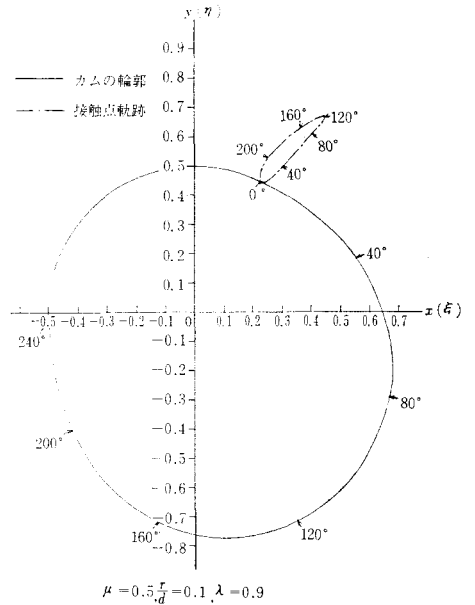


図20 揺動円弧従動節に対するカムの輪郭と接点軌跡

(3) カムの輪郭と接点軌跡

いま $\mu=0.5, \lambda=0.9, \frac{r}{d}=0.1, \theta_0=\theta_r=120^\circ$ とした場合について計算するために前報²⁾の理論で求めた次式を用いる。

$$\text{カムの輪郭} \quad \frac{x_T}{d} = -\frac{\xi_T}{d} \cos\theta + \frac{\eta_T}{d} \sin\theta, \quad \frac{y_T}{d} = \frac{\eta_T}{d} \cos\theta - \frac{\xi_T}{d} \sin\theta \dots\dots\dots(29)$$

$$\text{接点軌跡} \quad \frac{\xi_T}{d} = \frac{\frac{d\varphi_1}{d\theta} + (1-\varepsilon) \left\{ 1 - \lambda \cos\varphi_1 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right) \right\}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}}, \quad \frac{\eta_T}{d} = \lambda(1-\varepsilon) \sin\varphi_1 \dots\dots\dots(30)$$

ただし $\varepsilon = \frac{\frac{r}{d}}{\frac{MP}{d}}$ とする。式(29), (30)に上記データを代入し得られた結果を図20に示す。

§ 7 揺動従動節に平板を使用する場合

7・1 カムの曲率半径と滑り率

図21において従動節が最下点に来たときの揺動角 $\varphi_1 = \varphi_0$ とすれば,

$$\varphi_0 = \sin^{-1}\left(\mu + \frac{f}{d}\right) \dots\dots\dots(31)$$

で与えられる。

図に示すように、揺動中心 O_1 からのかたよりを f とし、接触点 T におけるカムと従動節の共通法線がカムの中心 O と従動節を結ぶ直線と交わる点 P はカムと従動節の瞬間中心であるから

$\frac{OP}{O_1P} = \frac{d\varphi_1}{d\theta}$, $OP + O_1P = d$ なる関係が成立するので、
 $OP = d \frac{d\varphi_1}{d\theta} / \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)$, $O_1P = d / \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)$ となる。

いま T 点の XY 座標 X_T, Y_T は

$$X_T = -f, \quad Y_T = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos\varphi_1$$

XY 座標の T 点を xy 座標に変換すると

$$\left. \begin{aligned} x_T &= (X_T - X_0)\sin(\theta + \varphi_1) + (Y_0 - Y_T)\cos(\theta + \varphi_1) \\ y_T &= (X_T - X_0)\cos(\theta + \varphi_1) - (Y_0 - Y_T)\sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(32)$$

図から、 $X_T - X_0 = d \sin\varphi_1 - f$, $Y_0 - Y_T = \frac{d \cdot \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos\varphi_1$ だから、式(32)は

$$\left. \begin{aligned} x_T &= (d \sin\varphi_1 - f)\sin(\theta + \varphi_1) + \frac{d \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos\varphi_1 \cos(\theta + \varphi_1) \\ y_T &= (d \sin\varphi_1 - f)\cos(\theta + \varphi_1) - \frac{d \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos\varphi_1 \sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(33)$$

となる。ここで $\frac{d \cdot \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} = P$ とおき、式(33)を微分すると

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx_T}{d\theta} &= \left\{ (d \sin\varphi_1 - f) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) + \frac{dP}{d\theta} \cos\varphi_1 - P \sin\varphi_1 \frac{d\varphi_1}{d\theta} \right\} \cos(\theta + \varphi_1) \\ \frac{dy_T}{d\theta} &= - \left\{ (d \sin\varphi_1 - f) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) - P \sin\varphi_1 \frac{d\varphi_1}{d\theta} + \frac{dP}{d\theta} \cos\varphi_1 \right\} \sin(\theta + \varphi_1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(34)$$

$(d \sin\varphi_1 - f) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) + \frac{dP}{d\theta} \cos\varphi_1 - P \sin\varphi_1 \frac{d\varphi_1}{d\theta} = A$ と置き、式(34)を微分すると

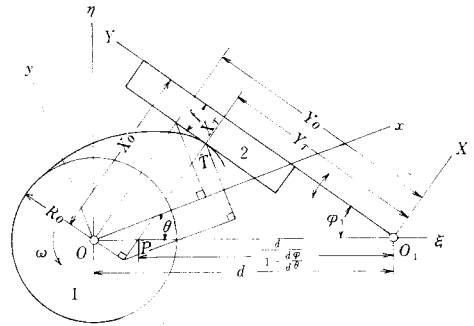


図21 揺動平板従動節に対する板カム

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2 x_T}{d\theta^2} &= \frac{dA}{d\theta} \cos(\theta + \varphi_1) - A \sin(\theta + \varphi_1) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) \\ \frac{d^2 y_T}{d\theta^2} &= - \left\{ \frac{dA}{d\theta} \sin(\theta + \varphi_1) + A \cos(\theta + \varphi_1) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (35)$$

を得る。

式(34), (35)を前報¹⁾の $\rho = \frac{\left\{ \left(\frac{dx}{d\theta}\right)^2 + \left(\frac{dy}{d\theta}\right)^2 \right\}^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2 x}{d\theta^2} \cdot \frac{dy}{d\theta} - \frac{dx}{d\theta} \cdot \frac{d^2 y}{d\theta^2}}$ に代入し両辺を d で割ると次式を得る。

$$\frac{\rho_T}{d} = \frac{\left(\sin\varphi_1 - \frac{f}{d}\right) \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)^3 + \frac{d^2 \varphi_1}{d\theta^2} \cos\varphi_1 - \left(\frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)^2 \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right) \sin\varphi_1}{\left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)^3} \dots\dots\dots (36)$$

また図より線分 PT は $PT = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \sin\varphi_1 - f$ で与えられ両辺を d で割ると

$$\frac{PT}{d} = \frac{\sin\varphi_1 - \frac{f}{d} \left(1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}\right)}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \dots\dots\dots (37)$$

となる。

いま従動節は平板であるので、式(10), (11)において $r = \infty$ とすれば滑り率 σ_1, σ_2 は

$$\sigma_1 = \frac{PT}{\rho_T}, \quad \sigma_2 = \frac{PT}{\rho_T - PT} \dots\dots\dots (38)$$

式(38)の分母, 分子を d で割れば

$$\sigma_1 = \frac{\frac{PT}{d}}{\frac{\rho_T}{d}}, \quad \sigma_2 = \frac{\frac{PT}{d}}{\frac{\rho_T}{d} - \frac{PT}{d}} \dots\dots\dots (39)$$

を得る。また図21より平板上に生ずる滑り率 σ_2 の位置 $Y_T = s$ は次式で与えられる。

$$s = \frac{d}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos\varphi_1 \dots\dots\dots (40)$$

7・2 単弦運動カムの数値計算

(1) カムの曲率半径と滑り率

図22に μ を指定し $\frac{f}{d}$ を変化させたときの $\frac{\rho_T}{d}$ の変化を示すが、戻り行程において $\frac{\rho_T}{d}$ は最小値を取り、 $\frac{f}{d}$, μ を変化させた場合 $\frac{\rho_T}{d} < 0$ とならぬようにせねばならない。

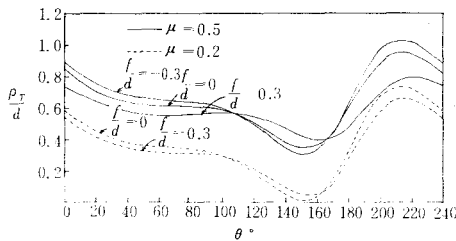


図22 μ を指定し $\frac{f}{d}$ を変化させた場合の $\frac{\rho_T}{d}$

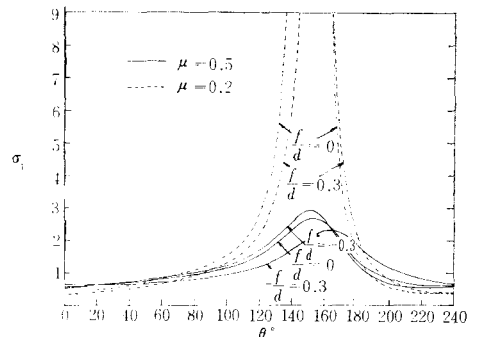


図23 単弦運動カムの揺動平板従動節 に対する滑り率

$\mu=0.2$ としたとき $\frac{f}{d}=0$ 付近が単弦カムに平板従動節を使用し得る限界であることがわかる。

図23にカムの平板従動節に対する滑り率 σ_1 を示すが、 $\mu=0.2$ 、 $\frac{f}{d}=0$ のように曲率半径が小さいと、滑り率 σ_1 が大きな値となり、カム摩耗が著しく耐久性に欠けるので $\frac{\rho_{rmin}}{d}$ は可能な限り大きく取るべきである。

次に従動節のカムに対する滑り率 σ_2 を図24に示すがカムの回転中2カ所で滑り率無限大を生じ、従動節の摩耗は避けられない。

いま $\mu=0.5$ を指定し $\frac{f}{d}$ を変化させたときの平板従動節上の滑り率 σ_2 を図25に示しておく。

(2) カムの輪郭と接触点軌跡

カムの輪郭は式(33)、接触点軌跡は式(33)を ξ, η 座標に変換した次式

$$\left. \begin{aligned} \xi_T &= (d \sin \varphi_1 - f) \sin \varphi_1 + \frac{d \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos^2 \varphi_1 \\ \eta_T &= (d \sin \varphi_1 - f) \cos \varphi_1 - \frac{d \frac{d\varphi_1}{d\theta}}{1 + \frac{d\varphi_1}{d\theta}} \cos \varphi_1 \sin \varphi_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (41)$$

で与えられるので $\mu=0.5$ 、 $\frac{f}{d}=0$ とした場合のカムの輪郭、接触点軌跡を図26に示す。

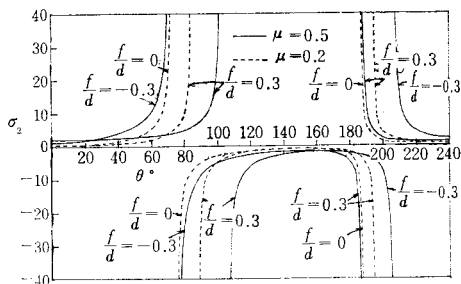


図24 揺動平板従動節の単弦運動カムに対する滑り率

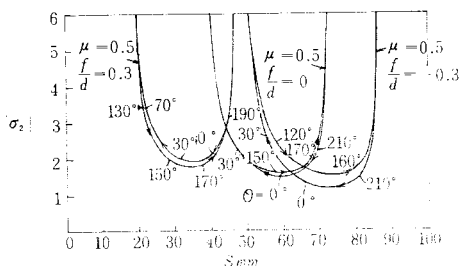


図25 揺動平板従動節上の滑り率

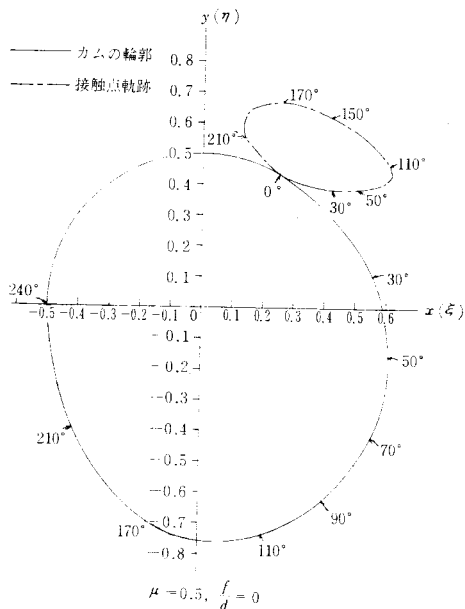


図26 揺動平板従動節に対するカムの輪郭と接触点軌跡

§ 8 結 論

以上により従動節を単弦運動させる板カムに対して、従動節として往復動あるいは揺動する凸面円弧並びに平板を用いた場合の板カムの輪郭と接触点軌跡を直角座標で示し、カムの曲率半径を求めてカムと従動節の滑り率を求めた結果次の結論が得られた。

(1)カムの滑り率 σ_1 は、一般に従動節の滑り率 σ_2 に比して低く、また従動節の円弧半径の選択により低くする事が可能である。(2)従動節の滑り率 σ_2 は、両行程中必ず無限大なる個所が存在し、カムの寸法を変化させても有限値にすることができない。(3)単弦運動カムに円弧従動節を用いる場合は、ローラを使用するか、従動節を容易に交換できるようにする必要がある。

カムの1回転により従動節は、往きと戻りで2度こすられるので往きと戻りの滑り率を平均した平均滑り率を考慮する必要がある。

また従動節上の狭い範囲において、滑り率が非常に高くなる場合と、広い範囲において滑り率が高くなる場合では従動節の摩耗が異なり、後者の場合の摩耗が大であると思われるのでカムの寸法を変化させて、高い滑り率の範囲をできるだけ小にする工夫が考えられるが、これについては次報に譲る。

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，49～50，55～56頁，1970
- 2) 糸島寛典：揺動等加速度カムの滑り率の研究（第1報），呉高専研究報告，第7巻，第1号，45～57頁，1971.
- 3) 小川潔：機械学会論文集，21巻，106号，397頁，1955
- 4) 窪田雅男：非円形歯車に関する研究，機械試験所報告第30号，86頁，1959
- 5) 中井英一：実用カムの設計法，62，55～100頁，日刊工業新聞社
- 6) 小川潔：リンク，カムの設計，234～271頁，オーム社

(昭和46年7月31日受付)

ボッシュ排気濃度についての理論的考察

(機械工学科) 久保田 勲

A Theoretical Study on Smoke Density of Diesel Engine

Isao KUBOTA

On measuring of Diesel smoke, the correlation between Bosch smokemeter reading and carbon concentration is not linear but shows a non-linear characteristic curve, on which not a few experimental studies have been reported.

Why it results in such a special curve we here discuss theoretically from the side of probability theory, setting a few assumptions.

§ 1 緒 言

ディーゼル機関の排気濃度を、ボッシュ型汚紙式濃度計を用いて測定する場合、その実測値は排気ガス中のカーボンの重量濃度に正比例せず、特殊な特性曲線をえがくことは、諸文献に既に発表されているが、では何故そのような特性を示すかを、若干の仮定を設けて理論的に追究してみたので、以下その内容を報告する。

§ 2 理論的考察

排気濃度を論ずるにあたって、従来専ら用いられるものに次式がある：

$$S = 10(1 - e^{-kx}) \dots \dots \dots (1)$$

ただし S : ボッシュ濃度
 x : 重量濃度
 k : 常数

しかしこの式が成立するためには、「普通の均質な半透明物質の場合と同じ吸収理論式が適用され得る」という前提のみならず、更に「測定系の光の吸収係数が、カーボンの重量濃度 x に比例する」すなわち「光軸の方向においてカーボン粒子の重なりはない」という些か無理な仮定が前提となっている。実際には、排気ガスは均質連続な半透明体とは全く異なり、個々のカーボン粒子が光束をさえぎる現象を考えると、普通の吸収理論の適用は無理であり、また排気ガス中のカーボン粒子の数が多くなれば、当然光軸方向の重なりは無視できなくなり、(1)式は実状から離れてくると見るべきであろう。

そこで、吸収理論とは全く別の立場から、カーボン粒子の不連続分布を基礎とし、かつこの重なり現象を考慮して、 S と x との関係を確認論的に誘導してみることにする。

内燃機関の排気ガスは、透明なガスの中に、微小カーボン粒子がランダムに浮遊している状態のものと見做されるが、いま、図1に示すように、汚紙面積を断面とする排気ガス柱を想定すると、このガス柱が汚紙を通過することにより、浮遊カーボンが次々と汚紙面に吸着されて濃度試料が得られると考えてよい。

取扱いを簡単にするため、次の仮定を設ける：

(1) カーボン粒子はすべて同一の形状を有し、かつ大きさは均一とする。

- (2) カーボン粒子は完全黒体とする。
- (3) 単位容積に相当する微小長さ Δl 内では、カーボン粒子の柱軸方向の重なりはないものとし、かつ完全にランダムに分布しているものとする。
- (4) カーボン粒子は濾紙面に 100% 吸着され、濾紙を通過する粒子はないものとする。

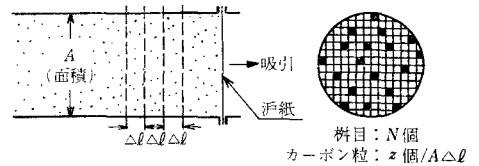


図 1

濃度試料は、前述したように、濾紙面積を A とすると単位容積 $= A \cdot \Delta l$ の体積中に含まれる z 個のカーボン粒子が、次々と濾紙面に吸着されてゆくものと考えてよいから、いま、濾紙面積 A が N 個の柵目から構成され、その柵目 1 個がカーボン粒子 1 個で満されるものと仮定し、この濾紙上に毎回 z 個のカーボン粒子を無作為に投入する問題として取扱ってよい。

濾紙上に毎回 z 個づつカーボン粒子を投入する場合、カーボン粒子がどのような特性曲線をえがいて重なってゆくかを検討してみる。というのは、ボッシュ式濃度計で排気濃度を測定する場合、その濃度を決定するのはカーボン粒子の絶対数ではなく、濾紙上へのカーボン粒子の投影面積の総計であり、重なりがあるときは、仮に k 個の粒子が重なったとすると、粒子の総数を n 個とすれば、 $(n-k)$ 個の粒子の投影面積が濃度測定値を決定すると考えることができる。そうすれば、 z 個づつ順次投入してゆけば次のような結果となる。ただし、この際、カーボン粒子が濾紙面に落ちたときは、必ず柵目の中心に落下し、完全に柵目を塞ぐものと仮定する。

(1) 第 1 回目の投入

N 個の柵目のうち、必ず z 個の柵目がカーボン粒子で塞がれ、この場合の重り個数はゼロである。すなわち

$$k_1 = 0$$

(2) 第 2 回目の投入

第 1 回目の投入により柵目を塞いだ z 個の粒子と、第 2 回目投入される z 個の粒子とが、 k_2 個だけ重なるものとすれば、その確立は次式で表わされる：

$$P_2 = \frac{N-z+k_1 C z - k_2}{N C z} \cdot z - k_1 C k_2$$

したがって、投影面積の総計 F_2 は、カーボン粒子 1 個の投影面積を a とすれば

$$F_2 = (2z - k_1 - k_2) a$$

(3) 第 3 回目の投入

$(2z - k_1 - k_2)$ 個の付着粒子と、第 3 回目投入の z 個が、 k_3 個だけ重なる とすれば、その確率は

$$P_3 = \frac{N-2z+k_1+k_2 C z - k_3}{N C z} \cdot z - k_1 - k_2 C k_3$$

$$F_3 = (3z - k_1 - k_2 - k_3) \cdot a$$

(4) 第 n 回目の投入

全く同様にして、第 n 回目の投入で k_n 個が重なる とすれば、

$$P_n = \frac{N - (n-1)z + \sum_{i=1}^{n-1} k_i C z - k_n}{N C z} \cdot (n-1)z - \sum_{i=1}^{n-1} k_i C k_n$$

$$= \frac{(N - (n-1)z + \sum_{i=1}^{n-1} k_i)! \{(n-1)z - \sum_{i=1}^{n-1} k_i\}!}{(z - k_n)! (N - nz + \sum_{i=1}^n k_i)! k_n! \{(n-1)z - \sum_{i=1}^n k_i\}!} \cdot \frac{1}{N C z} \dots \dots \dots (2)$$

$$F_n = (nz - \sum_1^n k_i) \cdot a \dots \dots \dots (3)$$

濾紙へのカーボン粒子の吸着は、上記の確率が最大となるような状態、すなわち $P_n = P_{nmax}$ に相当する $k_{n(max)}$ 個の重なりを以て行われるとすれば、この時の投影面積 $F_{n(max)}$ が濃度測定値を決定することになる。

k_n に色々な整数値を与えて P_n を計算し、その中から P_{nmax} を見出し、それに相当する $k_{n(max)}$ の値から $F_{n(max)}$ を求め、これを n に対してプロットすれば、投入回数に対する投影面積の変化特性、

すなわち、カーボンの重量濃度 x (mg/l) とポッシュ濃度 S $\left(= \frac{I_0 - I}{I_0} = \frac{F_{n(max)}}{N \cdot a} = \frac{nz - \sum_1^n k_i(max)}{N} \right)$

ただし I_0 = 入射光量, I = 反射光量) との関係曲線がもとめられる筈である。

(2) 式の分子は絶えず定数となって定まってくるし、 $N C_z$ もまた定数であるから、 P_n が最大となるためには、(2)式の分母、すなわち

$$y = (z - k_n)! (N - nz + \sum_1^n k_i)! k_n! \{(n-1)z - \sum_1^n k_i\}! \dots \dots \dots (4)$$

の最小値を求めればよい。

Stirling の式を適用すれば、(4)式は

$$y = (z - k_n) z^{-k_n + \frac{1}{2}} \cdot e^{-z - k_n} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot (N - nz + \sum_1^n k_i)^{N - nz + \sum_1^n k_i + \frac{1}{2}} \cdot e^{-(N - nz + \sum_1^n k_i)} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot k_n^{k_n + \frac{1}{2}} \cdot e^{-k_n} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \{(n-1)z - \sum_1^n k_i\}^{(n-1)z - \sum_1^n k_i + \frac{1}{2}} \cdot e^{-\{(n-1)z - \sum_1^n k_i\}} \cdot \sqrt{2\pi} \dots \dots \dots (5)$$

対数をとって整理すれば

$$\ln y = \left(z - k_n + \frac{1}{2} \right) \ln(z - k_n) + \left(N - nz + \sum_1^n k_i + \frac{1}{2} \right) \ln(N - nz + \sum_1^n k_i) + \left(k_n + \frac{1}{2} \right) \ln k_n + \left\{ (n-1)z - \sum_1^n k_i + \frac{1}{2} \right\} \ln \{(n-1)z - \sum_1^n k_i\} + 4 \ln \sqrt{2\pi} - N \dots \dots \dots (6)$$

$z - k_n = 0$ および $k_n = 0$ なる点以外では

$$\frac{\partial(\ln y)}{\partial k_n} = 0$$

となるような k_n の値をもとめると、そのときの y が極小値を、つまり P_n が極大値をとることになる。

$$\sum_1^n k_i = \sum_1^{n-1} k_i + k_n \quad \text{より} \quad \frac{\partial \sum_1^n k_i}{\partial k_n} = 1$$

したがって次式が得られる：

$$\ln \left[\frac{(N - nz + \sum_1^n k_i + k_n) \cdot k_n}{(z - k_n) \{(n-1)z - \sum_1^{n-1} k_i - k_n\}} \right] - \frac{1}{2(z - k_n)} + \frac{1}{2k_n} + \frac{1}{2(N - nz + \sum_1^{n-1} k_i + k_n)} - \frac{1}{2\{(n-1)z - \sum_1^{n-1} k_i - k_n\}} = 0 \dots \dots \dots (7)$$

(7)式において、 $n=1, 2, 3, \dots$ に相当する k_n をもとめてゆけば、(3)式より F_n が、したがって理論濃度がもとまることになる。

一例として、 N と z の関係を次のように組み合せてえがいた曲線を図2に示す：

- ① $\begin{cases} N=100 \\ z=30 \end{cases}$ ② $\begin{cases} N=100 \\ z=10 \end{cases}$ ③ $\begin{cases} N=100 \\ z=5 \end{cases}$

ただし、この場合前述のように、 $S = \frac{\{nz - \sum_1^n k_{i(max)}\}}{N} \%$ で表わされる。

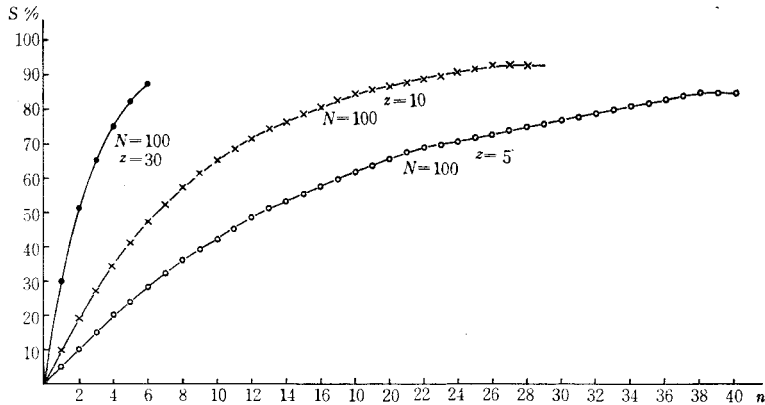


図 2

§ 3 実験値との比較

ボッシュ濃度 S と、カーボンの重量濃度 x (mg/l) との関係については、ボッシュ社の実験データ⁽⁴⁾がよく知られている。すなわち、図3に示すように、 x と S とは対数曲線的な関係を示している。 x の測定にどのような方法を用いた

かは明確でないが、恐らく可成り厄介な装置と労力を要すると思われるので、多少ラフではあるが、次の簡便法を用いて、 S と x との関係を改めて実験的に調べてみた。すなわち、機関を一定条件で運転している状態で、排気管の一定場所から排気採取する。このとき、一枚の濾紙について、採取回数を種々に変えて、濃度試料をつくると、 n 回反覆採取の試料には、1回採取の濾紙に吸着されたカーボン量 G_0 の n 倍、すなわち $n \cdot G_0$ が吸着されると考えてよいであろう。厳密に言えば、濾紙の透過率が反覆回数と共に変化してゆくの⁽²⁾、多少の誤差はあるが、 n が大きくなれば実用上問題ないと考えられる。

このようにしてとった各試料の濃度測定値 S と採取回数 n との関係を、運転条件別にまとめたものが表1で、これをプロットしたものが図4である。

F. P. Malschaert もこれに似た実験報告を出しており⁽³⁾、図5に示すように、種々の値の S を有す

Fig. 1. Exhaust smoke in terms of milligrams of solids per litre of gas, and blackness on Bosch scale 0 to 100%
A: Milligrams of solids per litre of gas
B: Blackness-Bosch scale 0 to 100%

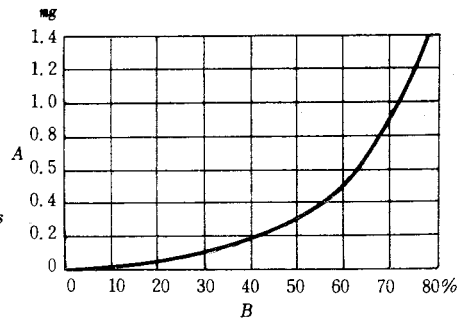


図 3

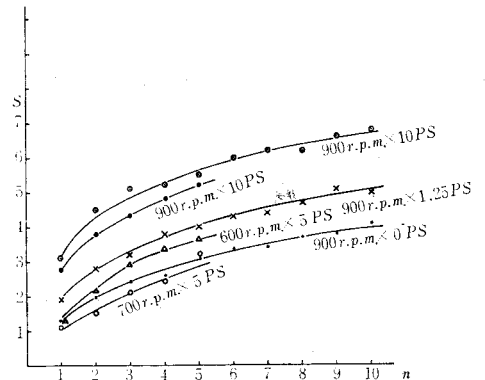


図 4

表 1

回転数×出力 (r.p.m.) (PS)	項目	採 取 回 数									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
900 × 0	S	1.3	2.0	2.4	2.6	3.1	3.4	3.4	3.7	3.8	4.1
	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
900 × 1.25	S	1.9	2.8	3.2	3.8	4.0	4.3	4.4	4.7	5.1	5.0
	n	2.25	4.5	6.75	9.0	11.25	13.5	15.75	18.0	20.25	22.5
900 × 10	S	3.1	4.5	5.1	5.2	5.5	6.0	6.2	6.2	6.6	6.8
	n	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
900 × 10	S	2.8	3.8	4.3	4.9	5.2					
	n	4.5	9	13.5	18	22.5					
600 × 5	S	1.3	2.2	2.95	3.4	3.65					
	n	1.63	3.25	4.88	6.5	8.13					
700 × 5	S	1.1	1.5	2.1	2.4	3.2					
	n	0.8	1.6	2.4	3.2	4.0					

る排気ガスについてSとnとの関係をもとめている。

いま、試みに図4を片対数座標に直してみると図6を得る。これによればSとnとの関係は、低負荷領域を除けば、運転条件の如何に拘らずほぼ傾斜の等しい直線群で表わされるようである。しかるに、図4の採取回数nは、前述したように重量濃度比を表わすことにもなるので、各運転条件についての濃度比を共通な濃度比尺度に換算して、それに対してSをプロットすれば、一つの連続した特性曲線となつてつながる筈である。今の場合、表1において、仮に900r.p.m.×0PSの濃度比を基準として、例えばこの中のS=3.8、採取回数=9の値を、

900r.p.m.×1.25PSのデータの中と同数値にあてはめ、採取回数を共通尺度に換算する。このようにして得た換算採取回数が、表1中のnである。Sの共通値のないものは、適宜、内挿法および外挿法を用いて換算した。これをプロットしたものが図7の曲線①である。

F.P. Malschaertの図5を、同じ要領でS=3.8を基準として書き直すと曲線②を得る。曲線③は図

Fig. 2. Cumulative effect of absorption by filter paper S. & S.No.604
 A: Blackness-Bosch scale 0 to 100%
 B: Number of successively filtered volumes
 C: Basic value

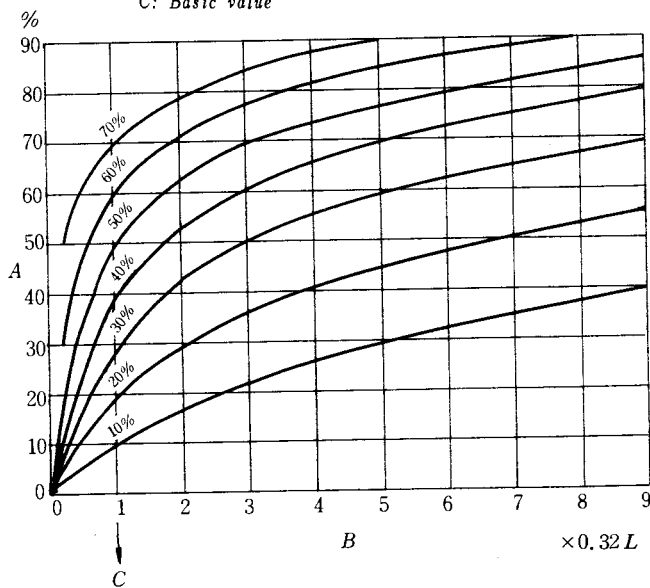


図 5

3を記入したものであるが、各曲線の特性は何れもよく一致しており、これが S と x との特性との実際的な関係を表わすことは間違いないであろう。

さて、これを先に導びき出した理論特性曲線と比較してみると、図7中の曲線④⑤⑥がそれぞれあるが、曲線の傾向としては似ているけれども、ただ傾斜が大巾に異り、実測曲線の傾斜は、理論曲線の約 $\frac{1}{2}$ であることがわかる。すでに報告したように④、滷紙を透過するカーボン粒子が可成りあることから、これが原因かとも考えられ、粗い滷紙と細かい滷紙とで比較実験を行なったが、予想に反して両者の傾斜の差は全然認められなかった。原因は他にあると思われる。

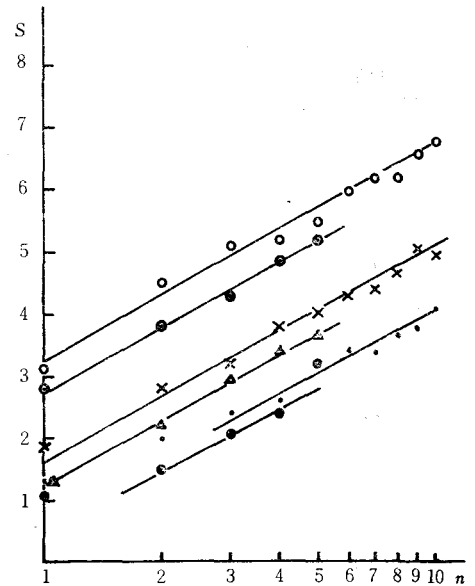


図 6

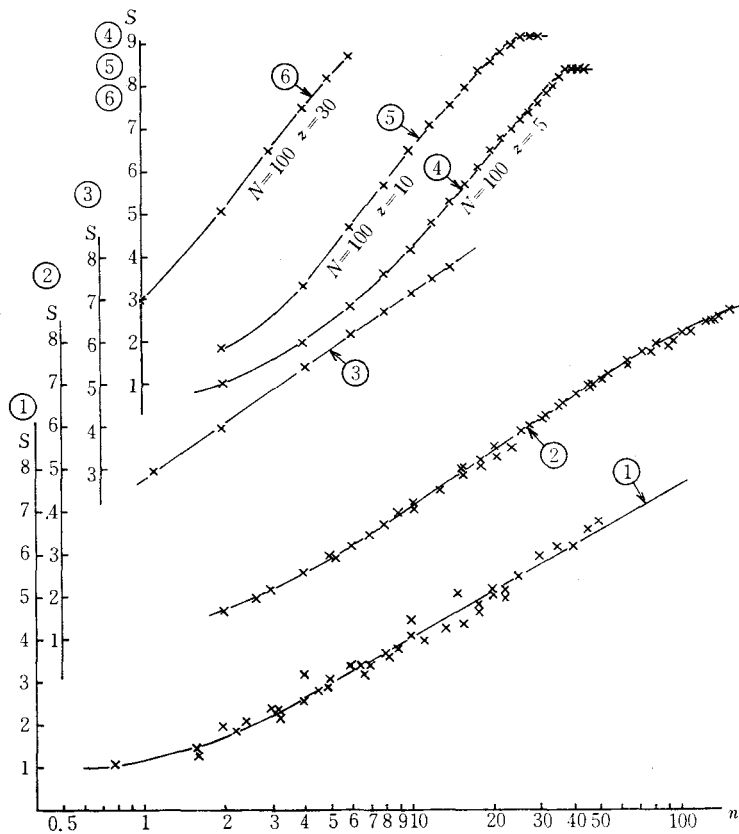


図 7

§ 4 理論式の修正

そこで、前述の理論をもう一度検討してみると、「カーボン粒子は、その中心が汙紙の柵目の中心と一致するように汙紙に吸着される」との仮定のもとに論じて来たが、実際には、新しく投入されたカーボン粒子が、柵目に付着した粒子と重なる重なり方は、全然重ならない位置（重なり面積 $f=0\%$ ）から完全に重なる位置（ $f=100\%$ ）まで種々あり、図 8 において、既付着カーボン粒の投影円を O 、新投入カーボン粒の投影円を O' 、各円の半径を r 、両円の中心距離を x 、重なった円弧角を 2α とすれば、次の関係が得られる：

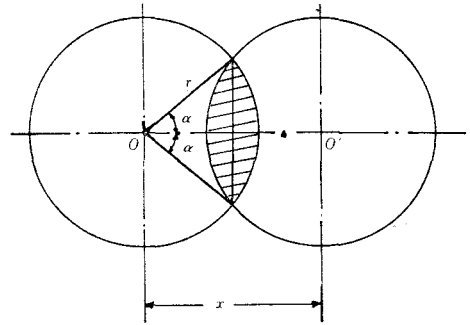


図 8

重なり面積を f とすると

$$f = r^2(2\alpha - \sin 2\alpha)$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{2r} \quad \therefore dx = -2r \sin \alpha \cdot d\alpha$$

あらゆる重り方の生ずる確率はそれぞれ相等しいから、無限大の試行をくりかへしたときの平均重り面積 f_m は

$$f_m = \frac{\int_0^{2r} dx}{2r} = \frac{-4r^3 \int_{\frac{\pi}{2}}^0 (\alpha \cdot \sin \alpha - \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha) d\alpha}{2r} = \frac{4}{3} r^2 \dots\dots\dots(8)$$

したがって、カーボン粒の投影面積 πr^2 に対しては $\frac{4}{3} r^2 / \pi r^2 = \frac{4}{3\pi} = 0.425$ となる。すなわち、第 2 節の理論で、 z 個のカーボン粒のうち、 k 個が重なるとした場合、空白の柵目は $(z-k)\pi r^2$ だけ塞がると考えたが、実際は $(0.425)(z-k)\pi r^2$ の割で塞がってゆくと考えるべきである。同じく、 k 個の粒子は完全に重なって、空白を埋める要素はゼロと考えたが、実際には $(1-0.425)k\pi r^2$ だけが空白部にはみ出し、結局、濃度増加を決める投影面積の増加は

$$(1-0.425)k\pi r^2 + 0.425(z-k)\pi r^2 = \{0.575k + 0.425(z-k)\} \pi r^2 = \frac{1}{2} z \pi r^2 \dots\dots\dots(9)$$

(9)式は、投入粒子が、既に汙紙に付着したカーボン粒子に隣接して落ちる確率が相当に大きい範囲内での平均的な傾向を表わすと考えるべきで、初回投入時および k が小さい範囲内では $(z - \text{汙紙透過粒子数})$ が増加度となるであろうし、 k が z に近くなれば、増加度は非常に小さくなり、結局図 7 の実測曲線①②③の特性を示すと考えられる。

§ 5 結 言

ディーゼル機関の排気は、透明なガスの中に不連続的にカーボン粒子が混在しているものであるから、普通の半透明の連続物質に適用される光の吸収理論式は適応できないと考えられ、本報においては、確率論的な方法を用いて排気濃度特性を論じてみたが、排気濃度に関する諸現象の解明の一助となれば幸いである。

参考文献

- (1) H. Stoll und H. Bauer : Rauchgasmessung bei Dieselmotoren, MTZ 18 (1957), Nr. 5, S. 127
- (2) (4)久保田：「ボッシュ排気濃度と汙紙透過率との関係について」, 呉工業高等専門学校研究報告, 第 6 巻第 1 号, 17~23頁
- (3) F.P. Malschaert : Diesel exhaust smoke density measurement, Mech. Power, 58-689 (1962) 201

(昭和46年 7 月 31 日 受付)

ディーゼル機関燃料噴射時期測定装置の試作

(機械工学科) 浜 田 憲 治

Trial Construction of Injection Timing Tester for Diesel Engine

Kenji HAMADA

One of the most predominating factors over the combustion phenomena of a diesel engine is the point at which the fuel injection begins.

The measuring methods of injection timing are classified into both static and dynamic ones.

In the former, for example, slowly turning a crankshaft after taking out a delivery valve of an injection pump, we observe the moment the fuel-flow through the delivery passage stops.

In the latter we observe the movement of the injection nozzle needle under a running state, using a contact-breaker or photo tube, with a stroboscope or synchroscope.

The above-mentioned methods, however, have a common demerit that no small error is unavoidable owing to excessive attached parts and the others.

In this paper we report on an original dynamic timing-tester to which injection pressure and a direct fuel spray are applied, and the experimental results applied.

§ 1 緒 言

ディーゼル機関の燃焼及び性能を云々する場合、燃料噴射時期を明確にする必要がある。従来行なわれてきた噴射時期測定方法には静的及び動的測定方法がある。前者では燃料噴射ポンプのデリバリバルブをはずして、クランク軸をゆっくり回転し、この部分の燃料の流出が止まる時期を観測する方法、後者では噴射ノズルのニードルの動き始めの時期を、ノズルに指示棒を取り付け、指示棒の動きをコンタクトブレーカ又は光電管で電気信号に変え、ストロボライトやシンクロスコープで測定する方法等が一般に知られている。以上の方法では読み取り時の個人差や、ノズルに指示棒等をつけることによりノズルの力学系が本来のものとなり正しい噴射時期を示さないなどの欠点がある¹⁾。このこめ本実験では、抵抗線歪ゲージ式指圧変換器を利用して、高压管内の圧力変動及び噴射ノズル出口の噴霧圧力を直接測定し、機関運転状態及びモータリング時での正しい噴射時期を知る装置を試作し、あわせて噴射時期に及ぼす

諸要因の影響を調べることとした。以下に実験装置及び実験内容を報告する。

§ 2 実験装置・方法

機関の運転状態に影響を及ぼさず、簡単かつ正確に燃料噴射時期を知るために、噴射に付随して起る現象を調べてみると、外部から直接感知することが出来る現象はほとんどなく、したがって真の噴射時期を簡単に知ることは容易ではない。そこで本実験においては機関の運転条件に影響を及ぼさないで測定することの出来る高压管内の圧力変動を指圧変換器でとらえ噴射時期を知る方法と、更に噴射ノズルを外部に出し、他の動力により機関を回転させ、外部に噴射した噴霧を直接指圧変換器に受け、その圧力変動を測定することによって噴射時期を判定する方法との2方法について実験し、両者の精度比較を行った。各実験ともシンクロスコープおよびストロボライトを用いて観測した。なお本実験に使用した機関はヤンマー1LELディーゼル機関で諸要目は表1の通りである。

表1 実験機関要目

メーカー	ヤンマー
型式	1LEL(堅型)
気筒数・サイクル	1気筒・4サイクル
焼室型式	予燃焼室式
出力/回転数(PS/r.p.m.)	10/900~11/1000
圧縮比	17.3
ボア×ストローク(mm)	120 ϕ ×170
平均有効圧力(kg/cm 2)	5.15~5.2
始動方式	空気始動
注油方式	強制注油
噴射圧力(kg/cm 2)	200
噴射ポンプ	ボッシュ式
噴射ノズル	単孔式自動弁

1. 噴射圧力による方法

(1) シンクロスコープを用いた場合 (No.1)

これはシンクロスコープにより読み取る方法で構造は図1に示すように機関の噴射ポンプ①と噴射ノズル②を接続している高圧管③の途中に写真1のような抵抗線歪ゲージを用いた指圧変換器④を取り付け、これを動的歪測定器⑤を通して2現

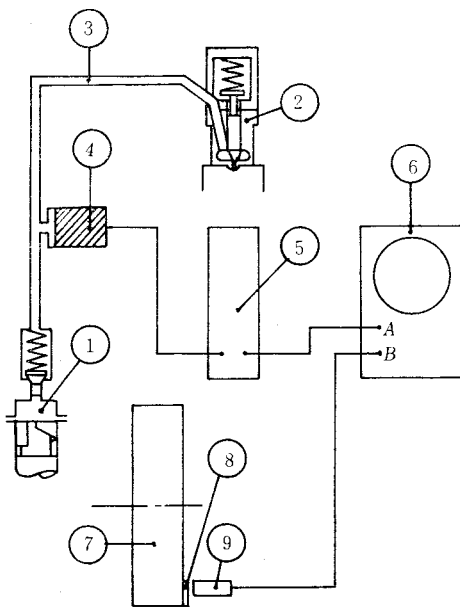


図1 No. 1 法

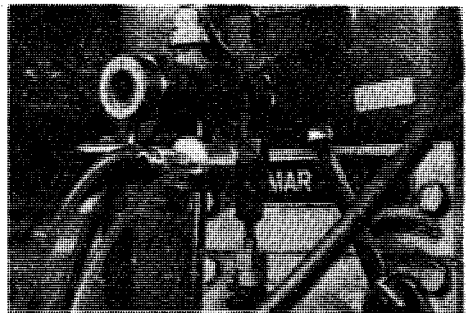


写真1 指圧変換器

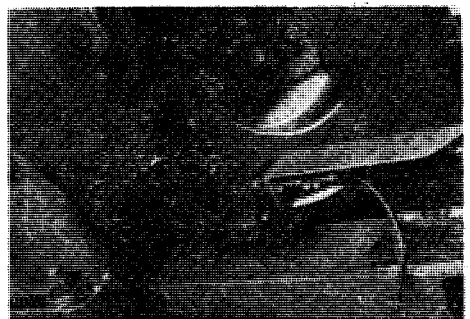


写真2 鉄板製スリット

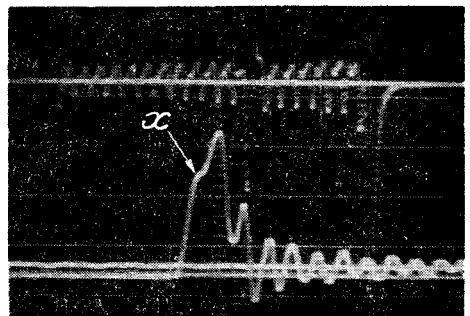


写真3

象シンクロスコープ⑥のAチャンネルに入れて高圧管内の圧力波形を観測し、同時にBチャンネルにクランク角度を示す波形を入れ同期させれば噴射時期を知ることが出来る。クランク角度検出の方法は、機関のフライホイール⑦に上死点付近を示す写真2の様な鉄板製スリット⑧を取り付け、電磁式ピックアップ⑨により検出することとした。なおスリットの1目盛はクランク角度の2度に相当するように製作し、上死点のスリットは他のスリットよりも巾を広くして発生電圧を高くして上死点の確認が容易となるようにした。この方法により測定した結果は写真3で、この場合噴射

時期はx点であり、したがってクランク角度は上死点前7度である²⁾。

(2) ストロボライトを用いた場合 (No.2)

これは図2の通りで、前法で用いたのと同じ指圧変換器④を使用して、動的歪測定器⑤の出力側に噴射時期同期装置⑩を通してストロボライト⑪を接続し、ガソリン機関のタイミング測定と同様に機関のフライホイール上のクランク角度に照射し、噴射時期を測定する方法である。以下に噴射時期同期装置⑩について説明する。機関の燃料噴射時期は高圧管内圧力線図(写真3)のx点に相当するので、このx点でストロボを発光させてやればよい。動的歪測定器からの出力波形は、縦軸に圧力(V)ボルト、横軸に時間(t)秒をとれば、図3の(a)のような波形となり、噴射時期はx点である

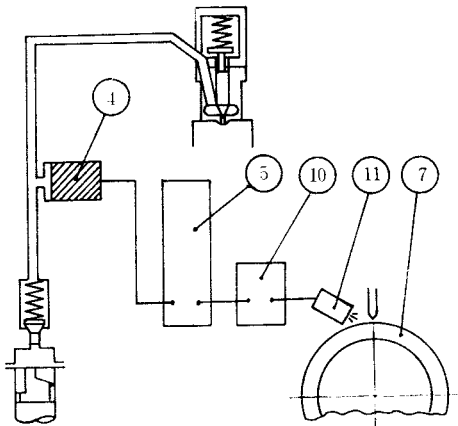


図2 No. 2 法

ので、(a)波形を微分してやると(b)のようになる。この(b)波形を再度微分すれば(c)となる。この(c)波形のプラス側をダイオードでカットしてやると(d)波形となる。(d)波形を単安定マルチバイブレーターを通してやると(e)となり、 x_4 の位置でストロボを発光出来る。なお微分回路を通すと V_1 に比べ V_2 が、 V_2 に比べ V_3 が非常に小さくなるので増幅回路を通す必要があり、単安定マルチバイブレーターの出力電圧 V_4 も、ストロボ発光電圧よりも高くなければならない。又2回増幅回路を

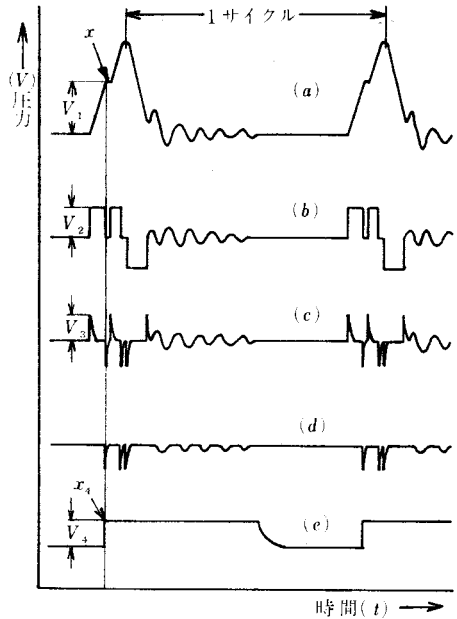


図3

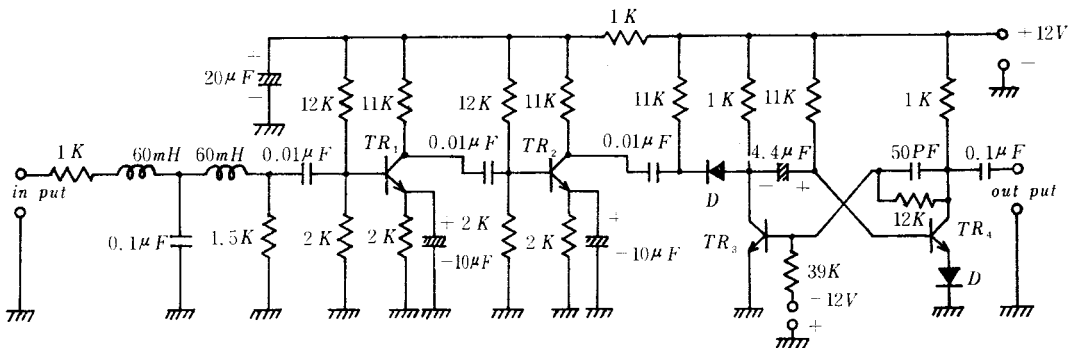
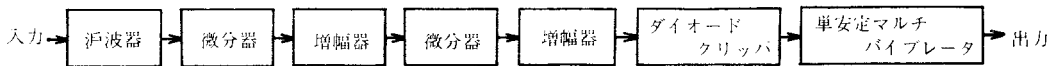


図4 噴射時期同期装置

通すため、動的歪測定器から発振している搬送波(20kHz)が必要以上に増幅されることになるので、フィルタ回路を通さねばならない。以上の回路をブロックダイアグラム及び回路図にすれば図4となる。

2. 直接噴霧による方法

(1) シンクロスコープによる方法 (No.3)

これは噴射ノズルを機関外にとり出し、他の動

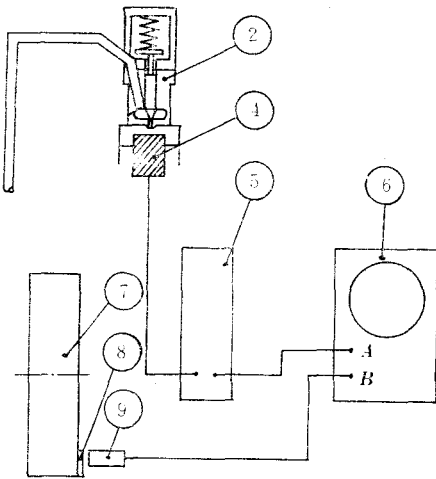


図5 No.3 法



写真4

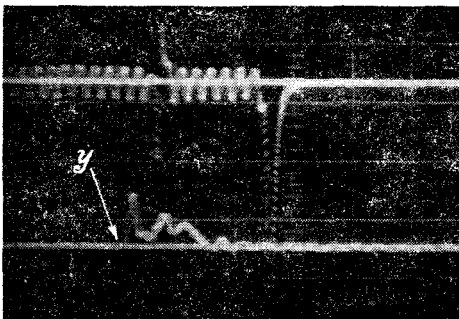


写真5

力を用いて機関をモータリングして直接噴霧によって噴射時期を判定しようとするものであるが、図5に示すように噴射ノズル②から外部に噴射された噴霧を、写真4のような装置で指圧変換器④に受け、動的歪測定器⑤を通してシンクロスコープ⑥のAチャンネルに圧力波形を入れ、噴射時期を読み取る方法である。クランク角度の検出は前述と同じように、電磁式ピックアップ⑨と鉄板製スリット⑧を使用してBチャンネルに入れば角度を検出出来る。この方法により測定した結果は写真5で、噴射時期はy点でありこの時の角度を読めばよい。

(2) ストロボライトによる方法 (No.4)

これはすでに述べたようにストロボライトでフライホイール上のクランク角度を照射する方法である。構造は図6に示すとおりで他の動力で機関をモータリングして、噴射ノズル②から噴射された噴霧を指圧変換器④で受け、動的歪測定器⑤を通してストロボライト⑪を発光させるようにしたものであるが、写真5のy点の出力電圧がひくく、このままではストロボが発光不可能なため図7のような回路の増幅器⑫を入れて電圧を高めた。

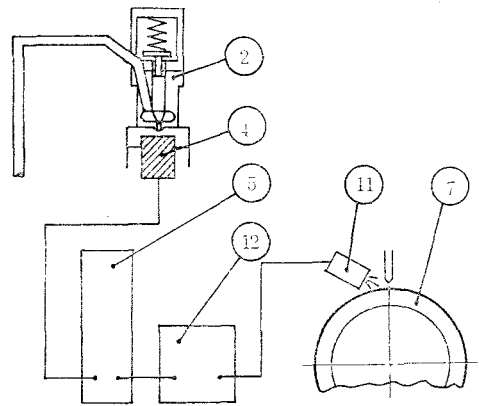


図6 No.4 法

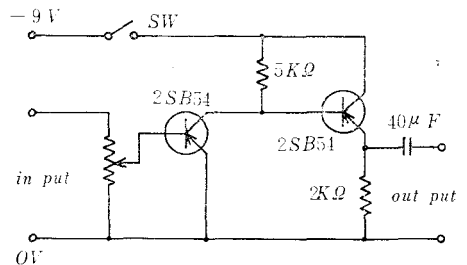


図7 増幅器

§ 3 実験結果・考察

上記のNo.1～No.4の各装置を用いて実験した結果をとりまとめると次のとおりである。

No.1の方法によって高圧管内の圧力変動を撮影した一例は前記写真3であるが、この方法では変動波形が静止しにくい読み取りが困難であるのと、完全に同調しないので、写真撮影も容易ではないという欠点がある。この点No.2の方法はクランク角度が直読出来るため測定も容易で角度も読みやすい。なお、本実験機関では最高回転数が1000r.p.m.の低速機関であるため、ストロボ同期装置のマルチバイブレーター用コンデンサの容量を変える必要はないが、回転範囲の広い機関ではコンデンサの容量を可変にする必要がある。精度は2方法とも高く、両者の間に精度差は認められないし、測定値もよく一致する。写真5は噴霧を用いた場合の出力波形であるが、 γ 点をNo.1の方法で測定した写真3の x 点と比較すると、 γ 点が θ° だけ遅れて観測され、しかも θ° が一定値をとらずかなり大幅に変動することが判った。そこで更に詳細に調べた結果は、出力波形は図8に示すとおりで、 $\overline{x\gamma}$ という微小な出力上昇部があり、 γ 点は変動がはげしいが、 x 点は一定で、この点が噴射時期を示し、写真3の x 点と完全に一致することが確認された。しかし本実験で使用した指圧変換器の能力が最大500kg/cm²のものであるため、 ΔV が非常に小さくしか表れず、 x 点の明確な確認がむづかしい。適当な増幅を行なうか、低圧用の変換器を用いて、 $\overline{x\gamma}$ 部の傾斜を急にさせる工夫が要る。ストロボライト使用のNo.4の方法を用いても、 γ 点で発光し実際の噴射時期 x よりかなり遅れた値が観測され、その状況は表2の通りでこれをプロットしたものが図9である。前述のように、低圧の指圧変換器あるいは増幅回路を使用して x 点で発光するようすれば、安定した正確な数値が得られると予想される。

最後に本実験による測実方法と、本校学生の工学実験指導で用いていた静的測定法と比較してみよう。こ

表2 直接噴霧による測定結果

回転数 n (r.p.m.)	噴射時期(上死点前)度		燃料噴射量	
	No.4法による	No.3法による	A (25cc/s)	B (mm ³ /cycle)
600	5.5	8	187.0	26.8
	3.5	8.5	117.0	41.8
	5	10.5	55.7	90.0
	9	11.5	39.6	126.2
820	4.5	7.5	100.1	36.2
	3	9.5	44.7	81.9
	5.6	11.5	27.2	134.0
1000	3.5	7	94.9	31.6
	4	8	55.2	54.4
	4	9	35.1	85.4
	6	11.0	22.1	135.5

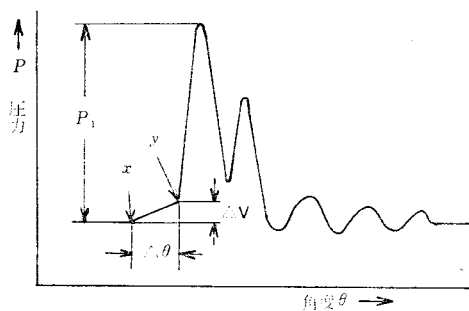


図8 直接噴霧による圧力波形

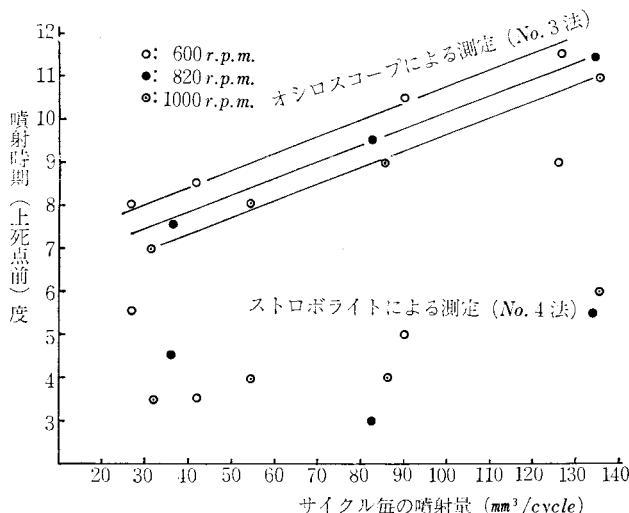


図9 No.3, No.4による測定結果

の方法は写真6に示すようにフライホイールに取り付けた発泡スチロール板に紙片を貼付し、紙片から0.5mm程度離れたところに噴射ノズルを位置させ、手でクランク軸をターニングして紙片に噴霧をあて、噴霧によって紙片にあけられた孔の位置をホイールの角度目盛で読む方法であるが、その測定値は表3に示すとおり非常にバラツキが大きく精度的には信頼がおけないことが判る。なお表3の噴射量は全噴射の状態でおこなった。

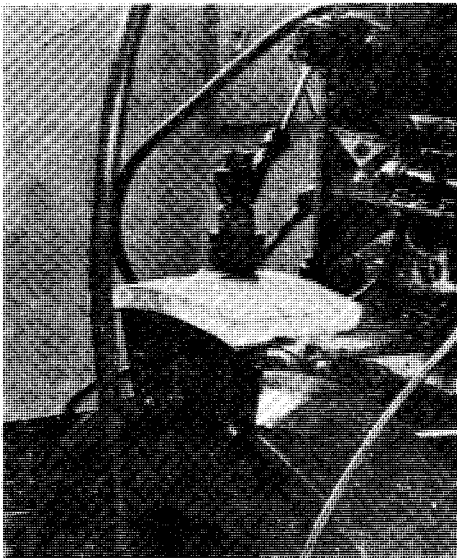


写真 6

表3 静的測定法による結果

回	噴射時期(上死点前)度
1	5.0
2	8.0
3	9.0
4	7.5
5	5.5

§ 4 実験装置の応用

以上のように本装置の測定精度の高いことが確認されたので本装置を応用して、機関回転数および噴射量と噴射時期との関係をしらべてみることにした。すなわち機関の回転数および1サイクル毎の噴射量を変えて、噴射時期を測定した結果は表4の通りであり、これを縦軸に噴射時期、横軸に1サイクル毎の噴射量を取り各回転数に対して

表4 噴射圧力による測定結果 (No.2法による)

回転数 <i>n</i> (r.p.m.)	負荷 (Kg)	噴射時期 (上死点前)度	燃料噴射量	
			A (25cc/s)	B (mm ³ /cycle)
600	0	8.3	183.2	27.3
	1.2	8.6	167.0	31.9
	3.0	8.9	118.1	42.2
	5.0	9.2	97.3	51.4
	6.8	9.8	81.2	81.7
	7.8	10.0	72.9	88.6
	10.8	11.0	57.5	87.0
	13.0	12.5	43.0	116.3
700	0	7.9	165.0	26.0
	2.5	8.6	108.3	39.6
	5.4	9.0	80.0	53.6
	7.8	9.8	63.1	68.0
	10.5	10.5	51.2	83.6
	14.0	12.0	41.1	104.0
800	0	7.3	156.5	23.9
	1.3	7.7	109.8	34.2
	2.5	8.0	95.1	39.4
	4.0	8.5	81.3	46.2
	5.0	8.7	78.0	48.1
	6.0	8.8	64.7	57.9
	7.6	9.1	56.0	67.0
	8.7	9.6	50.9	72.3
	10.0	10.0	46.0	81.6
	11.2	10.5	40.7	92.0
12.5	11.2	36.0	104.0	
900	0	6.9	136.0	24.5
	1.1	7.3	103.6	32.1
	2.0	7.5	89.6	37.2
	3.2	7.8	75.5	44.1
	4.3	8.0	67.9	49.0
	5.6	8.2	57.5	58.0
	6.7	8.5	52.3	63.7
	7.5	8.8	48.4	68.9
	8.8	9.2	43.1	77.2
	10.0	9.8	38.8	86.0
11.1	10.2	34.7	96.0	
1000	0	6.5	117.5	25.5
	1.0	6.9	92.2	32.6
	2.0	7.0	79.9	37.5
	3.0	7.4	70.8	42.4
	4.0	7.8	64.0	46.9
	5.0	7.9	54.7	55.0
	6.0	8.0	51.4	58.4
	7.0	8.5	46.0	65.2
	8.0	8.7	42.3	71.1
	9.0	9.0	38.5	78.0
10.0	9.1	34.8	86.3	

注) 燃料噴射量B(mm³/cycle)は次式により算出した。

$$B = \frac{A}{\frac{n}{60} \times \frac{1}{2}} \times 10^3 = \frac{12A}{n} \times 10^4$$

プロットしたものが図10である。これによれば回転数一定のもとでは噴射時期は噴射系が完全な剛体でないこと及び漏れ率の影響により噴射量と共に直線的に増加し、その増加率は回転数と無関係にはほぼ一定であると言えるようである。図11は噴射量別に、回転数と噴射時期の関係をまとめたものであるが回転数が増加すると共に、噴射時期の

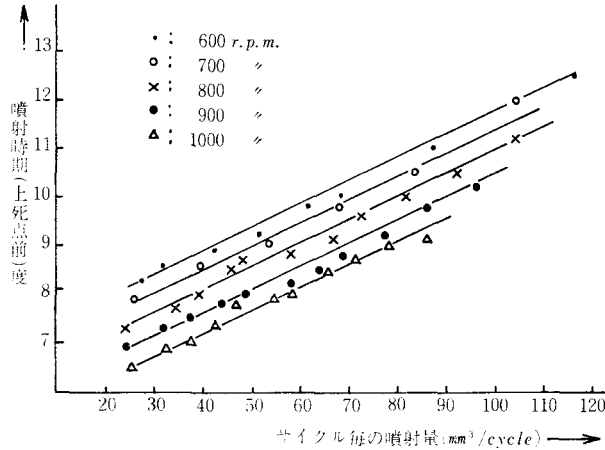


図10

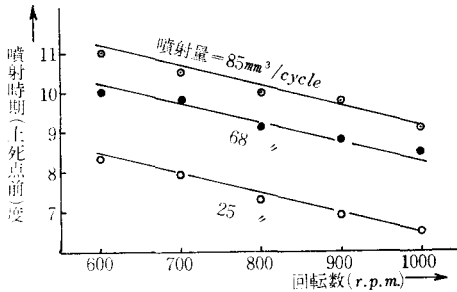


図11 サイクル毎の噴射量 ($mm^3/cycle$)

遅れる経過がよく判る。

§ 5 結 言

以上の2種類の実験装置で測定した結果次の結論を得た。

1. 2種類の装置とも、従来の手動ターニングによる静的方法に比べて、精度も正確度も高い。
2. 噴射圧力による測定方法では、機関運転中でも機関の運転条件に影響を及ぼさずに高精度の測定が出来るため、機関の噴射時期特性を調べるのに便利である。この場合ストロボ

ライトにより測定すれば、読み取り時の個人差もはらず正確である。

3. 直接噴霧による測定方法では、モータリングするための他の動力を必要とし実用的でない。又本実験では指圧変換器の容量が大きすぎたため、期待した精度は得られなかったが、低圧用高感度の指圧変換器を使用するか、適当な増幅回路を設ければ圧力によるのと同程度の測定が可能となるであろう。
4. 噴射時期は回転数にほぼ逆比例して遅れてくるのみならず、噴射量に比例して進んでくる事が確認された。

最後に、本実験を進めるにあたり終始適切にご指導をいただいた久保田勲先生・電気工学科の綿井伸爾先生に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 除錫洪：内燃機関 Vol.7, No.9, 1968, pp.149~153
- 2) 渡辺彬・黒沢誠：内燃機関, コロナ社

(昭和46年7月31日受付)

実験計画法によるドリル加工穴寸法拡大の検討

(機械工学科) 里 信 敏 行

On a Statistical Analysis of Over Size of Twist Drill Machined Holes

Toshiyuki SATONOBU

In order to clarify the relationship between the shape of drills and the over size of machined holes, statistical analysis should be made use of.

As a result, the effect of each factor can be measured as quantity.

In this paper, the effect of the differences of lip height on over size is reported.

§ 1 緒 言

ツイストドリルによってあけられた穴はドリル径の呼び寸法どおりではなく、一般にひずみ円となって穴径は拡大する。その原因としては、工作機械の精度、ドリルの寸法差、ドリル形状などがあげられるが、それらの影響を明確にするためには、さらに定量的な解析をおこなう必要がある。そこで、本研究においては工作機械の精度、ドリルの寸法差は J I S 規格の許容差内のものとし、ドリル形状の相違とオーバサイズとの関係を実験計画法にもとづいて解析し、その関係を定量的なものとして把握しようと試みた。以下、結果について報告する。

§ 2 実験方法

実験は、ドリル先端角、ドリル径とオーバサイズとの関係を実験(I)とし、ドリル径、リップ高さ差とオーバサイズとの関係を実験(II)としてそれぞれ実験条件をつぎのように設定した。

実験(I)

ボール盤：吉田YUD—540

ドリル：SKH9

ドリル径：8 $^{\circ}$ 、11 $^{\circ}$ 、14 $^{\circ}$

先端角：80、100、120、140 (degree)

切削速度：530、690、890、1150 (r.p.m.)

送り：0.1、0.2 (mm/rev.)

被削材：FC20, SS41, S55C

実験(II)

ドリル径：6 $^{\circ}$ 、8 $^{\circ}$ 、10 $^{\circ}$ 、12 $^{\circ}$ 、14 $^{\circ}$ 、16 $^{\circ}$

リップ
高さ差：0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 (mm)

先端角：120 $^{\circ}$

切削速度：530、690、890 (r.p.m.)

送り：0.1 (mm/rev.)

被削材：SS41

(注) ボール盤、ドリル材質は実験(I)に準ずる。
リップ高さ差は、先端半角が等しく、チゼル偏心がついている場合である。

§ 3 実験結果、考察

実験(I)について

実験結果を図1～4に示す。オーバサイズの測定値を統計解析するにあたって、被削材：SS41で乾式切削の場合を例示して計算するとつぎのようになる。

いま、因子Aをa水準、因子Bをb水準とし、各水準についてc回ずつ総計 $a \times b \times c$ 回の実験をおこなったとすると、このときのオーバサイズ： x は表1のように表示され、実験値は表2であたえられる。

ここで、因子Aのオーバサイズに対する影響がどれくらいあるかは因子Aの変動すなわち列間変

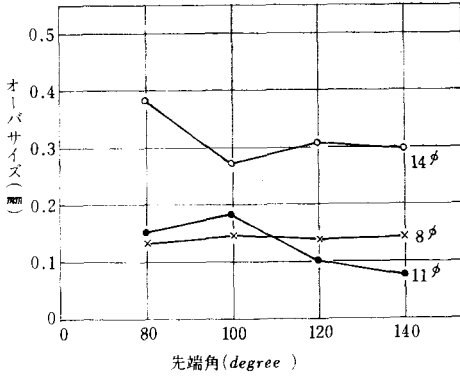


図1 先端角, ドリル径とオーバーサイズ (F C 20)

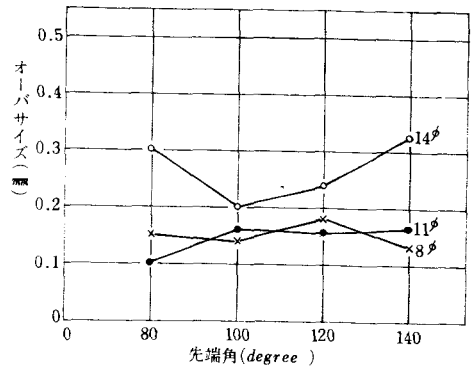


図3 先端角, ドリル径とオーバーサイズ (SS41-Dry)

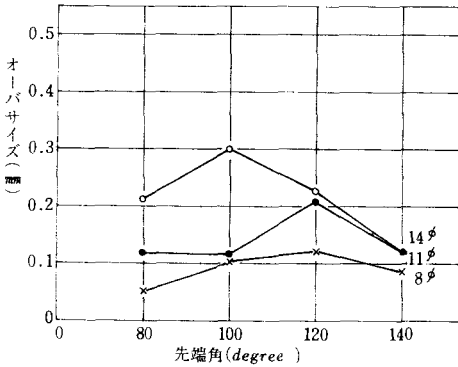


図2 先端角, ドリル径とオーバーサイズ (SS41-Wet)

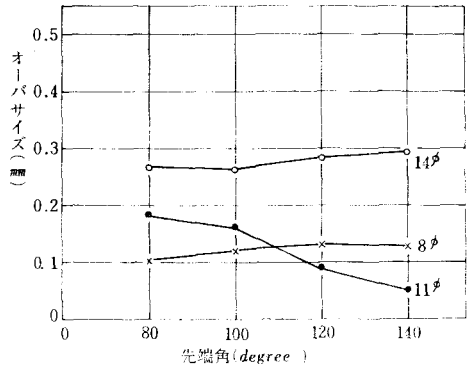


図4 先端角, ドリル径とオーバーサイズ (S 55C)

表1 配置法 (i=1,2,...c)

	A_1	A_2	.....	A_j	.....	A_a
B_1	x_{11i}	x_{12i}	.....	x_{1ji}	.....	x_{1ai}
B_2	x_{21i}	x_{22i}	.....	x_{2ji}	.....	x_{2ai}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
B_k	x_{k1i}	x_{k2i}	.....	x_{kji}	.....	x_{kai}
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
B_b	x_{b1i}	x_{b2i}$	.....	x_{bj i}$	.....	$x_{b a i}$

表2 先端角, ドリル径とオーバーサイズ

ドリル径 先端角	8φ	11φ	14φ	計
80°	-39	-15	60	6
100°	-9	-30	9	-20
120°	-12	0	32	20
140°	-53	-23	74	-2
計	-113	-58	175	4

動: S_a で表わされ, 次式より求められる¹⁾。

$$S_a = \frac{1}{bc} \sum_{i=1}^a \left(\sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^c x_{kji} \right)^2 - CF \dots\dots\dots (1)$$

$$= \frac{1}{4 \times 5} \{ (-113)^2 + (-58)^2 + (175)^2 \}$$

$$- 0.27 = 2337.6$$

ただし, CF は修正項でつぎのように計算される。

$$CF = \frac{1}{abc} \left(\sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^c x_{kji} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$= \frac{16}{3 \times 4 \times 5} = 0.27$$

因子 B の変動すなわち行間変動: S_b も同様にして求められる。

$$S_b = \frac{1}{ac} \sum_{k=1}^b \left(\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^c x_{kji} \right)^2 - CF \dots\dots\dots (3)$$

$$= \frac{1}{3 \times 5} \{ (6)^2 + (-20)^2 + (20)^2 + (-2)^2 \}$$

$$- 0.27 = 55.7$$

測定値の全変動が因子の差による効果すなわち級間変動： S_{ab} は

$$S_{ab} = \frac{1}{c} \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \left(\sum_{i=1}^c x_{kji} \right)^2 - CF \dots\dots\dots(4)$$

$$= \frac{1}{5} \{ (-39)^2 + (-9)^2 + (-12)^2 + (-53)^2 + \dots + (32)^2 + (74)^2 \} - 0.27 = 3177.7$$

である。また、測定値の級内変動すなわち誤差変動： S_c は次式より求められる。

$$S_c = \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^c x_{kji}^2 - \frac{1}{c} \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \left(\sum_{i=1}^c x_{kji} \right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

$$= 366$$

交互作用の変動： $S_{a \times b}$ は

$$S_{a \times b} = S_{ab} - S_a - S_b \dots\dots\dots(6)$$

$$= 784$$

である。よって全変動： S は

$$S = S_{ab} + S_c$$

$$= S_a + S_b + S_{a \times b} + S_c$$

$$= \sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^c x_{kji}^2 - \frac{1}{abc} \left(\sum_{k=1}^b \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^c x_{kji} \right)^2 \dots\dots\dots(7)$$

$$= 3544$$

不偏分散は各変動を自由度で割ることによって求められ、つぎのようになる。

$$V_{ab} = \frac{S_{ab}}{ab-1} \dots\dots\dots(8)$$

$$= 289$$

$$V_a = \frac{S_a}{a-1} \dots\dots\dots(9)$$

$$= 1169$$

$$V_b = \frac{S_b}{b-1} \dots\dots\dots(10)$$

$$= 19.3$$

$$V_c = \frac{S_c}{ab(c-1)} \dots\dots\dots(11)$$

$$= 7.6$$

$$V_{a \times b} = \frac{S_{a \times b}}{(a-1)(b-1)} \dots\dots\dots(12)$$

$$= 130.6$$

$$V = \frac{S}{abc-1} \dots\dots\dots(13)$$

$$= 60.1$$

つぎに F 検定による判定をおこなう。

$$F_{A \times B} = \frac{V_{a \times b}}{V_c}$$

ここで、 $F_{A \times B} > F_P$ ならば

$$F_A = \frac{V_a}{V_{a \times b}}, \quad F_B = \frac{V_b}{V_{a \times b}}$$

$F_{A \times B} < F_P$ ならば

$$F_A = \frac{V_a}{V_{a \times b} + V_c}, \quad F_B = \frac{V_b}{V_{a \times b} + V_c}$$

... (14)

上式による F の値と F 分布表から求めたそれぞれの自由度に対する確率 5% の限界値： $[F_P]_{5\%}$ (または $[F_P]_{1\%}$) と比較し、 $F_A > [F_P]_{5\%}$ であれば因子 A によってオーバサイズが変化するとみなされる。表 2 の測定値の F 検定はつぎのとおりである。

$$F_{A \times B} = \frac{130.6}{7.6} = 17.2 > 3.20 [1\%]$$

$$F_A = \frac{1169}{130.6} = 8.951 > 5.14 [5\%]$$

$$F_B = \frac{19.3}{130.6} = 0.148 < 4.76 [5\%]$$

それぞれの因子が変動の原因の何%をしめるかについては、 F 検定後、寄与率： ρ によって計算される。

$$\rho_A = \frac{A \text{ の効果}}{\text{全変動}} \dots\dots\dots(15)$$

$$\rho_A = \frac{S_a}{S} = \frac{2338}{3544} = 0.66$$

$$\rho_B = \frac{S_b}{S} = \frac{55}{3544} = 0.016$$

$$\rho_{A \times B} = \frac{S_{a \times b}}{S} = \frac{784}{3544} = 0.22$$

$$\rho_c = \frac{S_c}{S} = \frac{366}{3544} = 0.103$$

以上の方法により実験(I)を解析すると、その分散分析表は表 3 のようになる。

この結果、被削材質のいかんにかかわらず因子 A すなわちドリル径の変動がオーバサイズにおよぼす影響は有意であるという結論がでた。

ドリル径とオーバサイズの関係は図 5 のとおりである。

表3 分散分析表

材質	要因	変動	自由度	分散	F	判定	寄与率 (%)
F C 20	A	3825	2	1912.5	12.19	有意(1%)	76
	B	178	3	59.3	0.38	—	3.5
	A × B	941	6	156.8	—	—	19
	C	115	48	2.4	—	—	2.3
S S 41 (Wet)	A	1689	2	844.5	7.38	有意(5%)	50
	B	638	3	212.7	1.86	—	19
	A × B	687	6	114.5	—	—	20
	C	348	48	7.3	—	—	10.4
S S 41 (Dry)	A	2338	2	1169	8.95	有意(5%)	66
	B	56	3	18.7	0.15	—	1.6
	A × B	784	6	130.6	—	—	22
	C	366	48	7.6	—	—	10.3
S 55 C	A	3545	2	1772.5	19.06	有意(1%)	75
	B	70	3	23.3	0.25	—	1.5
	A × B	558	6	93	—	—	12
	C	587	48	12.2	—	—	12.3

材質の欄の () 内は切削条件を示す。

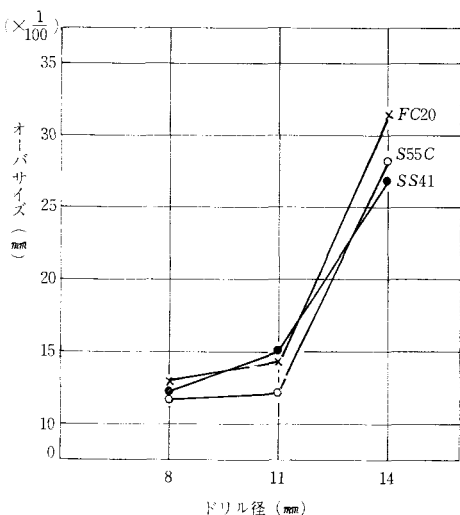


図5 ドリル径とオーバーサイズ

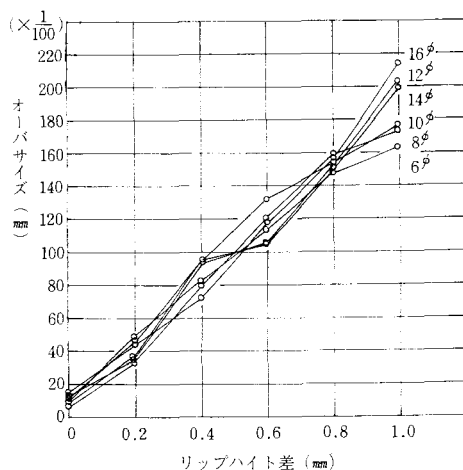


図6 ドリル径、リップハイト差とオーバーサイズ

実験(II)について

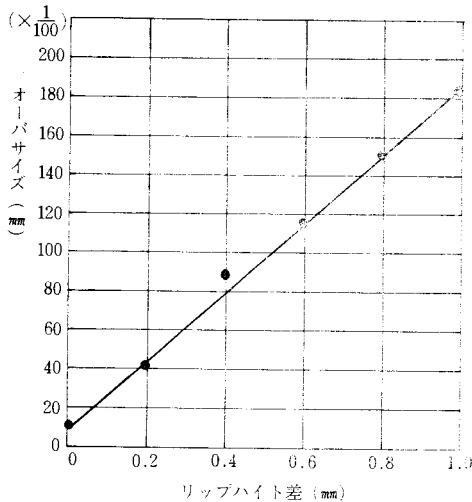
実験(I)よりドリル径の変動がオーバーサイズに影響をあたえるということが判明したので、オーバーサイズの主要因と考えられているリップハイト

差とドリル径を水準として実験した結果が図6および表4である。

この表からわかるように、因子Aすなわちリップハイト差の変化がオーバーサイズに対する影響は

表4 分散分析表

材質	要因	変動	自由度	分散	F	判定	寄与率 (%)
S S 41	A	385450	5	77090	182.68	有意(1%)	96
	B	1837	5	367	0.87	—	0.5
	A × B	10538	25	422	—	—	2.7
	C	448	72	6	—	—	0.1



7図 リップハイト差とオーバーサイズ

有意であるとされた。そして、寄与率は96%で非常に影響度が大きい。これに対して、実験(I)で有意であったドリル径の変動は無視してさしつかえない程度のものであることが明らかとなった。

リップハイト差とオーバーサイズの関係を図7に示す。この効果グラフからリップハイト差とオーバーサイズの関係は直線関係とみなされ、実験式は

$$\left. \begin{aligned} \text{勾配: } m &= \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \\ \text{切片: } b &= \frac{(\sum x_i^2)(\sum y_i) - (\sum x_i)(\sum x_i y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

ゆえに
 $y_i = 1.742 x_i + 0.108 \dots\dots\dots(17)$
 である。

表5 計算表

	x_i (リップハイト差)	y_i (オーバーサイズ)	$x_i y_i$	$(\sum x_i) \times (\sum y_i)$	x_i^2
	0	0.11	0	—	0
	0.2	0.41	0.082	—	0.04
	0.4	0.87	0.348	—	0.16
	0.6	1.15	0.690	—	0.36
	0.8	1.50	1.200	—	0.64
	1.0	1.84	1.840	—	1.00
計	3.0	5.88	4.160	17.64	2.20

§ 4 結 言

以上、ツイストドリルの形状と加工穴のオーバーサイズの関係について解析し、定量的な判定をおこなった結果はつぎのとおりである。

- (1) オーバサイズに対する先端角の影響はほとんどなく、むしろドリル径が増大するとオーバーサイズは大きくなりがちである。
- (2) オーバサイズの主要因は、リップハイト差など刃先形状の相対的ずれによるものである。
- (3) リップハイト差のオーバーサイズに対する影響は、本実験において寄与率96%と非常に大きな値であった。

おわりに、実験をすすめていくにあたり終始協力をおしまれなかった実習工場西本進、松室友之助、松原義秋その他の先生方に謝意を表します。

文 献

- 1) 小茂鳥：内燃機関計測における実験計画とデータのまとめ方、内燃機関 Vol.7, No.9 (1968) 20
- 2) 田口：実験計画法(上)(下)、丸善(1968) 6, 595
- 3) 内藤：内径寸法の精密測定、マシンスト Vol.12, No.2 (1968) 16

非接触歯車ポンプの歯間部すきまの最適値（第2報）

（油の粘度変化を考慮した場合）

（機械工学科） 京 免 進

The Best Value of the Clearance between the Two Gears of the No Contact Gear Pump (2nd Report)

(A Case of Consideration of Oil's Variable Viscosity)

Susumu KYOMEN

In the 1st report, it was made already clear how the values of the clearance between the two gears of the no contact gear pump are decided on the supposition of no changing of oil's viscosity. But, in actual, the viscosity of oil in it changes because of the heat arised by the friction loss. Therefore, the condition of oil flow in it changes.

As a result of our investigation, the best value of the clearance between the two gears is in consideration of the variation of oil's viscosity smaller than in the case of considering no variation of it.

§ 1 緒 言

前報¹⁾においては、非接触歯車ポンプの歯間部すきまを選定する方法として、損失エネルギーを最小にする最適すきまを求め、設計する場合の指針を示した。この場合歯間部すきまにおける油の粘度は一定と仮定したが、実際にはすきまを油が漏れると摩擦損失によって熱が生じ、油温が上昇するため油の粘度も当然変化するはずである。

このため本報では、油の粘度変化を考慮して歯間部すきまにおける油の温度上昇を求め、その場合の歯間部すきまの漏れ量および最適すきまがどのように変化するかを計算し、油の粘度変化を考慮しない場合と比較し、検討を行った。その結果、油の粘度変化を考慮したときの歯間部すきまの最適値は、粘度変化を考慮しない場合よりも小さくなることがわかった。

§ 2 記 号

p_d : 吐出圧力	r : 曲率半径
p_s : 吸込圧力	R : かみ合いすきまの数
μ_d : 吐出側の油の粘度	U : 周速度
μ_m : 油の平均粘度	D_0 : ピッチ円直径
λ : 油の種類による定数	β : かみ合い圧力角
T : 油の上昇温度	N : 毎分回転数
q_p : 圧力差による漏れ量	η, ζ, ξ : 無次元数
q_n : 回転により生ずる漏れ量	E_1, E_2 : 損失動力
q : 歯間部すきまの漏れ量	F : 摩擦力
h_0 : 最小すきま	J : 熱の仕事当量

- c : 比熱
- γ : 比重量
- h_0^* : 粘度変化を考慮する場合の歯間部すきまの最適値
- $h_0^{*'}$: 粘度変化を考慮しない場合の歯間部すきまの最適値

§ 3 歯間部すきまの漏れ量

非接触歯車ポンプの歯間部すきまにおける吐出側から吸込側までの油の温度上昇は、一般的にみてそれほど大きくないと考えられるので、歯間部すきまにおける油の粘度 μ と油の上昇温度 T の関係は、吐出側の油の粘度を μ_d とすると近似的に次の関係がある²⁾。

$$\mu = \mu_d e^{-\lambda T} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 λ は油の種類によって決まる定数である。

歯間部すきまを油が吐出側から吸込側に漏れることによって生ずる摩擦損失による油の全上昇温度を ΔT とすると、その間の油の平均粘度 μ_m は

$$\mu_m = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} \mu dT = \frac{1}{\Delta T} \int_0^{\Delta T} \mu_d e^{-\lambda T} dT = \frac{\mu_d(1 - e^{-\lambda \Delta T})}{\lambda \Delta T} \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。式(2)で示される油の平均粘度を用いて、歯間部すきまにおける漏れ量および最適すきまがどのように変化するかを以下に述べる。

非接触歯車ポンプの歯間部において、すきまが平均的に生ずるものと仮定し、歯形を円弧で近似し、歯間部における回転二円筒間の小さなすきまを油が圧力差によって流れる場合を考える。歯間部すきまにおける油の漏れおよび摩擦抵抗は、すべて吐出側から歯間部を通して吸込側に漏れる油の平均粘度 μ_m により決まるとする。

図1に示すように、二円筒を単位幅にとり、二つの等しい円弧の半径を r 、最小すきま h_0 の中心を原点とし、油が流れる方向を x 軸、垂直方向に y 軸をとる。流れは層流とし、非圧縮性で粘性流体の2次元定常流れとする。ポンプ吐出側における圧力を p_d 、吸込側の圧力を p_s とし、歯間部のかみ合いすきまの数を R とすると、歯間部が静止していて圧力差のみによる油の漏れ量 q_p' は、

$$q_p' = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_d - p_s) h_0^3}{\mu_d R \sqrt{r h_0}} \dots\dots\dots (3)$$

で表わされた³⁾。

しかし、実際には油が歯間部すきまを漏れる間に、歯面との摩擦などによって油の温度が上昇するものと思われるので、歯間部すきまにおける油の平均粘度を μ_m とするとすると、粘度変化を考えた場合の油の漏れ量 q_p は、式(3)から近似的に次のように示される。

$$q_p = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_d - p_s) h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} \dots\dots\dots (4)$$

また、回転することにより生ずる漏れ量 q_n は、二円筒の周速度を U とすると、単位幅当り

$$q_n = 1.226 h_0 U \dots\dots\dots (5)$$

となる³⁾。ここで、周速度 U は歯車の場合、次のように表わされる。

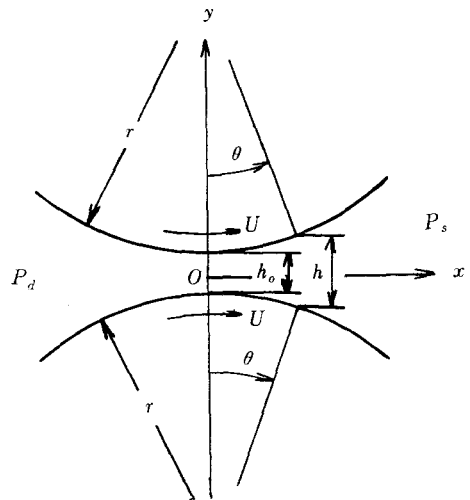


図1 歯間部すきま

$$U = \frac{\pi D_0 N}{60} \sin \beta \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 D_0 はピッチ円直径、 β はかみ合い圧力角、 N は毎分回転数である。

したがって、非接触歯車ポンプの歯間部すきまの油の漏れ量 q は、式(4)、(5)より、単位幅当り

$$q = q_p + q_n = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s) h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} + 1.226 h_0 U \dots \dots \dots (7)$$

となる。

ここで式(7)に式(2)を代入すると次のように表わされる。

$$q = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s) h_0^3}{R \sqrt{r h_0}} \frac{\lambda \Delta T}{\mu_d (1 - e^{-\lambda \Delta T})} + 1.226 h_0 U \dots \dots \dots (8)$$

これは歯間部すきまにおける油の漏れ量が、油の平均粘度 μ_m でなく、吐出側の粘度 μ_d と吐出側と吸込側の間の全上昇温度 ΔT を知ることによって求められることを示す。式(8)の両辺を $1.226 h_0 U$ で除して無次元の形に直すと

$$\zeta = \eta \frac{\lambda \Delta T}{1 - e^{-\lambda \Delta T}} + 1 \dots \dots \dots (9)$$

ただし

$$\zeta = \frac{q}{1.226 h_0 U} \dots \dots \dots (10)$$

$$\eta = \frac{1}{5.517\pi} \frac{(p_a - p_s) h_0^2}{\mu_d R U \sqrt{r h_0}} \dots \dots \dots$$

となる。式(9)の関係を $\lambda \Delta T$ をパラメータとして横軸に η 、縦軸に ζ をとって図示すると図2のようになる。これからみてもわかるように、歯間部すきまにおける全上昇温度が大きいほど油の漏れ量は多くなることがわかる。

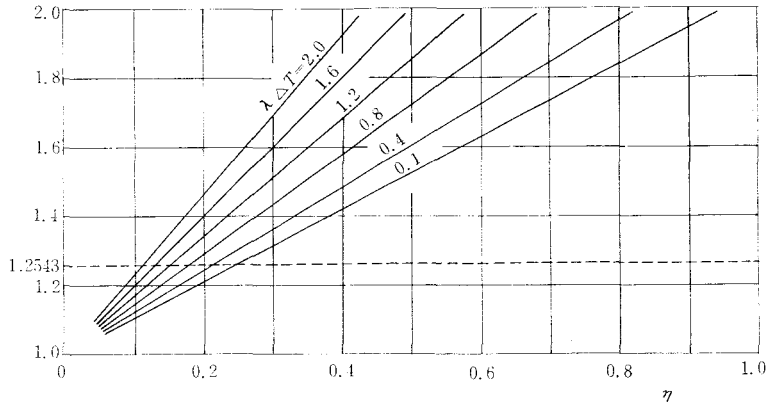


図2 $\lambda \Delta T$ をパラメータとした ζ の変化

§ 4 歯間部すきまにおける油の全上昇温度

非接触歯車ポンプの歯間部すきまにおける損失動力について考える。歯間部すきまを油が漏れることによって生ずる損失動力 E_1 は、式(7)から単位幅当り

$$E_1 = (q_p + q_n)(p_a - p_s) = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s)^2 h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} + 1.226 h_0 U (p_a - p_s) \dots \dots \dots (11)$$

となる。また油が漏れることにより生ずる単位幅当りの摩擦力 $F^{1)}$ は

$$F = -\frac{4}{3} (p_a - p_s) h_0 + 4.644\pi \mu_m U R \sqrt{\frac{r}{h_0}} \dots \dots \dots (12)$$

であるから、摩擦による損失動力 E_2 は

$$E_2 = FU = -\frac{4}{3} (p_a - p_s) h_0 U + 4.644\pi \mu_m R U^2 \sqrt{\frac{r}{h_0}} \dots \dots \dots (13)$$

となる。ゆえに、歯間部すきまにおける単位幅当りの全損失動力 E は式(11), (13)より

$$E = E_1 + E_2 = \frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s)^2 h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} - \frac{0.322}{3} (p_a - p_s) h_0 U + 4.644\pi \mu_m R U^2 \sqrt{\frac{r}{h_0}} \dots (14)$$

で表わされる。

ここで、式(14)で示される全損失動力が、全て q なる油の漏れ量を熱するものに使用されると仮定すると、次のように表わされる。

$$\begin{aligned} & \frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s)^2 h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} - \frac{0.322}{3} (p_a - p_s) h_0 U + 4.644\pi \mu_m R U^2 \sqrt{\frac{r}{h_0}} \\ & = J c \gamma \left(\frac{2}{9\pi} \frac{(p_a - p_s) h_0^3}{\mu_m R \sqrt{r h_0}} + 1.226 h_0 U \right) \Delta T \dots (15) \end{aligned}$$

ここで、 ΔT は歯間部における油の全上昇温度であり、 γ は比重量、 c は比熱、 J は熱の仕事量である。式(15)に式(2), (10)を代入すると

$$\eta \frac{\lambda \Delta T}{1 - e^{-\lambda \Delta T}} - 0.0875 + 0.6866 \frac{1}{\eta} \frac{1 - e^{-\lambda \Delta T}}{\lambda \Delta T} = \frac{J c \gamma}{p_a - p_s} \left(\eta \frac{\lambda \Delta T}{1 - e^{-\lambda \Delta T}} + 1 \right) \Delta T \dots (16)$$

となる。この式から全上昇温度 ΔT を求めると

$$\lambda \Delta T = \xi \frac{\eta \frac{\lambda \Delta T}{1 - e^{-\lambda \Delta T}} - 0.0875 + 0.6866 \frac{1}{\eta} \frac{1 - e^{-\lambda \Delta T}}{\lambda \Delta T}}{\eta \frac{\lambda \Delta T}{1 - e^{-\lambda \Delta T}} + 1} \dots (17)$$

ただし、

$$\xi = \frac{\lambda(p_a - p_s)}{J c \gamma} \dots (18)$$

となる。式(17)の η, ξ は無次元量であり、歯間部すきまを通しての油の全上昇温度はこれらの無次元量により決定される。これらの関係を横軸に η 、縦軸に ξ をとり $\lambda \Delta T$ をパラメータとして表わすと図3のようになる。

§ 5 歯間部すきまの最適値および粘度変化を考慮しない場合との比較

式(14)で表わされる歯間部すきまにおける全損失動力を最小にするすきまの値 h_0^* を求めると、

$$\frac{\partial E}{\partial h_0} = 0 \text{ により}$$

$$\begin{aligned} & \frac{5}{9\pi} \frac{(p_a - p_s)^2}{\mu_m R \sqrt{r}} h_0^{\frac{3}{2}} - \frac{0.322}{3} (p_a - p_s) U - 2.322\pi \mu_m R U^2 \sqrt{r} h_0^{-\frac{3}{2}} = 0 \\ & h_0^* = 1.662 (\pi R \sqrt{r})^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_m U}{p_a - p_s} \right)^{\frac{2}{3}} \dots (19) \end{aligned}$$

式(19)に式(2)を代入すると

$$h_0^* = 1.662 (\pi R \sqrt{r})^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_m U}{p_a - p_s} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{1 - e^{-\lambda \Delta T}}{\lambda \Delta T} \right)^{\frac{2}{3}} \dots (20)$$

となり、これが油の粘度変化を考えた場合の歯間部の最適すきまを示す。

ところで、粘度変化を考慮した場合の歯間部すきまの最適値を用いたときの η は、式(20)を式(10)に代入すると

$$\eta = \frac{1.662^{\frac{2}{3}}}{5.517} \frac{1 - e^{-\lambda \Delta T}}{\lambda \Delta T} = 0.2543 \frac{1 - e^{-\lambda \Delta T}}{\lambda \Delta T} \dots (21)$$

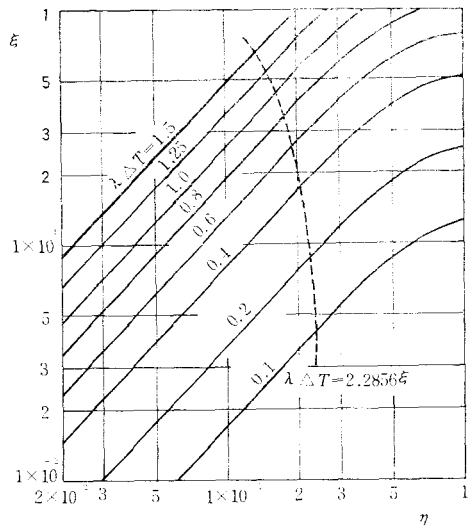


図3 λΔTをパラメータとした η, ξ の変化

となる。式(21)を式(9)に代入すると

$$\zeta = 1.2543 \dots\dots\dots(22)$$

となり、 ζ は一定値をとる。この関係は図2において点線で示す。

また、式(21)を式(17)に代入すると、 $\lambda \Delta T$ は

$$\lambda \Delta T = \xi \frac{0.2543 - 0.0875 + 2.7000}{1.2543} = 2.2856 \xi \dots\dots\dots(23)$$

となり、これを式(21)に代入すると η は

$$\eta = 0.2543 \frac{1 - e^{-2.2856\xi}}{2.2856\xi} = 0.1113 \frac{1 - e^{-2.2856\xi}}{\xi} \dots\dots\dots(24)$$

となる。式(23)、(24)で示される歯間部すきまにおける全損失動力が最小の場合の $\lambda \Delta T$ 、 η 、 ξ の関係は、図3において点線で示される。

ところで、式(20)に式(23)を代入すると

$$h_0^* = 1.662(\pi R \sqrt{\tau})^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_a U}{p_a - p_s} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{1 - e^{-2.2856\xi}}{2.2856\xi} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(25)$$

となる。油の粘度変化を考慮しないときの歯間部すきまの最適値 $h_0^{*'}$ は¹⁾

$$h_0^{*'} = 1.662(\pi R \sqrt{\tau})^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\mu_a U}{p_a - p_s} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(26)$$

で表わされるから、式(25)、(26)から

$$\frac{h_0^*}{h_0^{*'}} = \left(\frac{1 - e^{-2.2856\xi}}{2.2856\xi} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(27)$$

となる。この関係を横軸に ξ 、縦軸に $h_0^*/h_0^{*'}$ をとり図4に示す。これからわかるように、油の粘度変化を考慮したときの歯間部すきまの最適値は、粘度変化を考慮しない場合よりも小さくなることがわかる。

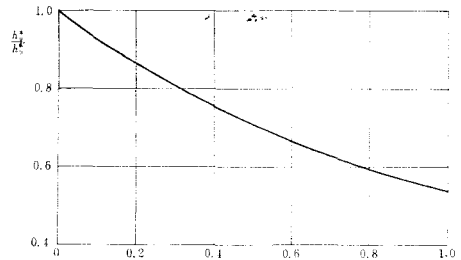


図4 油の粘度変化による $h_0^*/h_0^{*'}$ の変化

§ 6 結 言

以上に述べたように、非接触歯車ポンプの歯間部すきまにおける油の上昇温度を求め、その結果により生ずる漏れ量の変化を調べ、また歯間部すきまにおける損失エネルギーが全て油の温度上昇に変わるという仮定のもとに、計算を行った結果、油の粘度変化を考慮したときの歯間部すきまの最適値は、粘度変化を考慮しない場合に比べて小さくなることがわかった。さらにこのことは、市川氏⁴⁾による歯車側面、歯車歯先の最適すきまの変化と同一傾向を示すことである。

最後に、平素からいろいろとご指導を頂いている広島大学工学部の武田力也先生に深く感謝致します。

文 献

- 1) 京免 進：非接触歯車ポンプの歯車部隙間の最適値，呉高専研究報告，第5巻，第1号，95～99頁，昭和44年。
- 2) J. Blackburn：Fluid Power Control, The M.I.T. Press, 1960.
- 3) 高杉・武田・岩田・京免：非接触歯車ポンプの研究（第1報），機械学会講演論文集，No.202，113～116頁，昭和43年。
- 4) 市川常雄：静岡大学研究報告，61～67頁 昭和31年。

（昭和46年7月31日受付）

高圧ナトリウムランプによる色相の見え方

(電気工学科) 原 田 一 彦

The Visibility of Hue in the High Pressure Sodium Vapour Lamp Lighting

Kazuhiko HARADA

In evaluation of a lighting installation, the visibility under its lighting must be considered. However, in the low pressure sodium vapour lamp lighting, all colored objectives converge to be monochromatic.

In this paper, we studied the variations of visibility by using experimental colored test charts in high pressure sodium vapour lamp lighting.

The colored visual acuity test charts represent ten colored Randolt's rings arranged on the three kinds of non-colored backgrounds.

The following results were obtained:

- (1) In white backgrounds (N9.5), the most visible hue is RP and the most invisible one is Y.
- (2) In gray backgrounds (N6), the visible hues are Y,G and RP and the invisible hues are B,PB and P.
- (3) In black backgrounds (N1.5), the most visible hue is Y. The visibilities of R and YR are poor.

§ 1 緒 言

現在の人工光源のなかで、最も発光効率が大きくしかも、煙霧中の透過度が大きいという特長をもつ低圧ナトリウムランプは、交通照明、ゴルフ場駐車場、港湾、操作場、空港や建築物照明等に広く利用されているが、高圧ナトリウムランプの開発にともない、これらナトリウムランプの利用度は更に増加し、その照明下での各種作業の機会は多くなるものと推察される。

各種の人工光源で照明した場合の色の三属性(色相、明度および彩度)が、ものの見え方に及ぼす影響については既に発表されており¹⁾、低圧ナトリウムランプ照明では、全ての色が無彩色となることがわかっている。しかし、高圧ナトリウムランプ照明下での見え方については、あまり発表されていないようである。本研究は、高圧ナトリウムランプでの色相の見え方を、背景を変えて

測定し検討をしたものである。この結果は、今後のナトリウムランプ照明に際して、ランプの選択に役立つものと考えられる。

§ 2 高圧ナトリウムランプの特性

ナトリウム蒸気圧を変化させて、放電による発光効率を求めると、 4×10^{-3} mmHg のとき最大値を示す。さらに蒸気圧を高くしてゆくと、一時、効率は低下するが、又上昇し、約100~200 mmHg 付近でもう一つの最大値を示す。発光スペクトルは蒸気圧の上昇とともに拡がり、発光色は、はじめは 589.0 と 589.6 nm の D 線がほとんどであるから単色光に近い黄色であるが、それが黄白色となり、色温度も 2100~2200°K となる。すなわち、前者が低圧ナトリウムランプであり、後者が高圧ナトリウムランプである。したがって、特性も違い、図 1²⁾ は両ランプの分光分布特性で、また、表 1³⁾ は高圧ナトリウムランプの演色評価数を示

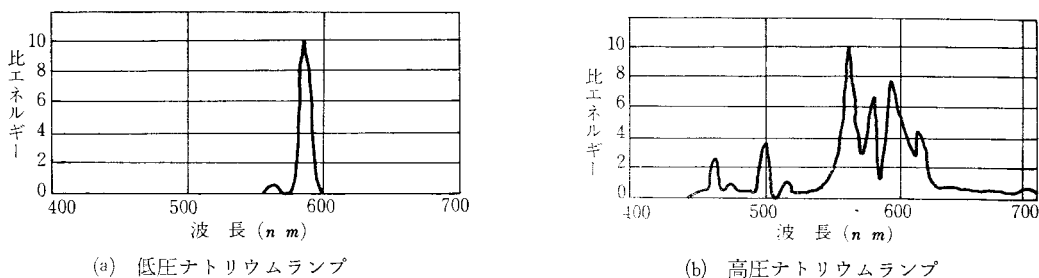


図1 ナトリウムランプの分光分布

表1 高圧ナトリウムランプの演色評価数

ランプ電力	基準光源	R _a	R ₉	R ₁₀	R ₁₁	R ₁₂	R ₁₃	R ₁₄	R ₁₅
320 W	P 2,080	17.8	-227.7	42.2	-42.2	26.8	14.0	65.4	-8.4
400 W	P 2,100	26.9	-186.0	45.8	-30.0	31.6	22.4	70.7	6.2
480 W	P 2,120	36.8	-141.3	49.9	-16.7	36.3	31.7	76.5	2.17
水銀ランプ (400W)	D 5,700	22.4	-329.3	-44.8	-16.5	-28.0	-0.6	85.5	-35.3

したものである。高圧ナトリウムランプの光源色および演色性については、既に多くの発表がなされているが、いずれも厳密なものではなく、演色性の評価方法についても検討すべき問題があるが⁴⁾、一応参考のために掲げた。

§ 3 実験方法

今回の実験は、前回の実験とほぼ同じ要領で実施した⁵⁾。

測定用視力表は、以前に作成したのと同じ方法によるもので、N9.5 (白色), N6 (灰色) および N1.5 (黒色) の3種類の無彩色の背景に 表2 の

色紙でランドルト環を作って貼り付けた。色紙は H, V および C の値をそろえるのが理想的であるが、入手の関係でバラツキを生じた。また、無彩色の選定は、代表的な白および黒、ならびに普通のコンクリート壁に相当する灰色とした。

観測者は4名で、色弁は正常であり、通常視力は万国式視力検査表を真天然純正色けい光ランプで300 lx に照明して測定した結果が 表3 である。これら観測者は、便宜上視力のよい者から順に A, B, C および D とした。

視力表を照明した高圧ナトリウムランプは、日本電池製の NH 400 S で、視力表を均一に照明す

表2 実験用視力表の視標色 (修正マンセル値)

H	5 R	5 YR	5 Y	5 GY	5 G	5 BG	5 B	5 PB	5 P	2.5 RP
V	4	4	9	7	5.5	6	8	7.5	7	4.5
C	13	2	3	1.5	6	2	4	3.5	4.5	12

表3 観測者の通常視力
(万国式視力表, 真天然純正色けい光ランプ300 lx)

観測者	左眼視力	右眼視力	両眼視力
A	2.0	1.5	2.0
B	1.5	1.5	1.5
C	1.0	1.2	1.2
D	1.0	0.9	1.0

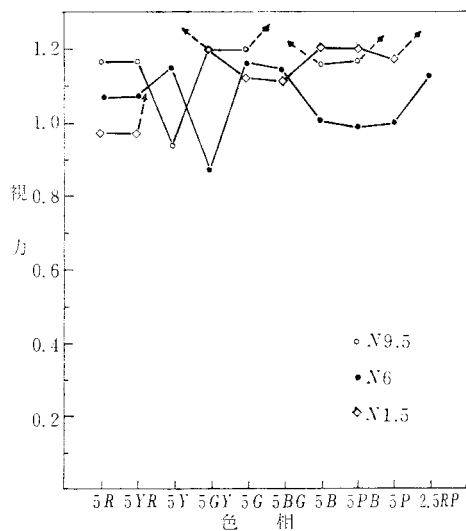
るよう留意し、 $100l_x$ と $300l_x$ の2種類の照度で測定した。

測定に際しては、観測者の目を光色および照度に順応させるため、測定条件下の実験室に入室させて20分経過してから実施し、1回の測定を5分程度にして目の疲労による誤差が入らないようにした。

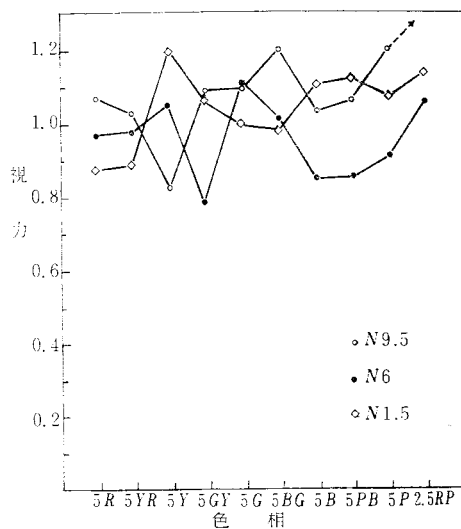
測定値は、両眼視力により同一条件で3回測定し、その算術平均を採用した。これは、左右の片眼による測定値と変らなかったためである。

§ 4 結果と考察

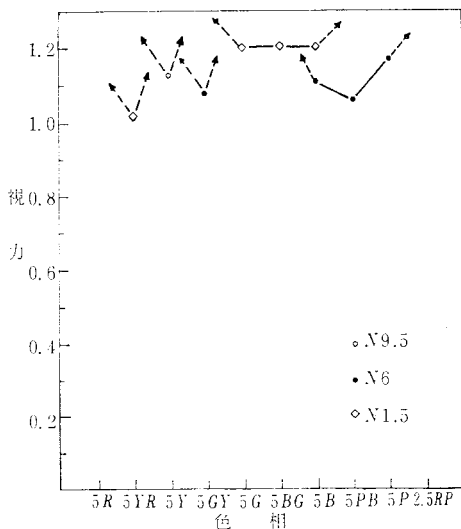
照度が $100l_x$ と $300l_x$ で背景を無彩色の N9.5, N6および N1.5に変えた場合の色相の見え方を、各観測者について図2に示す。これからわかるように、見え方の変化は、どの観測者にもほぼ共通していて、よく見える色相は通常視力とほとんど差がないが、見えにくい色相は通常視力よりかなり低く、下している。なお、図中、破線と矢印で示している部分は、実験用視力表で測定できなかったところである。



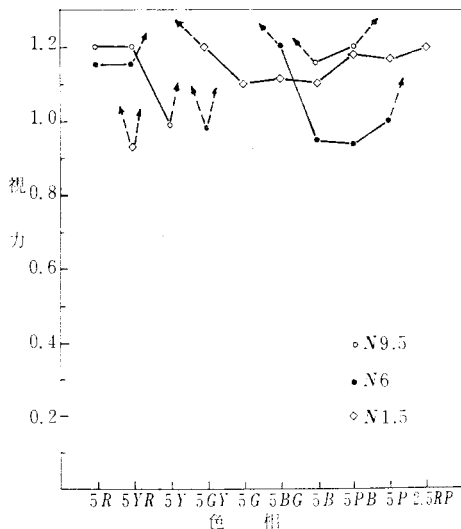
(a) 視力表 $100l_x$, 観測者A



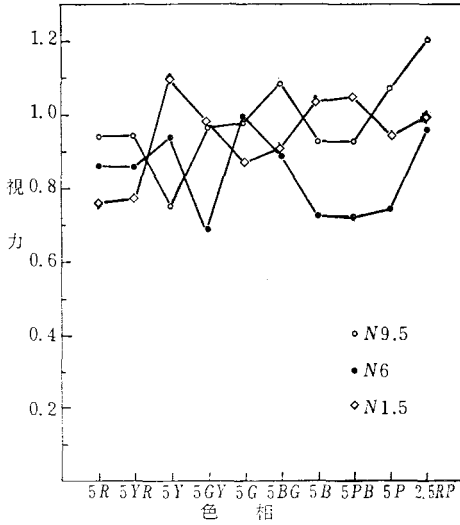
(c) 視力表 $100l_x$, 観測者B



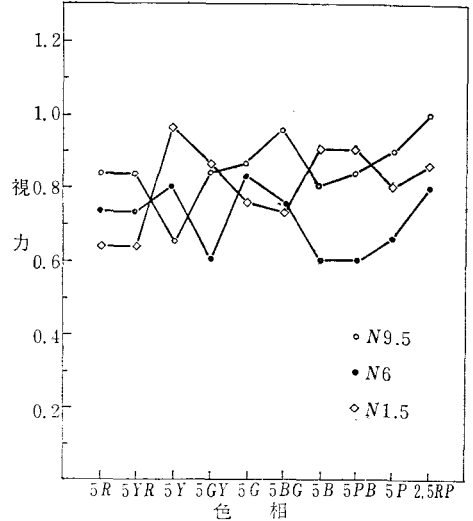
(b) 視力表 $300l_x$, 観測者A



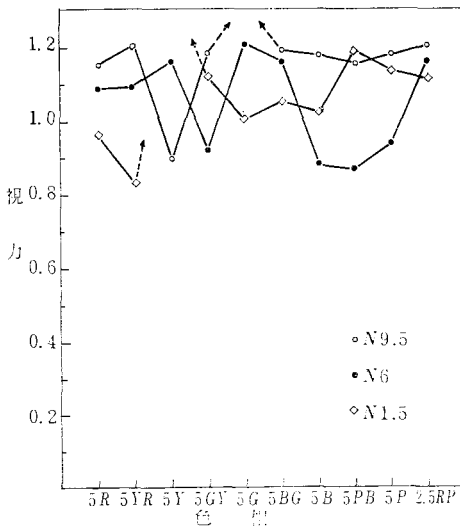
(d) 視力表 $300l_x$, 観測者B



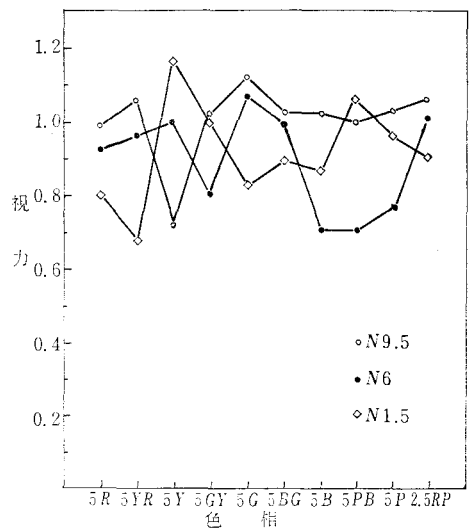
(e) 視力表100lx, 観測者C



(g) 視力表100lx, 観測者D



(f) 視力表300lx, 観測者C



(h) 視力表300lx, 観測者D

図2 高圧ナトリウム照による無彩色を背景とした色相の見え方

4・1 照度100lxの場合

N9.5の背景では、2.5RPが最もよく見え通常視力と同じである。その次ぎは、5BGで2.5RPの90~95%程度である。反対に見えにくいのは、5Yだけで通常視力との差は約0.35もある。他の色相の見え方は、平均して通常視力の75~80%位である。

背景がN6の場合は、平均して他の二背景より見え方が劣り、5Y、5Gおよび2.5RPでピーク値をもつが、それも通常視力の80%程度である。

冷色系統の5GY、5B、5PGおよび5Pが見えにくく通常視力の約60%となっている。

N1.5の背景では、5Yが最もよく見え通常視力の95%近く、ちょうどN9.5の場合と反対になっている。また、N6の場合とは対称的に5Bおよび5PBの冷色がよく見えている。見えにくい色相は、暖色の5Rと5YRで通常視力の約65%である。

4・2 照度300lxの場合

各色相の見え方は、照度が100lxの場合と大差

なく、照度が増加しただけ全体の色相がよく見えるようになっている程度である。

N9.5の背景では、5 Yだけが通常視力の約75%と低い、他の色相は平均して通常視力と同程度の見え方である。照度 $100l_x$ では5 BGが最もよく見えていたが、 $300l_x$ では5 Gに移動している

背景N6では、照度が $100l_x$ の場合と同様で、よく見えるのが5 Y、5 Gおよび2.5RPで、見えにくい5 B、5 PBおよび5 Pとの間には約30%の差がある。平均的には通常視力より劣っている

N1.5の背景でも、照度 $100l_x$ の場合と同じく、5 Yがよく見え、次ぎは5 PBで、5 Rおよび5 YRの暖色が見えにくく、この場合も見え方は、平均的には通常視力よりも下廻っている。

観測者A(通常視力2.0)は、作成した視力表では、測定できない色相がかなりあったが、見え方の変化の傾向は他の観測者とほぼ同様と推察される。

これらの結果は、高圧ナトリウムランプの特性によるものか、位圧ナトリウムランプでは問題とならなかった彩度の影響か、背景との明度差によるものか、または、それらの影響によるものかは、慎重に検討をする必要がある。これらは、色紙等の完備した機会に譲ることとする。

以上の結果を、低圧ナトリウムランプの場合と比較すると、高圧ナトリウムランプは実験結果からわかるように、各色相を色別できるが、低圧ナトリウムランプの場合は、放射光が589.0nmと589.6nmのD線がほとんどで、他のスペクトルは

無視できる。したがって、このランプの光源下では被照射体がけい光性をもたない限り、すべてD線の光色となり、有彩色も無彩色も同じように見えて、D線に対する分光反射率の差だけでもものを識別することになり、色別による作業等は全然できない。図3⁶⁾は各色相についてH/Vの値が8/4、6/6および4/4の各色票が、いかなる色に見えるかを実験したもので、すべての色が無彩色と等色になることがわかる。

光色は黄色と黄白色との差であるが、色相の色別についてはとても大きな差がある。

§ 5 結 言

高圧ナトリウムランプを光源として、 $100l_x$ と $300l_x$ の照度で白、灰および黒色の3種類の無彩色を背景にして、色相の見え方の変化を実験的に求めたが、要約すれば次ぎのようになる。

(1) 背景がN9.5で $100l_x$ のときは、2.5RPが最もよく見え、次ぎは5 BGで、見えにくいのは5 Yだけである。 $300l_x$ の場合は、2.5RPと5 Gがよく見え、見えにくい色相は $100l_x$ の場合と同じで、通常視力と約35%の差がある。

(2) N6の背景では、5 Y、5 Gおよび2.5RPが割合によく見え、冷色が見えにくく、通常視力の約60%である。また、全般的に、この背景の場合は見えにくい。

(3) N1.5の背景では5 Yが最もよく見え、次ぎが冷色で、暖色の5 R、5 YRが見えにくく、通常視力の約65%である。

参考文献

- 1) 阪口他：照明学会誌53-5 (昭和44年)
- 2) 照明学会編：新編照明のデータブック 126
- 3) 渡会他：昭和43年電気四学会連合大会講演論文集
- 4) 水野：昭和43年専門講習会講演論文集(照明学会関西支部) 20
- 5) 原田：呉工業高等専門学校研究報告6-2 (昭和46年) 83
- 6) 阪口：昭和37年電気学会関西支部連合大会講演論文集 378

(昭和46年7月31日受付)

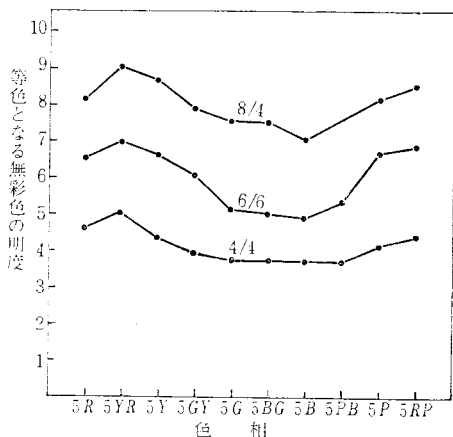


図3 低圧ナトリウムランプ照明による色相の見え方

DRAP : 回路網解析プログラム

(電気工学科) 村 上 滋 樹

DRAP: A Network Analysis Program

Shigeki MURAKAMI

In this paper, a primitive computer-aided network analysis program DRAP (D.c. Resistive network Analysis Program) is described in detail.

The analysis of the direct-coupled linear transistor circuit and the computation of the amplifier's mid-band gain are performed by DRAP without specialized knowledges.

The performances of DRAP about these problems are comparable with ECAP, SCEPTRE etc. in several points.

1. 緒 言

近年, 計算機援用設計 (CAD) が各方面にとり入れられ, 電子回路とりわけ集積回路 (IC) の設計においては欠かせないものとなってきている。

電子回路 CAD 用のプログラムとしては, ECAP, NET-1, SCEPTRE など数多く開発されているが, 利用できる人はシステムユーザなどの限られた範囲の人達だけで, 一般にはその詳細, とくにプログラム自体については殆んど資料を入手する途はない⁽¹⁾⁽²⁾。

ここに発表する DRAP は, ごく原理的ではあるが, 現在最も多く使用されている FORTRAN を用いて, 定常状態におけるトランジスタを含む直流抵抗回路の解析, トランジスタ増幅器の中域周波数におけるゲインの計算などが簡単に, 逐次的に行なえるように構成されている。解析方法, システム構成およびプログラムの細部について報告し, CAD に関心をもたれる人に少しでも役立つべと思う。

2. 解析理論

2.1 接続行列

図 1 (a) のような有向グラフについて, 枝と節点の接続関係を考えてみる。

節点に枝が流入するとき -1, 流出するとき +1

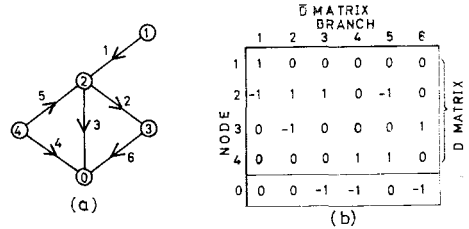


図 1 線形グラフと接続行列

, 関係のないとき 0 とすると 図 1 (b) のような接続行列 \bar{D} が得られる。 \bar{D} の各列の要素の和は常に 0 となりどれか一つの行は他の行に一次従属しているので, 節点 0 の行は除いても差し支えない。0 節点を基準点あるいは接地電位と考えれば物理的にも理解できる。このようにして得られた行列を D 行列とよぶことにする⁽³⁾。

2.2 回路方程式⁽³⁾⁽⁴⁾

このプログラムで用いた解析法は節点電位解法である。図 2 のように節点 l と m の間に接続されている枝 k について諸量を図のようにきめると, 次の関係式が成立する。

$$DI = D(i - s) = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$i = yu \dots\dots\dots(2)$$

$$U = u - e \dots\dots\dots(3)$$

$$U = DV \dots\dots\dots(4)$$

ただし,

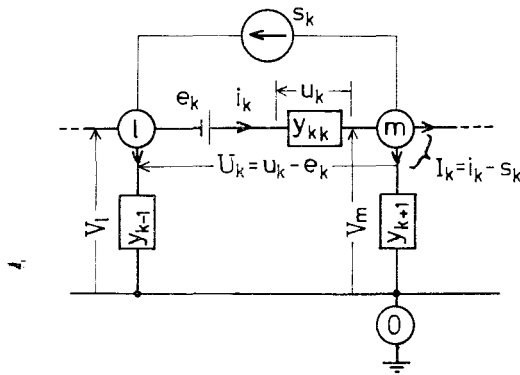


図2 代表的回路網

- i : 枝電流ベクトル
- s : 枝電流源ベクトル
- u : 枝アドミタンス電圧ベクトル
- U : 枝電圧ベクトル
- e : 枝電圧源ベクトル
- V : 節点電圧ベクトル
- D : 接続行列
- y : アドミタンス行列

である。

これらを節点電位 V についてとくと、

$$V = (DyD')^{-1}D(s - ye) \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 DyD' は節点アドミタンスを表わし、 $(DyD')^{-1}$ は節点インピーダンスを表わす。また、枝電圧および枝電流は次式で求められる。

$$U = D'V$$

$$= D'(DyD')^{-1}D(s - ye) \dots\dots\dots(6)$$

$$i = y(U + e) \dots\dots\dots(7)$$

2.3 トランジスタの等価回路

トランジスタを含む回路を取り扱うため、能動領域における簡単な線形直流モデルを等価回路として用いた。

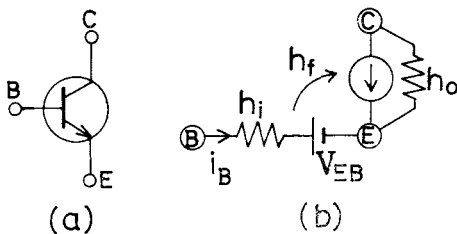


図3 トランジスタの線形直流モデル

図3(a)のような NPN トランジスタの等価回

路は図3(b)のように表わされる。 h_r は誤差と算の手数の上から省略しているが実用上の問題はない。この等価回路には電流制御電流源が含まれており、制御電流はベース電流 i_B 、被制御電流源の大きさは $h_f i_B$ である。回路方程式との関係からこの電流制御電流源は図4(b)のように等価な電圧制御電流源に置換して考える。その結果、電流制御電流源を含む回路網についての y 行列の構造は図4(c)のようになる⁵⁾。

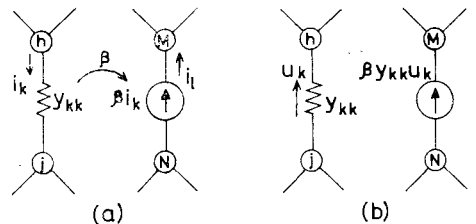


図4 (a) 電流制御電流源
(b) 等価電圧制御電流源
(c) y 行列の構造

FET のような電圧制御素子を含む回路網においては、FET が電圧制御電流源を含む等価回路で置換できるので図4(c)の βy_{kk} の要素の代りに相互コンダクタンス g_{kl} を挿入すればよい。

3. プログラム

回路解析の手順は前述の通りであるが、回路情報の入力形式をどのようにするか、感度解析を行なうかどうか、出力データをどのようなものにするかなどにより入力データの形も異なるし、プログラムの構成も異なってくる。以下、それぞれについて述べる。

3.1 入力データ

当初は、データを枝インピーダンス、接続行列データ、起電力等をそれぞれ別個に与えていたが、はん雑で間違い易いので修正を重ねた結果、図

5の入力データ表に示されている量に落ち着いた。つぎに入力データ表の記述順に従って説明を加える。

** DRAP ** DATA SHEET

PROBLEM (EXAMPLE) DATE 1971. 2. 23.

1. NO OF BRANCHES

2. NO OF NODES

3. BRANCHES' INFORMATIONS

B	R	INI	FIN	IMPEDANCE	E M F
(EX)	1	2	3	. 4 5 6 7 E + 0 4	- 1 2 . 0 0
	1	0	1	. 1 2 6 0 E + 0 4	1 2 .
	2	1	0	. 1 1 8 0 E + 0 4	.
	3	1	2	. 2 0 0 0 E + 0 3	- 0 . 7
	4	2	0	. 1 0 0 0 E + 0 4	.
	5	3	2	. 1 0 0 0 E + 0 5	.
	6	4	3	. 4 0 0 0 E + 0 3	.
	7	0	4	. 1 0 0 0 E + 0 1	1 2 .
	9	9	0	. 0 0 0 0 E + 0 0	0 0 0 . 0 0
(END)	9	9	0	0 0 0 .	0 0 0 .

FINAL NODE NO
INITIAL NODE NO
BRANCH NO

4. CURRENT CONTROLLED CURRENT SOURCES

B	R	CNB	BETA
(EX)	6	8	1 0 0 .
	3	5	7 5 .
	9	9	0 0 0 0 .
(END)	9	9	0 0 0 0 .

5. SENSITIVITY ANALYSIS (+1% BRANCH IMPEDANCE)

IF UNNECESSARY OR ELSE

BRANCH NO

OBJECTIVE BRANCH NO

6. OUTPUT SPECIFICATION

EVERY NODE VOLTAGES & BRANCH CURRENTS

OR ELSE

NODE VOLTAGES

NODE NO

BRANCH CURRENTS

BRANCH NO

BRANCH VOLTAGES

BRANCH NO

図5 入力データ表

(1) 節点数と枝数

解析しようとする回路の節点と枝に任意に番号をつけ、各々の最大数をとる。計算実行時の基本的なパラメータとなる。

(2) 枝路に関する情報

枝番号、枝と節点の接続関係、枝インピーダンスおよび起電力を与える。これにより D , y , e が形成される。インピーダンスは取り扱える値の範囲を広くとるため E 形の表現としたが、範囲の狭いときは $[k\Omega]$ を単位とする F 形で

もよい。起電力についても同様である。電流源も取り扱えるようにしていたが、このプログラムでは適用する問題とにらみ合わせた結果、省略することにした。

(3) 電流制御電流源

制御枝番号、被制御枝番号および電流増幅率を与えて等価枝アドミタンスを計算させ、 Ψ に挿入させるようにする。

(4) 感度解析の選択

指定された枝の電流変化率を、指定された枝のインピーダンスを独立に1 [%] 変化させた場合について求めることができる。感度解析を行なわせないこともできるようにした。同様の手法で、入力信号電圧などの修正などが可能である。

(5) 出力データの指定

希望する節点電圧、枝電流および枝電圧を書き出させることができ、その数はそれぞれ4個までとした。指定しないときは節点電圧および枝電流のすべてが書き出される。

3.2 プログラムの構成

バッチ処理を建前としているが、データ入力形式は会話形式に移行できる可能性をもっている。使用した言語は、当初 FACOM 230-10 の FORTRAN V-6 であったが、ここに記述するのは NEAC-2200 の FORTRAN L である。

入力データは入力データ表の順序に従って読み込み、処理、印刷などが行なわれる。主流れ図は図6の通りで、 D 行列の生成と制御電流源データの Ψ 行列への挿入の手順は簡単な反復により行なわれ、それぞれの終りは99の数値により判断されている。

節点アドミタンスの計算は行列の転置の後、積の計算を繰り返して行なう。逆行列の計算はガウス消去法を用いた。これらの後に続く計算は積と和の計算である。

感度解析を行なう場合には、インピーダンスの変更を行なうために節点インピーダンスの計算の前の段階にもどしてやる。分岐制御パラメータとしては、IST, ISR および ISS を使い、解析の選択、繰り返し回数、終了を判断させている。なお、行列の sparsity については、要素が0のときは飛び越させるようにして計算時間の短縮と誤

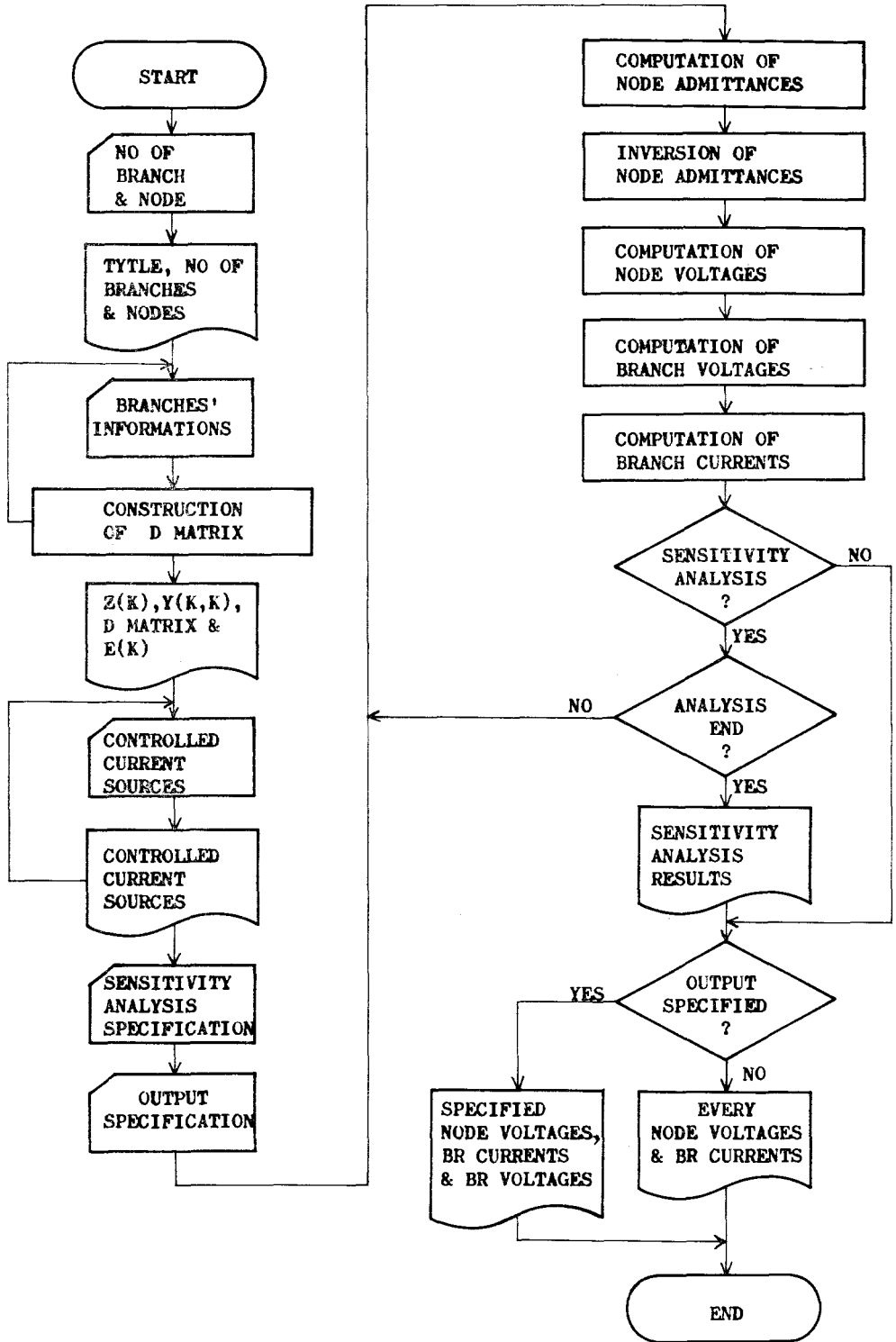


图6 主 流 程 图

```

C INPUT OF BRANCHES' INFORMATIONS
10 READ(2,140)IBR,INI,IFI,ZB,EB
140 FORMAT(3I2,E11.4,F6.2)
    K=IBR
    I=INI
    J=IFI
    IF(K.EQ.99)GO TO 12
    Y(K,K)=1./ZB
    WRITE(3,150)K,ZB,Y(K,K)
150 FORMAT(1H ,7X,I3,2(6X,E13.6))
    IF(I)22,22,23
23 IF(J)24,24,25
22 D(J,K)=-1.
    GO TO 26
24 D(I,K)=1.
    GO TO 26
25 D(I,K)=1.
    D(J,K)=-1.
26 E(K)=EB
12 .....
    
```

図7 D行列の形成プログラム

```

C SENSITIVITY ANALYSIS
C INPUT OF DATA
42 READ(2,790)ISI
790 FORMAT(I2)
    ISI=ISI
    ISS=50
    ISR=1
    READ(2,795)IBS1,IBS2,IBS3,IBS0
795 FORMAT(4I2)
    .....
    .....
800 GO TO 52
C DY=D*Y
52 DO 53 I=1,MD
    .....
    .....
C SENSITIVITY ANALYSIS EXECUTION
IF(ISI.EQ.0)GO TO 890
IF(ISR.EQ.8)GO TO 840
IF(ISR.EQ.4)GO TO 830
IF(ISR.EQ.2)GO TO 820
IF(ISS.EQ.50)GO TO 810
GO TO 850
810 BIS(1)=BI(IBS0)
    ISR=2
    Y(IBS1,IBS1)=1.01*Y(IBS1,IBS1)
    GO TO 800
820 BIS(2)=BIS(1)/BI(IBS0)
    ISR=4
    Y(IBS1,IBS1)=1./Z(IBS1)
    Y(IBS2,IBS2)=1.01*Y(IBS2,IBS2)
    GO TO 800
830 .....
    .....
850 WRITE(3,870)IBS0,IBS1,IBS2,IBS3,
    1BIS(1),BIS(2),BIS(3),BIS(4)
870 FORMAT(1H0,.....)
890 IF(NVN1.EQ.99)GO TO 907
    .....
    .....
    
```

図8 感度解析プログラム

```

C DY=D*Y
52 DO 53 I=1,MD
    DO 53 J=1,N
        W=0.
        DO 54 K=1,N
            IF(D(I,K).EQ.0)GO TO 54
            IF(Y(K,J).EQ.0)GO TO 54
            W=W+D(I,K)*Y(K,J)
54 CONTINUE
53 DY(I,J)=W
    .....
    
```

図9 sparse 計算

差の低減を図ろうとしたが、少なくとも50 [%]以上 sparse でないと効果はなく、反って転送に要する時間だけ増すことになる。さらに、枝の番号付けにあたっては、制御電流源の含まれる枝の番号と被制御電流源の含まれる枝の番号は隣接している方が望ましい。

4. 使用法および例題

図10(a)の回路に DRAP を適用した場合について使用法の概略を説明する。まづ、図10(b)のような等価回路をかき、節点と枝にそれぞれ任意に番号をつける。枝7のように起電力のみの場合には、

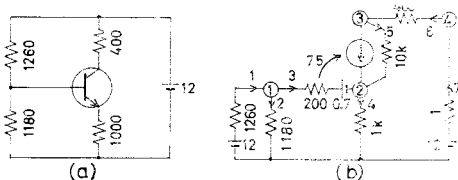


図10 例題

解析理論の関係で等価電流源に変換される際に不都合が生じるので、他の抵抗に比べて十分小さい値の抵抗(例題では1[Ω])を直列に挿入する。入力データ表への記入は等価回路を見ながら(EX)の記入例にならって記入する。感度解析を行なうときは00を消し、インピーダンス変更を行ないたい枝と感度を求める枝の番号を記入する。出力量の指定も表の説明によればよい。記入が終ったものの一例は図5のようになり、この表の順にデータ・デッキの構成をやればよい。解析結果は図11のように印刷されて出てくる。

```

ANALYSIS BY **DRAP**
NO OF BRANCH 7, NO OF NODE 4.
BR NO  IMPEDANCE      ADMITTANCE
 1      .126000E+04    .793651E-03
 2      .118000E+04    .847458E-03
 3      .200000E+03    .500000E-02
 4      .100000E+04    .100000E-02
 5      .100000E+05    .100000E-03
 6      .400000E+03    .250000E-02
 7      .100000E+01    .100000E+01

4.  D MATRIX
-1.  1.  1.  .  .  .
.  .  -1.  1.  -1.  .
.  .  .  .  1.  -1.
.  .  .  .  .  1.  -1.

BR NO  VOLTAGE SOURCES
 1      .120000E+02
 3      -.700000E+00
 7      .120000E+02

CURRENT CONTROLLED CURRENT SOURCES
BR NO  CONB NO  BETA  Y(CONB, BR)
 3      5      75    Y( 5, 3) = .375000E+00

*** RESULTS ***
NODE NO  NODE VOLTAGE
 1      .576671E+01
 2      .505471E+01
 3      .999712E+01
 4      .119950E+02
BRANCH NO  BRANCH CURRENT
 1      .494705E-02
 2      .488705E-02
 3      .600062E-04
 4      .505471E-02
 5      .499471E-02
 6      .499471E-02
 7      .499471E-02

END

```

図11 例題の解析結果

5. DRAP の性能

直流解析の狭い範囲に限って文献⁽¹⁾の資料と比較してみるとほぼ ECAP なみで SCEPTRE にはやや劣っているようである。

FACOM 230-10 (8k byte) を用いたときの解析能力は枝数10, 節点数5程度であり, NEAC-2200 モデル500 を用いたときは枝数30, 節点数15

のとき, 記憶容量として約7 K語を必要とする。

節点アドミタンスと節点インピーダンスの計算法としてはより早く計算できる方法に変えてやる必要がある, そうすれば解析能力をあげることができると思う。

6. 結 言

基礎的な解析プログラム DRAP について報告したが, これをベースとして過渡解析, 最適設計などが行なえるように, また, 非線形モデルの導入を図ってレベルアップしていきたいと思う。

終りに, このプログラムは, 昭和45年度情報処理関係内地研究員制度により大阪大学基礎工学部情報工学科田中研究室で行なった研究の一部であることを付記し, 研究の機会を与えて頂いた文部省, 葛西校長ならびに関係各位およびご指導頂いた田中教授はじめ研究室の諸氏に感謝する。

参考文献

- (1) D. F. Dawson et al. : Computer-aided design of electronic circuits ; Proc. of IEEE, Vol. 55, No. 11, 1967, pp. 1946~1954.
- (2) S. R. Sedore : SCEPTRE : Network Analysis Program ; IBM Journal, Nov., 1967, pp. 627~637.
- (3) 小野寺・大類 : 電気回路網基礎理論 ; 学献社, 1967年12月.
- (4) F. H. Branin : Computer method of network analysis ; Proc. of IEEE, Vol. 55, No. 11, 1967, pp. 1787~1819.
- (5) Jong and Zobrist : Topological formulas for linear networks ; IEEE Tr. on C. T., Sept., 1968, pp. 251~258.

(昭和46年7月31日受付)

線形計画法を適用した回路網設計法

(電気工学科) 村上 滋 樹

Application of Linear Programming to Computer-Aided Circuit Design

Shigeki MURAKAMI

There are some unsolvable problems by the usual linear circuit analysis method. The simplex method of the linear programming is applied to improve these defects. Values of circuit elements that satisfy the constraints are directly calculated by the simplex method. This direct method avoids the usual iterative analysis-optimization schemes, reducing computer times considerably.

In this paper the formulation of the constrained circuit design problem is explained using an example, and the flow chart of DRAP-L1 is given.

1. 緒 言

DRAP⁽¹⁾などの線形解析法は抵抗回路網などの解析・設計において一応の成果を挙げ得るが、この解析法は本質的に限界があり適用不適當な問題が存在する。

その弱点を克服して適用範囲を拡張し、最適化をより短い時間で達成するために、線形計画法(以下、LPを略記とする)を導入することにした。

本報告では、回路網設計問題をLP問題化する方法と、回路網設計手順について述べる。

2. LPの導入

2・1 線形解析における問題点と一解決法

抵抗回路網の回路解析・設計において、予め指定した方向に電流を流したい場合予期した結果が1回の試行によって得られるとは限らない。またトランジスタ等の能動素子を含む場合には、一般にトランジスタ・モデルを順方向は勿論逆方向についても関数形またはサブルーチンにより定義する必要があるが解析の簡略化と計算時間の短縮の点から順方向のみ定義し、ベース電流が逆方向に流れるような結果が出てきた場合には、順方向に流れるようになるまで適當な素子の値を修正する

という方法で解析・設計する手法が考えられる。この手法は連立方程式を解くことにより解を得るのであるから、すべての問題について変数(枝電流、節点電圧)の非負値が確保される保証は全く存在せず、素子値の修正が必然的に起こる。

しかし、修正の範囲の決定についてはある程度の経験を必要とし、繰り返し修正に要する時間もかなり多くなるであろう。そこで、OR問題等で既に広く用いられているLPを導入することが提案された⁽²⁾。

LP⁽³⁾は実行可能解の存在する場合には、解の非負性を保証するので、各節点電圧、各枝電流の正方向を予め定めておけば、順方向についてのみ定義された線形トランジスタ・モデルを用いても実状に即した解を得ることが可能となる。

2・2 LP問題の標準形と解法

LP問題の標準形はつぎのように述べられる。

$$\left. \begin{aligned} \text{制約} \quad & \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq a_{j0} \quad (j=1, 2, \dots, m) \\ & x_i \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, n) \end{aligned} \right\} \text{のもとで線形目的関数} \quad (1)$$

$$B = \sum_{i=1}^n a_{0i} x_i$$

を最大にするような x_1, x_2, \dots, x_n を求めよ。

ふつうのLP問題では制約式としては、LT不等式だけでなく等式およびGT不等式が含まれるのでDantzigによって開発されたシンプレックス法⁽³⁾においてはつぎの形式の制約式が許可されている。

$$a_{j0} + \sum_{i=1}^n a_{ji} x_i \leq 0 \quad (a_{j0} \geq 0) \dots\dots\dots(2)$$

LP問題の解法アルゴリズムおよびプログラムの詳細については文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾にゆずるが、計算センター等でLPプログラムが利用できる場合にはそれを活用するのが最も簡便であろう。

3. 回路網設計問題のLP問題化

抵抗回路網設計問題は、一般に次のように述べられる。

“予め指定された節点電位、枝電流、および入出力イミタンスをもつように未決定素子の抵抗値を決定せよ”。

予め指定された諸量が回路網の制約となるが以下それらの表現について述べる。

3.1 回路網制約

回路網の解法としては節点電位解法を用い、制約条件を挿入するためにNullator⁽⁷⁾を導入する。Nullatorは図1(a)のように端子電圧0、入力電流0である2端子素子である。

回路制約として2節点間の電位差を指定する値に保ちたい場合、すなわち

$$V_i - V_j = V_{0k} \dots\dots\dots(3)$$

としたいときには、図1(c)のようにNullatorと独立電圧源を用いる。Nullatorを除去した場合には回路網に何らの制約も与えない。

枝電流を指定する値に保ちたい場合、すなわ

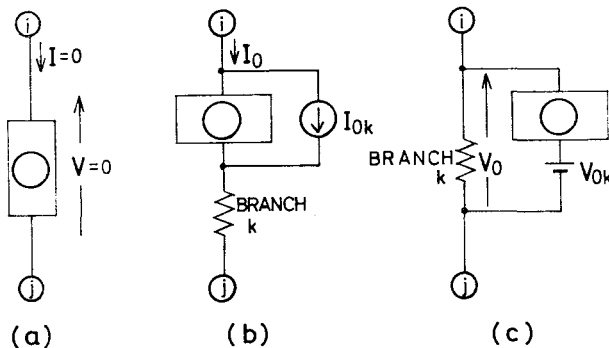


図1 (a) Nullator (b) 枝電流の制約 (c) 枝電圧の制約

ち、

$$I_k = I_{0k} \dots\dots\dots(4)$$

とするときは、図1(b)のようにNullatorと独立電流源を用いる。Nullatorを除去すると枝kに電流源のみ存在する状態となる。枝kが抵抗をもつ場合には、等価的に電圧制約に変換され電圧源に置換できる。

抵抗値に上限、下限の制約をつけようとする場合には

$$\left. \begin{aligned} (V_i - V_j) / I_k &\geq R_{kL} \\ \text{または } (V_i - V_j) / I_k &\leq R_{kH} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

とし、これを变形して制約式は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} V_i - V_j - R_{kL} I_k &\geq 0 \\ \text{または } V_i - V_j - R_{kH} I_k &\leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(6)$$

ただし、 R_{kL} は下限値、 R_{kH} は上限値を表わす電流の方向(符号)について予知困難なときは、符号条件を緩和するため次のような表現形式をとるとよい。

$$I_k = I_i - I_j \dots\dots\dots(7)$$

3.2 回路網制約の定式化の手順

(1) Nullator、電圧源および電流源を用いて制約条件をとり入れた等価回路図を作成する。未決定素子には、 R_1, R_2, \dots の番号をつけ、夫々の素子電流を I_1, I_2, \dots とする。節点番号および既知素子の枝番号は任意とするが枝番号は未決定素子の最終番号に続いた番号より始める。

(2) Nullatorを除去した等価回路について回路網方程式をつくるが、未決定素子の値は最大とし、電流最小の状態におくようにする。方程式は次のようになる⁽⁸⁾。

$$(DyD^T)V = D(s - ye) \dots\dots\dots(8)$$

ただし、 D : 接続行列

y : アドミタンス行列

V : 節点電圧ベクトル

s : 電流源

e : 電圧源ベクトル

(3) 電圧制約式をつくる。

$$B_V V = V_0 \dots\dots\dots(9)$$

ただし、 B_V : 電圧制約関係行列

V_0 : 電圧制約値ベクトル

(4) 電流制約式をつくる。

$$B_I y D^T V = I_0 \dots\dots\dots(10)$$

ただし、 B_I ：電流制約関係行列

I_0 ：電流制約値ベクトル

(5) 未知電流についてカットセット行列をつくる。

$$CI \leq 0 \dots\dots\dots(11)$$

ただし、 C ：カットセット行列

I ：未知電流ベクトル

(6) 抵抗値に上限，下限を設定するときは範囲についての制約式をつくる。

以上の制約式をまとめて表現すると(1)~(5)については次のようになる。

$$\begin{bmatrix} C & Y_0 \\ 0 & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_s \\ V_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(12)$$

ただし $Y_0 = DyD'$ $\dots\dots\dots(13)$

$I_s = D(s - ye)$ $\dots\dots\dots(14)$

であり電流制約は電圧制約に置換してある。

3.3 定式化の例

図2の例題について具体的に定式化について説明する。

まず，制約された等価回路を図3のようにかき次に Nullator を除去した等価回路図4について節点電位方程式をたてるとつぎのようになる。

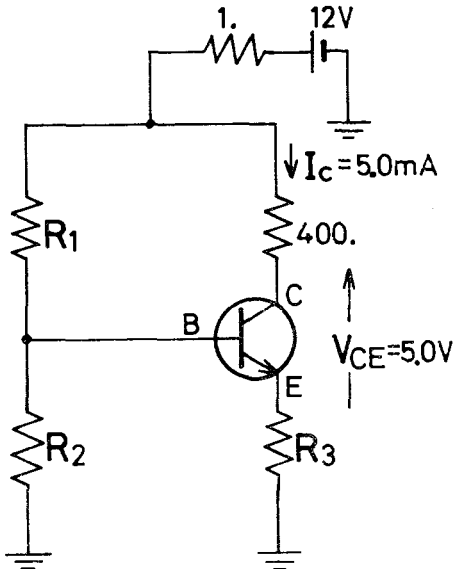


図2 設計例題

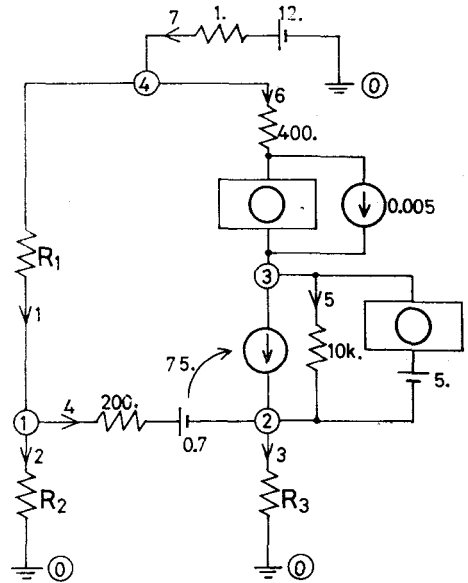


図3 制約された等価回路

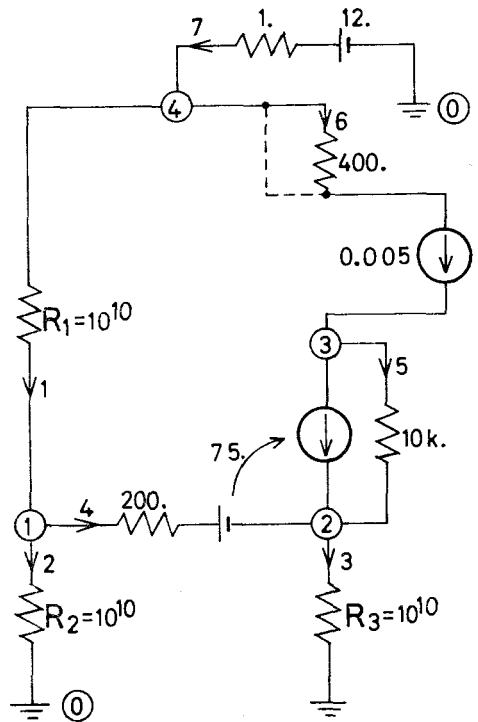


図4 Nullator を除去した便宜的等価回路

$$\begin{pmatrix} 0.005 & -0.005 & 0.0 & -1.0 \times 10^{-10} \\ -0.38 & 0.3801 & -0.0001 & 0.0 \\ 0.375 & -0.3751 & 0.0001 & 0.0 \\ -1.0 \times 10^{-10} & 0.0 & 0.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0035 \\ -0.266 \\ 0.2675 \\ 11.995 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(15)$$

電圧制約式は

$$[0 \ -1 \ 1 \ 0][V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^t = 5.0 \dots\dots(16)$$

電流制約は

$$(V_4 - V_3)/400 = 0.005 \dots\dots\dots(17)$$

であるが、これは等価的につぎのように電圧制約に置換できる。

$$V_4 - V_3 = 2.0 \dots\dots\dots(18-1)$$

または

$$[0 \ 0 \ -1 \ 1][V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^t = 2.0 \dots\dots(18-2)$$

未知電流についてのカットセット行列は図5より求められ次のようになる。

$$CI = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(19)$$

(15)~(19)の制約式を(20)の形式にまとめて表現できることはつぎの例より容易に理解できよう。

(15)において

$$[0.005 \ -0.005 \ 0.0 \ -1.0 \times 10^{-10}]$$

$$[V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^t = 0.0035$$

は図3の回路では等号が成立しないで、LT不等式でなければならない。この関係に未知電流の関係を組み合わせやるとはじめて等号が成立する

$$\begin{pmatrix} -1 & 1 & 0 & 0.005 & -0.005 & 0.0 & -1.0 \times 10^{-10} \\ 0 & 0 & -1 & -0.38 & 0.3801 & -0.0001 & 0.0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.375 & -0.3751 & 0.0001 & 0.0 \\ 1 & 0 & 0 & -1.0 \times 10^{-10} & 0.0 & 0.0 & 1.0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0 & -1.0 & 1.0 & 0.0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.0 & 0.0 & -1.0 & 1.0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0035 \\ -0.266 \\ 0.2675 \\ 11.995 \\ 5.0 \\ 2.0 \end{pmatrix} \dots\dots\dots(20)$$

4. 設計手順

線形最適化回路網設計のフローチャートの一例は図6のようになる。

解法の1つとしては、(20)の形式で制約されたものについてはガウス消去法により、まず

$$Y_0 V = I_s$$

$$BV = V_0$$

を解く。設計例では、

$$[V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4] = [5.707 \ 4.995 \ 9.995 \ 11.995]$$

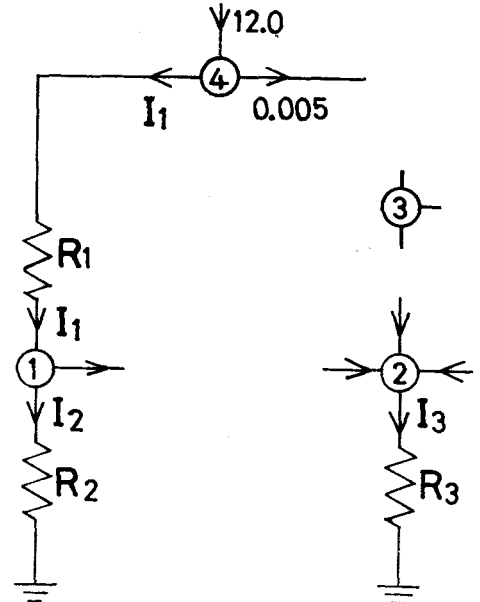


図5 未知電流カセットセット

こととなり次式が得られる。

$$[-1 \ 1 \ 0 \ 0.005 \ -0.005 \ 0.0 \ -1.0 \times 10^{-10}]$$

$$\cdot [I_1 \ I_2 \ I_3 \ V_1 \ V_2 \ V_3 \ V_4]^t = 0.0035$$

このように考えていくと制約式は上記の制約内ではすべて等式で表わされ次のようになる。

が求まる。

R_3 は未定ではあるが、 V_2 が求まり、電流も計算可能なので既知素子と考えてよくその値は、

$$R_3 = 0.987154 [k\Omega]$$

である。

R_1, R_2 は I_1 または I_2 を指定してやらないと決定できない。例えば、 $I_2 = 1 [mA]$ とすると、

$$I_1 = 1.06 [mA] \text{ となり}$$

$$R_1 = 5.932 [k\Omega], R_2 = 5.707 [k\Omega]$$

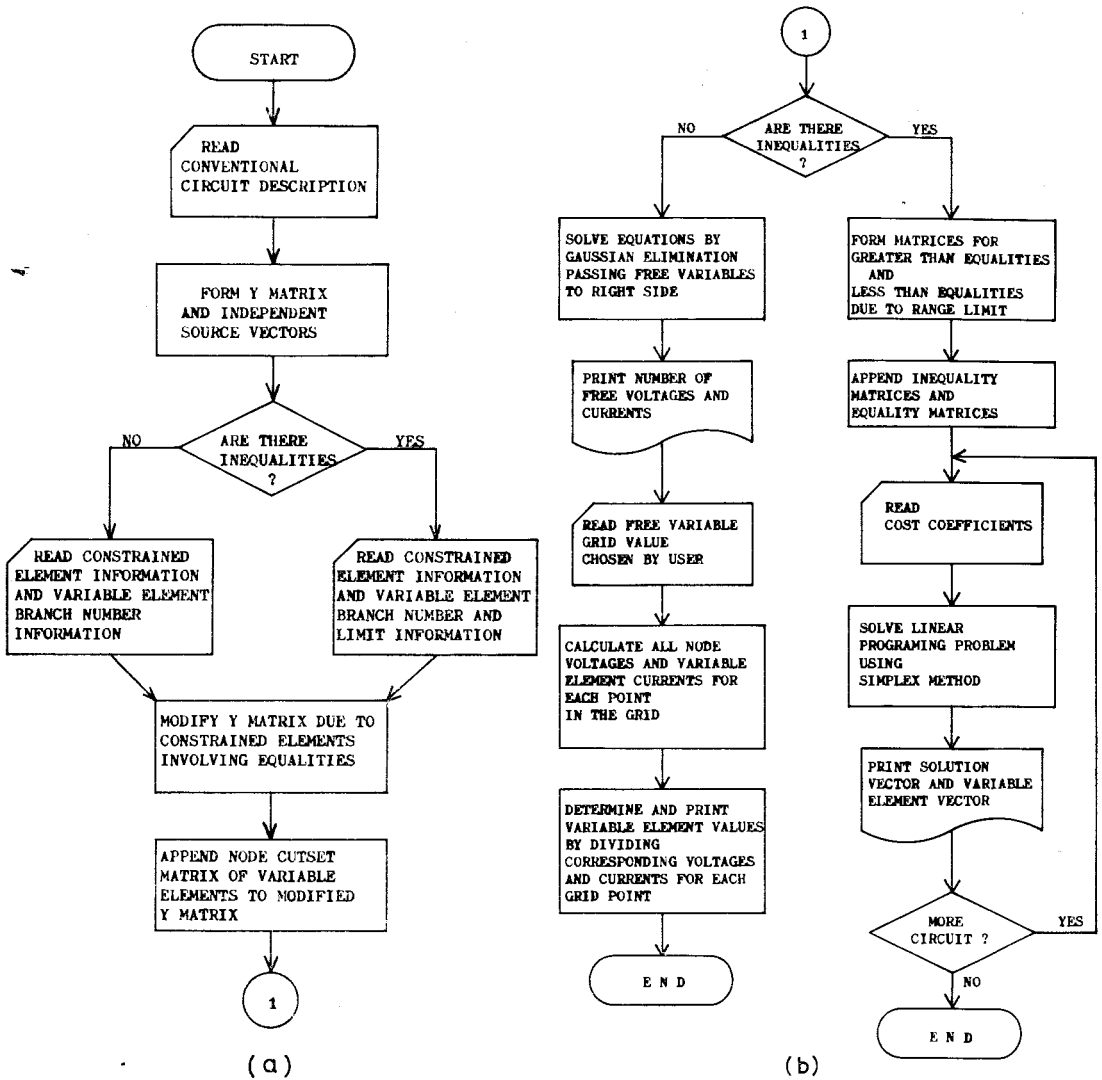


図6 DRAP-L1のフローチャート

となる。

この例題は表面上は未決定素子数が3であるが、実は1パラメータ問題に帰着したことが分り、フローチャート左半分の方法で解決できる。

制約式として、 R_1 , R_2 の上限, 下限をきめたとき、また節点1よりみたインピーダンスに制約をつける等複雑な条件が附加された場合には前記の方法では手数がかかるので、シンプレックス法を適用する。図6では実行可能解の得られる場合についてのみ示しているが、不能解の場合には回路定数の再検討が必要となる。

6. 結 言

抵抗回路網設計問題へのLPの適用方法について詳細に述べた。具体的な設計能力と更に生じるであろう問題点についての検討は次の機会に行なう。

終りに、この報告は昭和45年度情報処理関係内地研究員制度により大阪大学基礎工学部情報工学科田中研究室で行なった研究の一部であることを付記し、本部省、本校校長、田中教授および関係各位に深く感謝する。

参考文献

- (1) 村上：DRAP：回路網解析プログラム；呉高専研究報告，第7巻第1号，昭和46年。
- (2) E. B. Kozemchak and M. A. Murray-Lasso：Computer-Aided Circuit Design by Singular Imbedding；Bell System Tech. J., 1969.
- (3) G. B. Dantzig：Linear Programming and Extensions；Princeton Univ. Press, 1963.
- (4) H. P. Kunzi et al.：Numerical Methods of Mathematical Optimization with ALGOL and FORTRAN Programs；Academic Press, 1968.
- (5) G. E. Forsythe and C. B. Moler：Computer Solution of Linear Algebraic Systems；Prentice-Hall Inc., 1967.
- (6) 電気学会 通信教育会：電子演算工学概論；電気学会，昭和45年6月。
- (7) 例えば，斉藤正男：回路網理論入門；東京大学出版会，1967年9月。

(昭和46年7月31日受付)

サイリスタチョップによる直流他励 電動機 の速度制御 (第1報)

(電気工学科) 野 村 利 英

The Speed Control of D.C. Separately-Excited Motor using Thyristor Chopper (Report 1)

Toshihide NOMURA

This report treats of the characteristics on the speed control method of direct current micro motor. The circuit using on the speed control method of motor is one of thyristor chopper flip-flop.

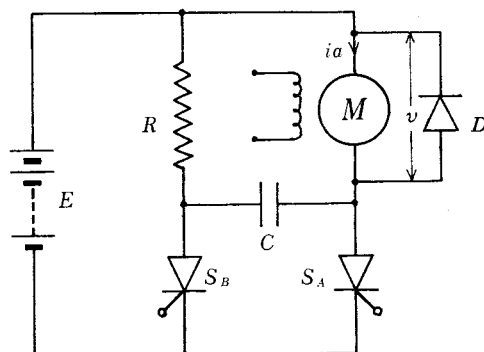
§ 1 まえがき

サイリスタチョップによる直流電動機 の速度制御は、近年急速に発達し、現在では実用化されたものも幾らか発表されている。

チョップによって直流電動機 の速度制御をする場合、電機子電圧の平均値はチョップのオン時間に対する繰返し周期と、負荷の状態によって大きく変化することが発表されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。これにより電動機 の電機子電流は連続、不連続の二つのモードを生じるが、本実験では信号回路のパルス幅を適当にすることにより、負荷の状態に関係なく電流不連続の回路とし、また直流電動機として小型マイクロモーターを使用し、速度制御を行った結果を発表する。

§ 2 回 路

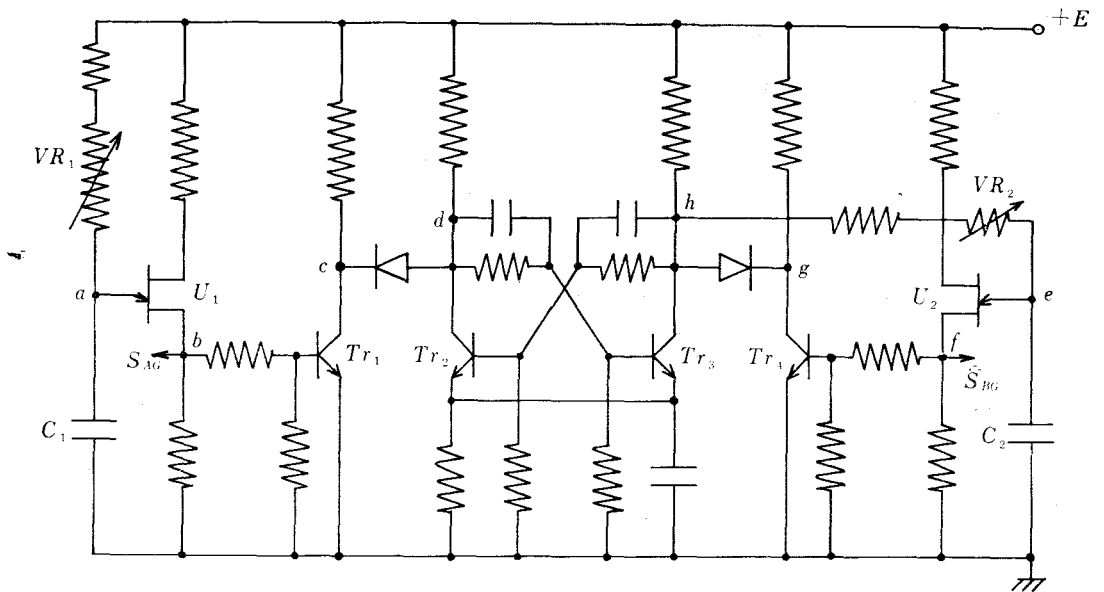
第1図は運転実験に用いた回路である。サイリスタ S_A と直流電動機 M は主回路を構成している。動作原理は S_A のゲートに信号が入ると S_A はオンとなり、電源電圧 $E-M-S_A-E$ の回路ができ、 M に電流が流れる。その間に $E-R-C-S_A-E$ を通じ、転流コンデンサ C は RC の時定数で R 側が (+) になるように電源電圧まで充電される。ここで消弧用サイリスタ S_B のゲートに信号が入れば S_B はオンとなり、 $E-R-S_B-E$ の回路に電流が流れ、また $C-S_B-S_A-C$ の閉回路において転流用



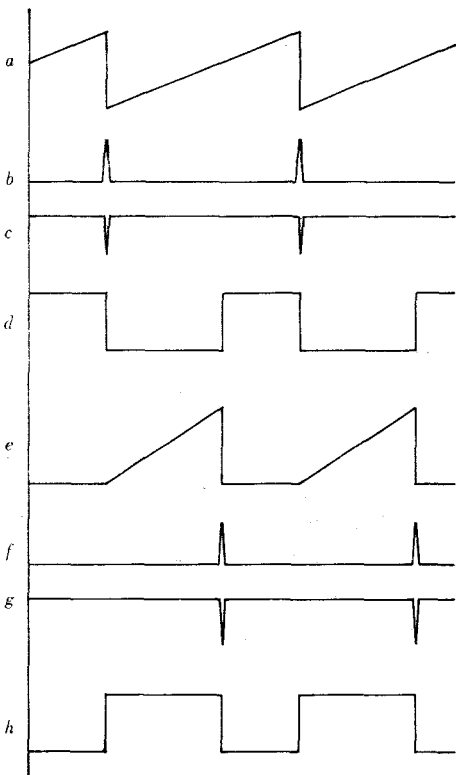
第1図 サイリスタチョップ電源で運転される直流他励電動機

コンデンサ C は放電し、その後 $E-M-C-S_B-E$ の回路においてコンデンサ C は M 側が (+) になるように電源電圧 E まで充電される。主回路がオフの時の M のインダクタンスに蓄積されているエネルギーは、フリーホイールダイオード D を通じて放電される。

第2図に示すサイリスタチョップ駆動用信号発生回路はトランジスタフリップフロップ回路と、2ケのユニジャンクショントランジスタを使用した回路であり、第3図に各部の電圧波形を示す。 VR_1-C_1 の時定数はチョップによる矩形波パルスの繰返し周期を決定するものであり、また VR_2-C_2 の時定数はパルス幅を変化させるものである。本実験ではこの時定数を適当に定め、繰返し周期



第2図 サイリスタチョップ駆動用信号発生回路



第3図 信号発生回路各部波形

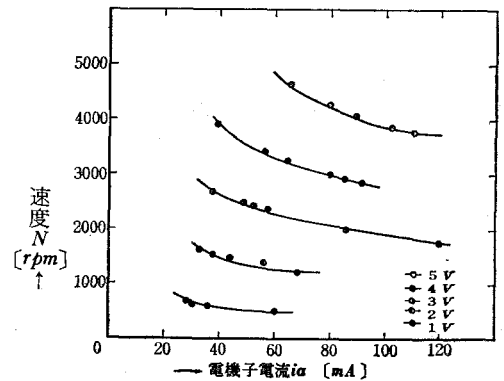
を 50ms~5ms, パルス幅を 4ms~0.8ms まで変化させパルス波形が重ならないような回路を構成し, 電機子電流波形を重ならないようにした。

§ 3 実験結果

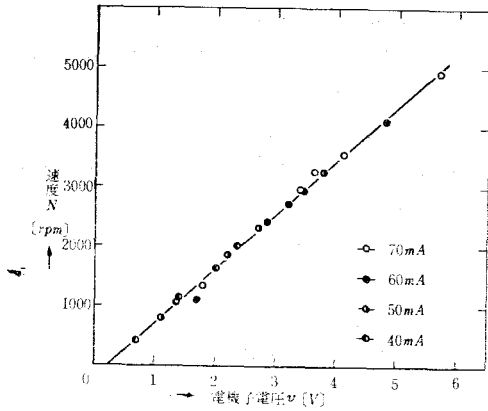
実験は定格 9V, 50mA, 3600r.p.m. の直流マイクロモーターを使用した, これには定速度用ガバナが付いていたので, これを取りはずして用いた。電機子回路の抵抗およびインダクタンスの実測値は 66Ω, および 5mH であった。モーターの負荷としては, 種々の重さを持つ円板を作成し用いた。また第1図における諸定数は $E=10V$, $R=30\Omega$, $C=2\mu F$ である。

第4図~第6図にモーターの速度—電機子電圧—電機子電流の各々の関係を明らかにしている。

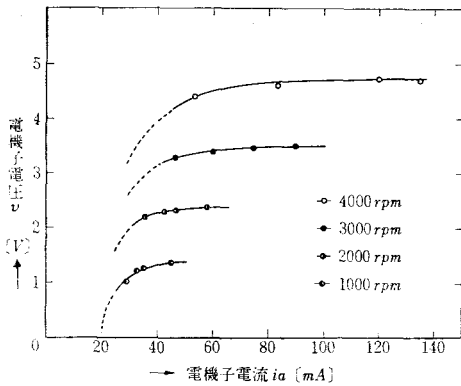
第4図では電機子電圧の値を一定にして電機子電流を変化させれば, ある値以上電流が流れても速



第4図 速度—電機子電流特性

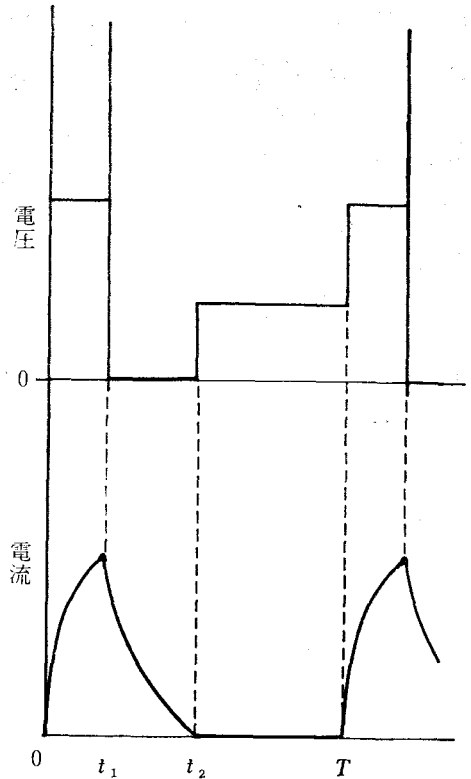


第5図 速度—電機子電圧特性



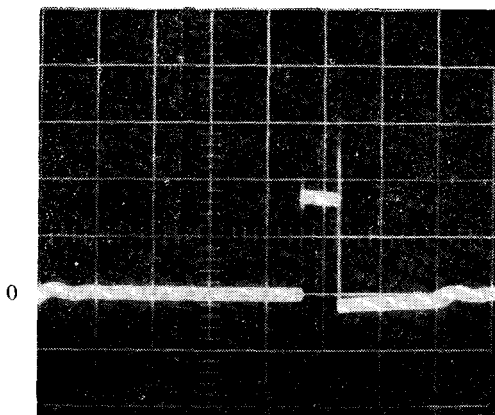
第6図 電機子電圧—電流特性

度は不変であることが明らかである。第5図においては、電機子電流を一定にして速度—電機子電圧特性を実測したが、電圧と速度は比例関係を維持していることがわかる。換言すれば、電機子電圧または速度を設定すれば、電機子電流に関係な

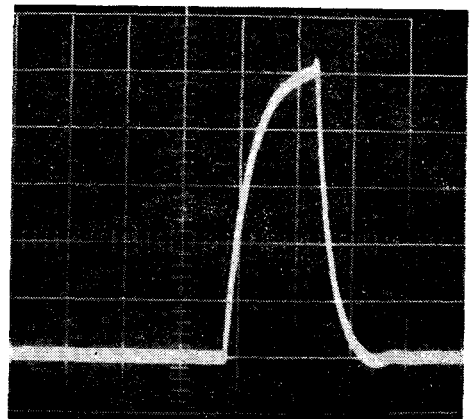


第7図 電機子電圧・電流位相関係

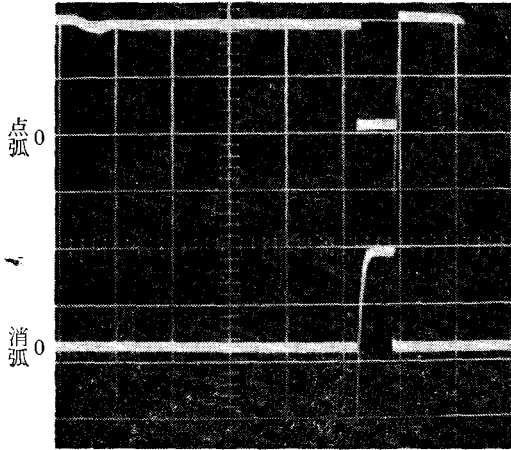
く、速度または電機子電圧が決定されるということである。第6図は速度を一定にして電機子電圧—電流との関係を表わしているが、速度が一定であれば、電流を変化させても電圧は変化しないということを明示しており、これは第5図について言えた事と同じである。この図において、破線で表わしたものは予想曲線であるが、1000r.p.m.の曲



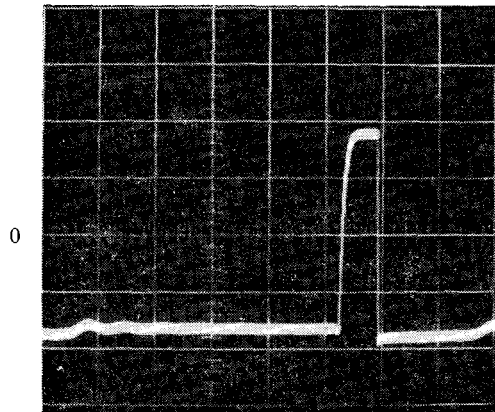
第8図 電動機端子電圧
1ms/div 5V/div



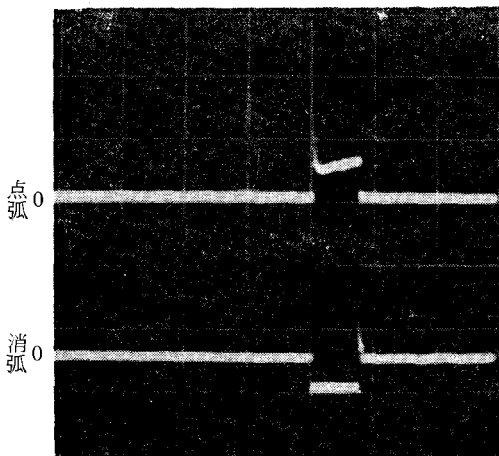
第9図 電動機・電機子電流
1ms/div 1A/div



第10図 サイリスタ点弧・消弧電圧
1ms/div 5V/div



第11図 転流コンデンサ端子電圧
1ms/div 5V/div



第12図 サイリスタゲート点弧・消弧電圧
1ms/div 1V/div

線ではこれが顕著に表われているが、4000r.p.m.では一寸判じにくい。しかしモーターの起動特性等を考慮しても予想される特性である。

第7図では電機子電圧と電流との位相関係を表わしているが、第4図～第6図までの測定値は、いづれも、第7図の $t_1/T=0.1$ として実測している。これらの実際の波形を、第8図および第9図に示す。

第10図～第12図では第1図におけるサイリスタ点弧一消弧電圧、転流コンデンサ端子電圧、およびサイリスタゲート電圧を示す。

§4 むすび

本装置は第4図～第6図に示すように、最底300r.p.m.～最高4500r.p.m.までの範囲の、滑らかな速度制御が可能であるが、一方今後に残された課題も多い。

その一つは従来の直流電動機速度制御法の中には、回転数を零から定格まで、滑らかに変化できるものもあるが、本装置では300r.p.m.以下の領域では不安定である。

第二に、第7図において、 $t_1/T=0.1$ のみ実験を行なったが、これでは十分といえず、この定数も、もっと幅広く変化させて実測し、それらの相関的なものも見つけ出したい。

第三に、第1図における各定数 R, C, ω の値を変化させて特性を取りたい。

これらは第2報でまとめて報告したい。また、将来はこの実験を基にして、本校実験室にある定格100V、2～3kW級の、直流電動機速度制御装置を完成させたいと思う。

最後に、この実験にご指導を賜った中村教授、綿井講師を始め、電気工学科の諸先生方に厚く感謝の意を表します。

文 献

- (1) 入江, 藤井, 石崎, 徳田: 制御工学10, 193(昭41)
- (2) 入江, 藤井, 石崎, 徳田: 日本自動制御協会, 第9期通常総会学術講演会206(昭41-6)
- (3) 入江, 藤井, 石崎: 電学誌88-4 675(昭43)
- (4) 仁田, 沖津, 鈴木, 木内: 電学誌89-11 2133(昭44)
- (5) 仁田, 沖津, 鈴木, 木内: 電学誌90 1577(昭45)
- (6) 竹内: Theory of SCR Circuit and Application to Motor Control

(昭和46年7月20日受付)

電子計算機による楕円型境界値問題の 数値解析（第1報）

（電気工学科） 森 本 義 広

On the Numerical Analysis of Elliptic Boundary Value Problems by Digital Computer (Report 1)

Yoshihiro MORIMOTO

As solutions of boundary value problems cannot be generally given in close form, the various finite difference methods that give approximating solutions have been considered.

The purpose of this paper is to present a method of numerical analysis by digital computer of the two dimensional Poisson's and Laplace's equations, which, for example, apply to the analysis of magnetic and electric field maps, etc.

The basic theory for finite difference equations of the boundary value problems and the method of successive overrelaxation for numerical solutions of these equations are described.

A flow chart of a computer program and some examples of the boundary value problems are given.

§ 1 緒 言

本論文は二次元楕円型偏微分方程式の中で、例へば電磁場、重力場等のポテンシャル問題に適応されるポアソンあるいはラプラス方程式の数値解析について、その領域や境界条件が複雑な場合の境界値問題を、格子点法を用い、電子計算機で解析している。この解析の意図についてはすでに報告したところである^{1),2),3)}。その特徴は、§ 3の仮定に従うものであれば、どのような境界値問題であっても、簡単な入力フォーマットで解析できる汎用のプログラムを開発したことにある。

§ 2 ラプラスおよびポアソン方程式の差分近似式と $S \cdot O \cdot R$.

関数 $\phi(x, y)$ に関する二次元楕円型偏微分方程式（ポアソン方程式）

$$\frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi(x, y)}{\partial y^2} = K(x, y) \quad (x, y) \in G \quad \dots\dots\dots(2-1)$$

を境界条件,

$$\phi(x, y) = f(x, y) \quad \begin{matrix} (x, y) \in S \\ f(x, y) \in C^0(S) \end{matrix} \quad \dots\dots\dots(2-2)$$

のもとに解く Dirichlet 問題を考える。

この外、境界条件として、境界 S 上のすべての点で $\phi(x, y)$ の法線方向の導関数値

$$\frac{\partial \phi(x, y)}{\partial n} = g(x, y) \quad (x, y) \in S \quad \dots\dots\dots(2-3)$$

が与えられている場合（Neumann 問題）と、あるいは、

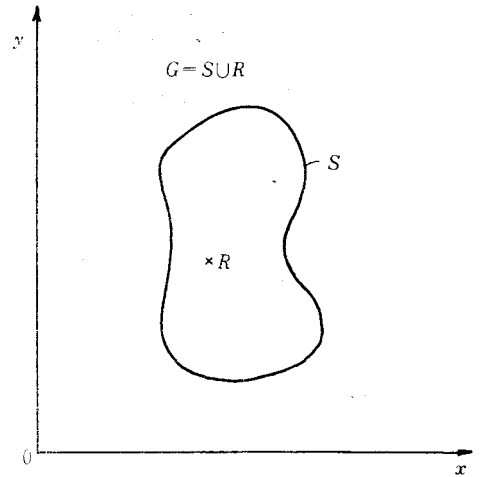
$$\begin{matrix} \phi(x, y) = f(x, y) & (x, y) \in S^* \\ \frac{\partial \phi(x, y)}{\partial n} = g(x, y) & (x, y) \in S' \end{matrix} \quad \dots\dots\dots(2-4)$$

ただし、 $S' = S - S^*$, $S^* = \bigcup_1^k S_i$
 の両方が与えられている (Mixed 問題) 場合があるが、ここでは、境界条件として (2-2) 式が与えられている場合を考える。

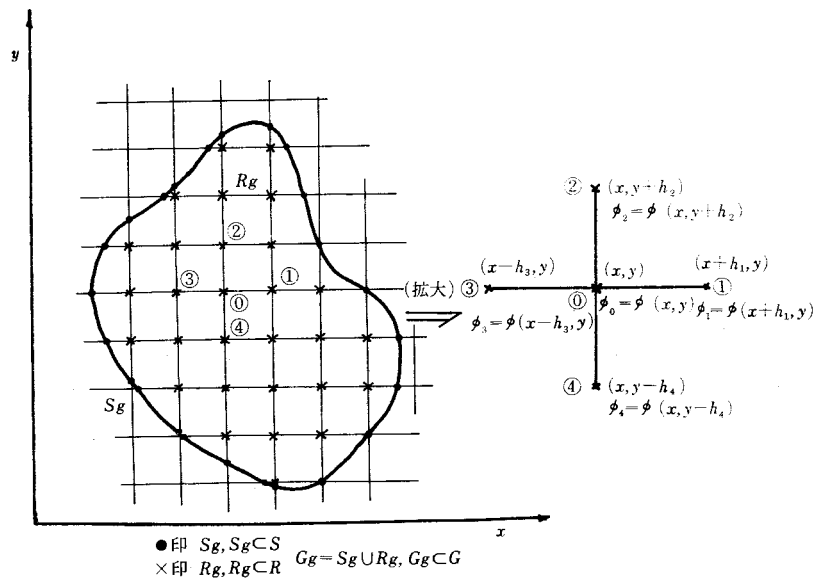
ここに領域 G は $x-y$ 平面の、ある単連結な集合とし、 S はその境界である。又 R を領域 G の内部とする。(図(1)参照)

一般に、この問題は解析解が得られないため、近似解が要求されている。以下、この問題を差分方程式で解析する方法を述べる。

まず、図(2)のように領域 G を格子網で区分する。これによって出来た格子点 (x, y) , $(x+h_1, y)$, $(x, y+h_2)$, $(x-h_3, y)$, $(x, y-h_4)$ にそれぞれ 0, 1, 2, 3, 4 と番号づけを行う。



図(1) 単連結な領域



図(2) $G_g = S_g \cup R_g$ で置き換えられた領域

ここに、

$$h_1, h_2, h_3, h_4 > 0 \dots \dots \dots (2-5)$$

次に格子点 (x, y) で次式を満足するような $\alpha_i (i=0, 1, 2, 3, 4)$ を決定する。

$$\frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial y^2} - K_0 \equiv \sum_{i=0}^4 \alpha_i \phi_i - K_0 \dots \dots \dots (2-6)$$

$\phi_i (i=1, 2, 3, 4)$ を (x, y) でテーラー展開すると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial y^2} - K_0 &\equiv \phi_0 (\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4) + \frac{\partial \phi_0}{\partial x} (h_1 \alpha_1 - h_3 \alpha_3) + \frac{\partial \phi_0}{\partial y} (h_2 \alpha_2 - h_4 \alpha_4) \\ &\quad - \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} (h_1^2 \alpha_1 + h_3^2 \alpha_3) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial y^2} (h_2^2 \alpha_2 + h_4^2 \alpha_4) - K_0 + \sum_{i=1}^4 [O(\alpha_i h_i^3)] \dots \dots \dots (2-7) \end{aligned}$$

となり、この式より $\alpha_i (i=0, 1, 2, 3, 4)$ は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \alpha_0 &= -2\left(\frac{1}{h_1 h_3} + \frac{1}{h_2 h_4}\right), \quad \alpha_1 = \frac{2}{h_1(h_1 + h_3)} \\ \alpha_2 &= \frac{2}{h_2(h_2 + h_4)}, \quad \alpha_3 = \frac{2}{h_3(h_1 + h_3)}, \\ \alpha_4 &= \frac{2}{h_4(h_2 + h_4)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2-8)$$

これにより、(2-6)式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_0}{\partial y^2} - K_0 &= -2\left(\frac{1}{h_1 h_3} + \frac{1}{h_2 h_4}\right)\phi_0 + \frac{2}{h_1(h_1 + h_3)}\phi_1 - \frac{2}{h_2(h_2 + h_4)}\phi_2 \\ &+ \frac{2}{h_3(h_1 + h_3)}\phi_3 + \frac{2}{h_4(h_2 + h_4)}\phi_4 - K_0 + \sum_{i=1}^4 [O(h_i)] \dots\dots\dots(2-9) \end{aligned}$$

(2-9)式で、誤差の項 $\sum_{i=1}^4 [O(h_i)]$ を無視すると、

ポアソン方程式の差分類似式が得られる。

したがって、格子点 (x, y) のポテンシャル値 ϕ_0 は次式によって与えられる。

$$\begin{aligned} \phi_0 &= \frac{h_1 h_2 h_3 h_4}{h_1 h_3 + h_2 h_4} \left\{ \frac{1}{h_1(h_1 + h_3)}\phi_1 + \frac{1}{h_2(h_2 + h_4)}\phi_2 + \frac{1}{h_3(h_1 + h_3)}\phi_3 + \frac{1}{h_4(h_2 + h_4)}\phi_4 - \frac{1}{2}K_0 \right\} \dots\dots\dots(2-10) \end{aligned}$$

R 内の格子点 R_g の数を M 個とすれば、 M 個の未知数 $\phi_m (m=0, 1, 2, \dots, M-1)$ と M 個の一次方程式が成立するが、これを $S \cdot O \cdot R$ (あるいは補外 Liebmann 法) で解析する。

今、反復順序として、 R 内の j の最上段から行方向に計算を進めるものとすれば、 $S \cdot O \cdot R$ の反復式は R 内の格子点 R_g について、

$$\begin{aligned} \phi_{ij}^{(k+1)} &= \phi_{ij}^{(k)} + \omega \left\{ \frac{h_1 h_2 h_3 h_4}{h_1 h_3 + h_2 h_4} \left(\frac{1}{h_1(h_1 + h_3)}\phi_{i+1, j}^{(k)} + \frac{1}{h_2(h_2 + h_4)}\phi_{i, j+1}^{(k+1)} + \frac{1}{h_3(h_1 + h_3)}\phi_{i-1, j}^{(k)} \right. \right. \\ &\left. \left. + \frac{1}{h_4(h_2 + h_4)}\phi_{i, j-1}^{(k)} - \frac{1}{2}K_{ij} \right) - \phi_{ij}^{(k)} \right\} \dots\dots\dots(2-11) \end{aligned}$$

となる。ただし、境界値ポテンシャルは

$$\phi \equiv f$$

ここに、 k : 反復回数

ω : 加速係数

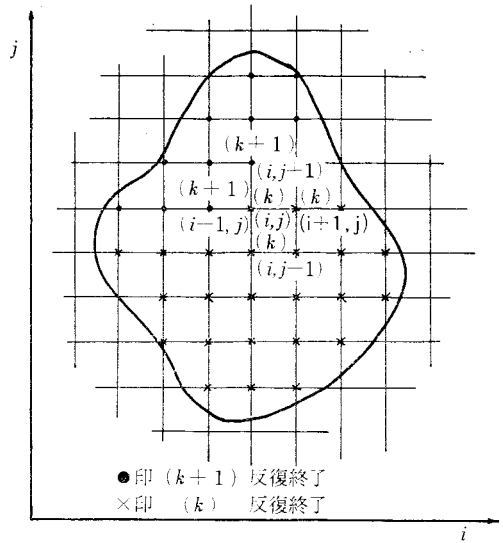
ラプラス方程式の差分近似式は上式で $K_{ij}=0$ と置くことによって得られる。

§ 3 境界値問題に対する仮定

- (1) : 境界は直線分によって折れ線近似される単連結な多角形として与えられる。
- (2) : 境界を構成する各線分上のポテンシャル値は折れ線近似される関数 $\phi(x, y) \equiv f(x, y)$, $(x, y) \in S$, $f(x, y) \in C^0(S)$ とする。
- (3) : 楕円型偏微分方程式は二次元のポアソンあるいはラプラス方程式とする。

§ 4 R 内の格子点 R_g の識別

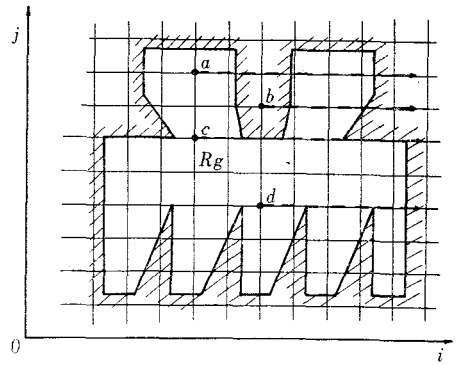
境界値問題を格子点点を用い電子計算機で解析する場合、もっとも煩雑なことはポテンシャル補正の対象となる格子点、すなわち、 R_g をどのようにして識別し記憶させるかということであろう。本論文



図(3) $S \cdot O \cdot R$ の反復順序

はこの解決策として次の二つの方法を採用した。

(1): ある格子点から、一つの座標軸に平行な半直線を引き、その半直線が境界線と交叉する回数を調べる。その回数が奇数回であれば、その格子点は R_g に属する。図(4)に示す任意の格子点 a, b, c, d はこの規則に従えば簡単に識別される。ただし c, d の格子点を通る半直線のように、その一部が境界線と一致し、あるいは端点を通るような場合、その交叉回数に適当な約束を設ける。



図(4) 半直線による格子点 R_g の識別法

(2): 不等式による方法

(i): 凸集合領域 (図(5))

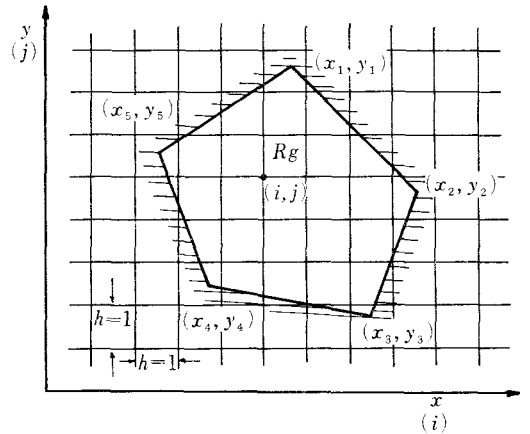
2 端点 (k 番目と $k+1$ 番目) を結ぶ直線の方程式を

$$y = f(x) \dots\dots\dots(4-1)$$

とする。

任意の格子点 (i, j) が $k=1, 2, \dots, N$ のすべてについて、次の条件式を満足すれば、その点は R_g に属する。

$$\left. \begin{aligned} x_k < x_{k+1} \text{ のとき } j < f(i) \\ x_k > x_{k+1} \text{ のとき } j > f(i) \\ x_k = x_{k+1} \equiv x \text{ のとき} \\ \quad j_k > j_{k+1} \text{ ならば } i < x \\ \quad j_k < j_{k+1} \text{ ならば } i > x \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-2)$$



図(5) 凸集合領域での格子点 R_g の識別法

(ii): 凸集合でない領域 (図(6))

2 端点 ($k-1$ 番目と $k+1$ 番目) を結ぶ直線の方程式を

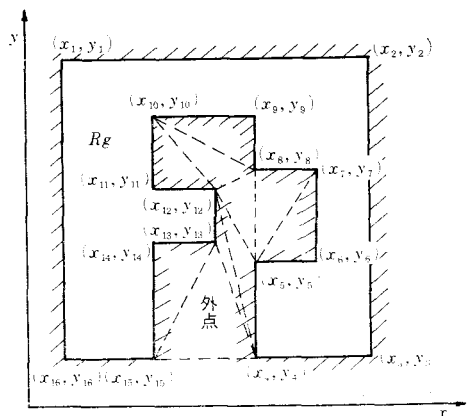
$$y = f(x) \dots\dots\dots(4-3)$$

とする。

端点 (x_k, y_k) が次式

$$\left. \begin{aligned} x_{k+1} > x_{k-1} \text{ のとき } f(x_k) > y_k \\ x_{k+1} < x_{k-1} \text{ のとき } f(x_k) < y_k \\ x_{k+1} = x_{k-1} \equiv x \text{ のとき} \\ \quad y_{k+1} < y_{k-1} \text{ ならば } x_k < x \\ \quad y_{k+1} > y_{k-1} \text{ ならば } x_k > x \end{aligned} \right\} \dots\dots(4-4)$$

を満足すれば、この端点 (x_k, y_k) を取り除き 2 端点 $((x_{k-1}, y_{k-1})$ と $(x_{k+1}, y_{k+1}))$ を結ぶ線分で新しい仮想の境界 (図(6)の点線) を作る。同様な操作によって最終的に、仮想の凸集合領域を得る。この操作によって増加した領域内の格子点には、これらの点が外点に属する旨を指定する。つぎに、この仮想の凸集合領域について (4-2) 式の判定法を適用する。

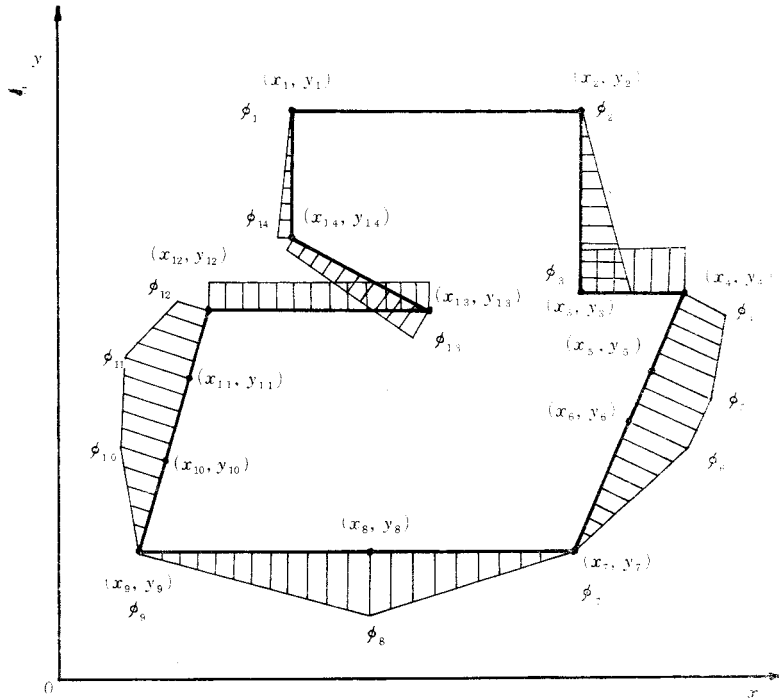


図(6) 凸集合領域への変換法

§ 5 入力様式

§ 3 の仮定に従う境界値問題では、次のような簡単な入力フォーマットが能可になる。例えば、図(7)の境界値問題では、表(1)のように入力すればよい。

ここで、図(7)の斜線部は折れ線似された境界値ポテンシャル分布を示す。



図(7) § 3 の仮定に従う境界値問題

表(1) 入力様式

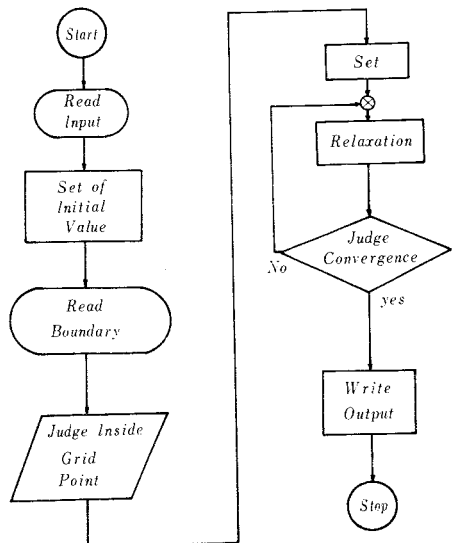
N = 14		
x	y	ϕ
x_1	y_1	ϕ_1
x_2	y_2	ϕ_2
x_3	y_3	ϕ_3
⋮	⋮	⋮
x_{14}	y_{14}	ϕ_{14}

ここに、Nは境界値ポテンシャルの折れ線の個数である。 (x, y, ϕ) は各点の座標と境界値ポテンシャルを一組にしてこれらを任意の点から、右廻りあるいは左廻りに入力したものである

§ 6 フローチャート

プログラムに含まれる主要なサブルーチンとその機能は次のごとくである。

- Read Input : 入力 (N, x, y, ϕ) を読み込む。
- Set of Initial Value : 初期値設定用サブルーチン。
- Read Boundary : 境界線をアレイ形式で読み込ませるサブルーチン。
- Judge Inside Grid point : 格子点(R_G) の識別用サブルーチン。
- Set : 格子間隔以内で境界線に近接した格子点 (i, j) に対してポテンシャル補正様式を定める必要なデータをアレイ形式でリスト・アップするサブルーチン。³⁾
- Relaxation : ポテンシャル補正計算用サブルーチン。
- Judge Convergence : (2-11)式の右辺の第2項を



図(8) フローチャート

$$\omega \left\{ \frac{h_1 h_2 h_3 h_4}{h_1 h_3 + h_2 h_4} \left(\frac{1}{h_1(h_1 + h_3)} \phi_{i+1,j}^{(k)} + \frac{1}{h_2(h_2 + h_4)} \phi_{i,j+1}^{(k+1)} + \frac{1}{h_3(h_1 + h_3)} \phi_{i-1,j}^{(k+1)} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{1}{h_4(h_2 + h_4)} \phi_{i,j-1}^{(k)} - \frac{1}{2} K_{ij} \right) - \phi_{ij}^{(k)} \right\} \equiv R_{ij}$$

と置き

$$\sum_i \sum_j |R_{ij}| \leq \varepsilon \quad \varepsilon : \text{収束判定用定数}$$

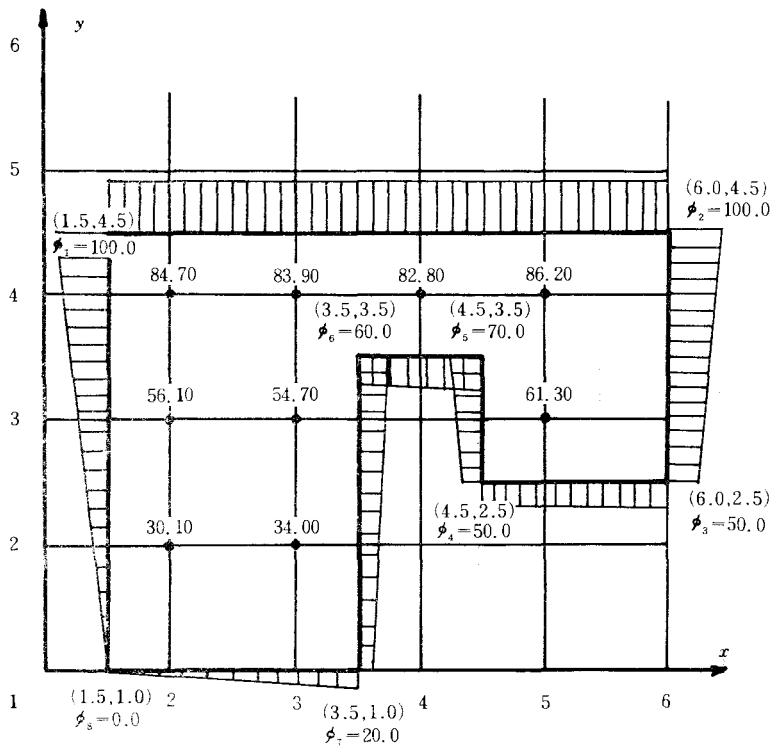
のとき緩和終了とする。

Write Output : 印刷命令用サブルーチン。

§ 7 例 題

境界値問題 (ラプラス方程式) についての簡単な例題をあげる。

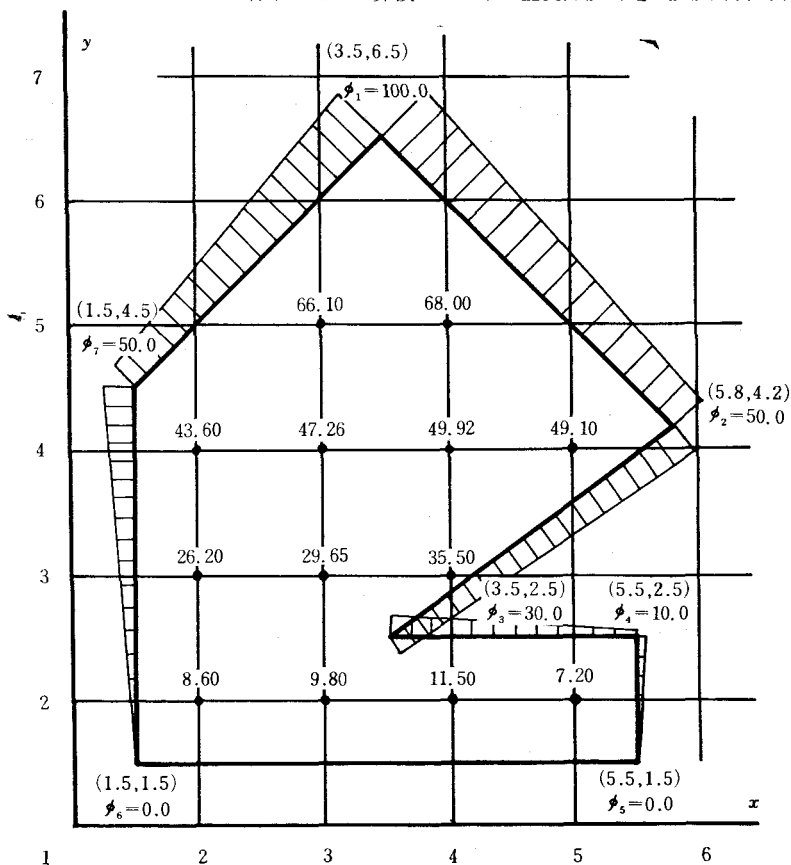
これらの問題では、加速係数 $\omega = 1.45$, イニシャル・ベクトル $\phi = 0.0$ を用いて計算を行なった。その結果を図(9), (10), (11)に示す。なおランニング・タイムはいずれも十数秒程度であった。



表(2) 入力データ

8		
1.5	4.5	100.0
6.0	4.5	100.0
6.0	2.5	50.0
4.5	2.5	50.0
4.5	3.5	70.0
3.5	3.5	60.0
3.5	1.0	20.0
1.5	1.0	0.0

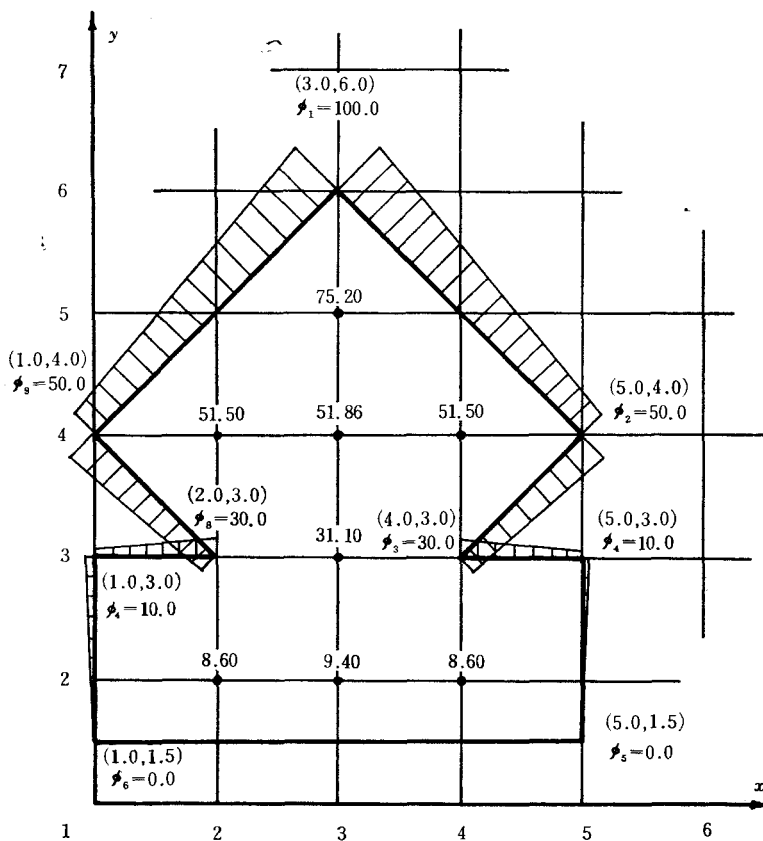
図(9) 例題 (1)



表(3) 入力データ

7		
3.5	6.5	100.0
5.8	4.2	50.0
3.5	2.5	30.0
5.5	2.5	10.0
5.5	1.5	0.0
1.5	1.5	0.0
1.5	4.5	50.0

図(10) 例題(2)



表(4) 入力データ

9		
3.0	6.0	100.0
5.0	4.0	50.0
4.0	3.0	30.0
5.0	3.0	10.0
5.0	1.5	0.0
1.0	1.5	0.0
1.0	3.0	10.0
2.0	3.0	30.0
1.0	4.0	50.0

図(11) 例題(3)

§ 8 結 言

境界値問題において、最も煩雑なことは、領域内の格子点 R_0 を識別させ、記憶させるようなアルゴリズムをいかにして構成するかということであろう。§ 4 の規則に従えば、いかなる領域 (§ 3 参照) であっても、この困難な問題は解決される。

今後の課題としては、

- (1) 領域の一部を拡大し、さらに詳細に調べる問題
 - (2) 等ポテンシャル面を求める問題⁵⁾
 - (3) 極座標, 円筒座標を用いた解析⁶⁾
 - (4) 他の楕円型方程式への拡張
 - (5) 複雑な境界値ポテンシャル, および境界形状への拡張
- 等の簡単な入力フォーマットの検討
- (6) 記憶容量の節減方法⁷⁾
 - (7) 簡単な領域以外には、まだ確立されていない最適加速度係数 ω の推定等が残されているが、今後、順をおって考究する予定である。

上記プログラムは熊本大学電子計算機室の FACOM-231 を用いてデバッグした。

最後に、本研究に終始ご指導を賜った熊本大学電気工学科松山教授に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 森本, 松山: 昭和45年度電気四学会九州連合大会論文集216
- 2) 森本, 松山: 昭和46年度電気学会全国大会653
- 3) 森本, 松山: 電気学会電磁界理論研究会, EMT-71-19, (1971)
- 4) Greenspan: Introductory Numerical Analysis of Elliptic Boundary Value Problems. Harper International Edition. 1966
- 5) 例えば
Козлов зс, СЕРПЕЕВ НП: Изв ВУЗ Пронборостр, p. 56 (1970)
- 6) 例えば
Klaus Knörrich, Alois Koller: ETZ, p. 339 (1970)
- 7) 例えば
Stephen L. Richter: Proceedings of IEEE, p. 1146 (1970)

(昭和46年7月20日受付)

鉄筋コンクリート骨組の動的実験

(建築学科) 福 原 安 洋

Dynamic Experiment of Reinforced Concrete Frames

Yasuhiro FUKUHARA

An experimental investigation was conducted to make clear the characteristics of reinforced concrete frames under the dynamic load. It involves 4 pieces of reinforced concrete frames with 2 kinds of the reinforcement.

This report presents the characteristics of reinforced concrete frames regarding the strength, the stiffness, the frictional damping and the force-deflection loop.

§ 1 序

鉄筋コンクリート構造の動的な性状に関する実験は、実際の地震が動的なものであるから、耐震性を追求するには静的実験以上に重要な資料を与えるはずである。しかしながら、実験設備、その他の障害のため、動的な実験の資料は少ないのが現状である。

本校では、昭和44年度に小型の振動試験機が建築学科に購入され、動的な模型実験が可能となった。

今回の実験は、鉄筋コンクリート骨組の要素として一層一スパンのラーメンを取り出し、実際骨組の約 $\frac{1}{8}$ の模型を4体作製し、その動的性状を、耐力性状、動的履歴曲線、剛性低下、粘性減衰性状に関して、検討を行ったものである。

§ 2 試験体及び実験方法

試験体の形状は図1に示すように、柱の主筋量によりAタイプ(8-3 ϕ)、Bタイプ(6-3 ϕ)の2種を作成し、それぞれ2個ずつ計4個の試験体を作製した。なお、材料の性質に関しては表1に示す。

また、実験方法は図2に示すように、試験体の柱頭に鉄製の重垂(90Kg)を取り付けておき、振

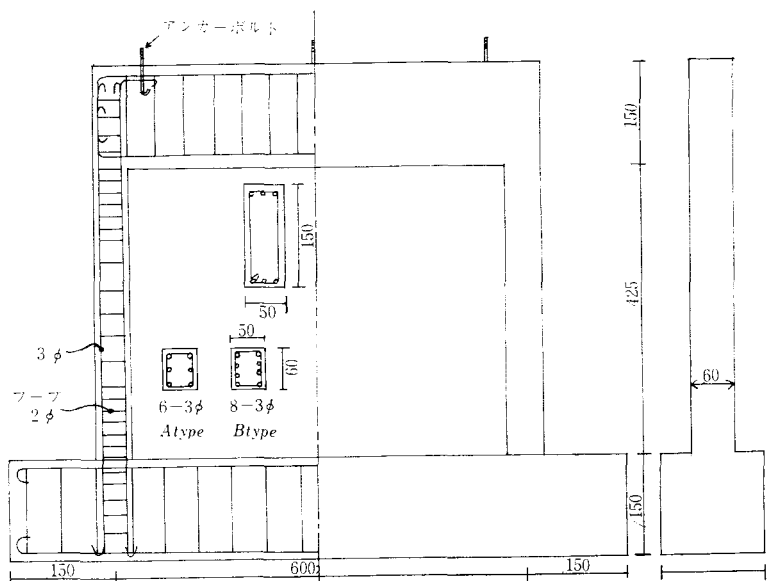


図 1 試 験 体

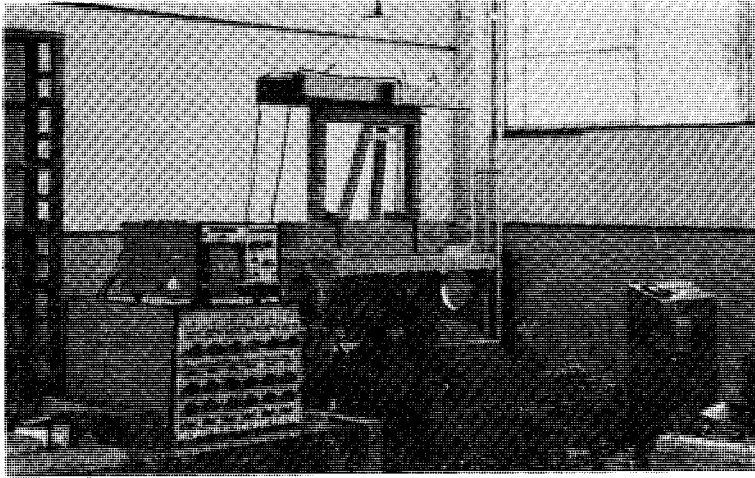


写真 1

表 1 材 料 の 性 状

コンクリート	最大骨材	スランブ	圧縮強度	ヤング係数
	5mm	17.5cm	240kg/cm ²	2.22×10^5 kg/cm ²
鉄筋		降伏応力	最大応力	ヤング係数
	3φ	2610kg/cm ²	3725kg/cm ²	2.1×10^6 kg/cm ²

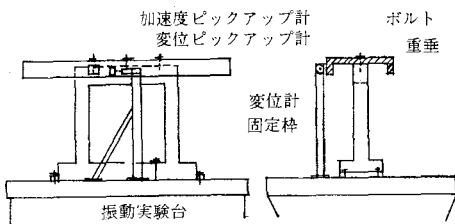


図 2 実験測定図

動台を動かすことにより強制加力を加え、各種測定を行った。測定は振動数を20サイクル/分ずつ増しては、定常振動させ、その都度、柱頭加速度及び柱頭変位を、電磁オシロにより記録した。そして骨組が破壊に至るまで実験を続けた。なお、その実験状況を写真1に示す。

§ 3 実験結果及びその検討

i) 耐力性状

動的履歴曲線の最大荷重点、最大変位点をプロットしたものが図3—1、2でこれを見ると、初期におけるクラック発生前の状態では、ほぼ直線であるが、クラック発生と同時に剛性が低下し始め、主筋の降伏点あたりからさらに急激に剛性の

低下を示している。また、主筋の降伏点あたりまでは、耐力に関し問題がないと考えられるが、主筋降伏以後になると、柱の変形部材角も大きくなり柱の付根の点のイールドヒンジの破壊が圧縮側コンクリートの崩壊により進行するため、耐力が上がらなくなる。Bタイプでは主筋比が小さいのでこの影響が小さいが、主筋比の大きいAタイプでは、特にA—IIのように予期

した耐力を示さない場合が生じた。従って柱のつけ根のイールドヒンジの破壊に対する靱性の考慮が重要と言える。その破壊状況を写真2に示す。

しかしながら、全部の試験体とも、柱の部材角 $R=1/50$ ($\delta \approx 0.8cm$) 程度までは十分な靱性を有することが言える。最終破壊図を写真2に示す。なお図3に示す理論値は、柱両端固定として求めたものである。

ii) 動的履歴曲線

動的履歴曲線は、A—1の場合の各周期ごとの状態を図4に示すが、他の試験体もほぼ同様な状況を示している。図4で明らかなように逆S字型の履歴カーブを作り、その曲線の囲む面積は剛

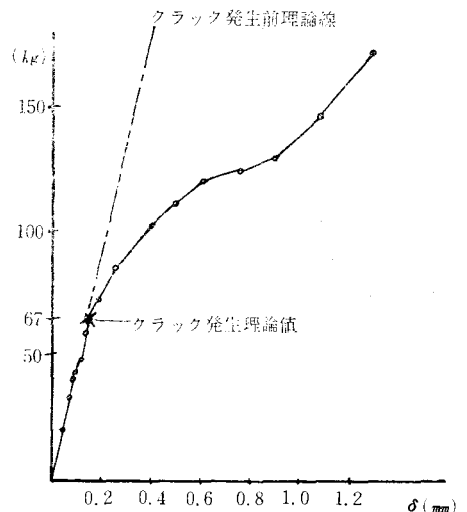


図3—1 最大荷重点(P)—最大変位点(δ)曲線 (B—1試験体)

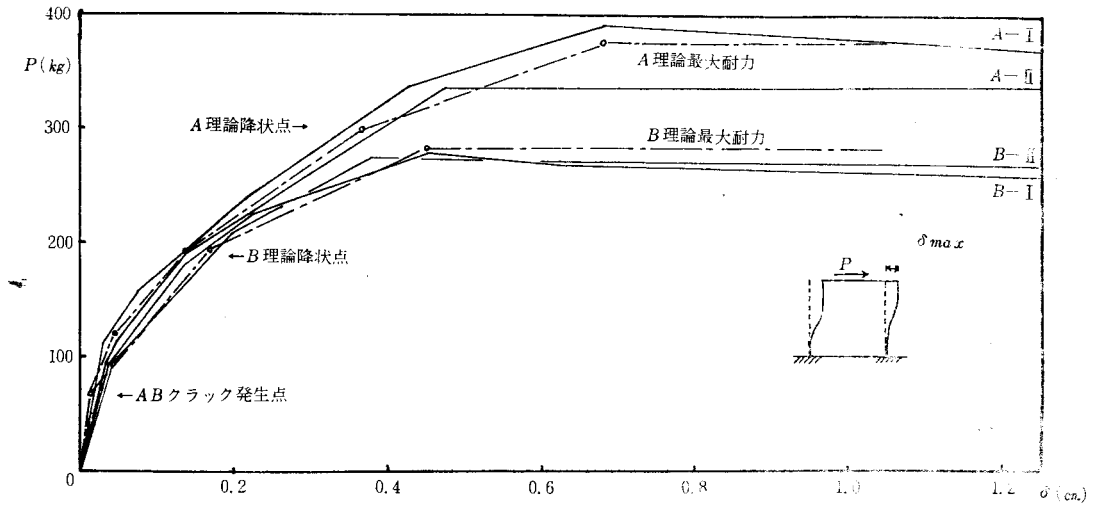


図3-2 最大荷重点—最大変位点曲線

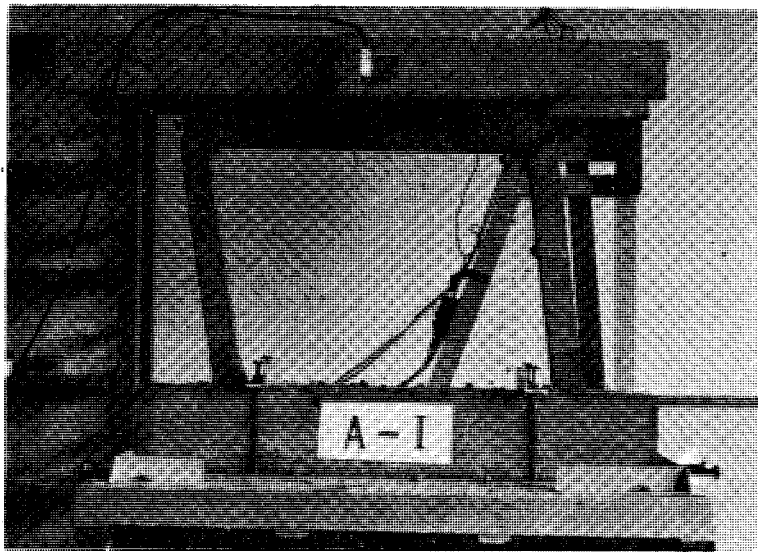


写真 2

性が小さくなるほど大きくなっていることがわかる。これは柱部材角が大きくなるほど、動的履歴によるエネルギー吸収が大きくなることを示すものである。次にこの動的履歴曲線から、等価剛性、等価粘性減衰係数について検討してみる。

iii) 等価剛性

動的履歴曲線の2つの頂点を直線で結び、その勾配を等価剛性とする。その剛性と柱の部材角との関係を図5に示すが、部材角1/500までは、主筋降伏前であり、剛性は直線的に低下し、初期弾性時の勾配の1/5程度まで下る。その後は徐々に低下をするが、これは主筋の降伏により変位が急

に大きくなるためである。

iv) 等価減衰係数

本実験を図6のようにモデル化して考え、振動方程式として次式を用いる。

$$m(\ddot{y} + \ddot{y}_0) + c\dot{y} + ky = 0 \dots\dots\dots(1)$$

ここに c : 粘性係数

k : 剛性

y_0 : 地動 (振動試験機による強制振動

$$y_0 = a_0 \sin pt)$$

p : 円振動数

t : 時間

a_0 : 振動台の振幅

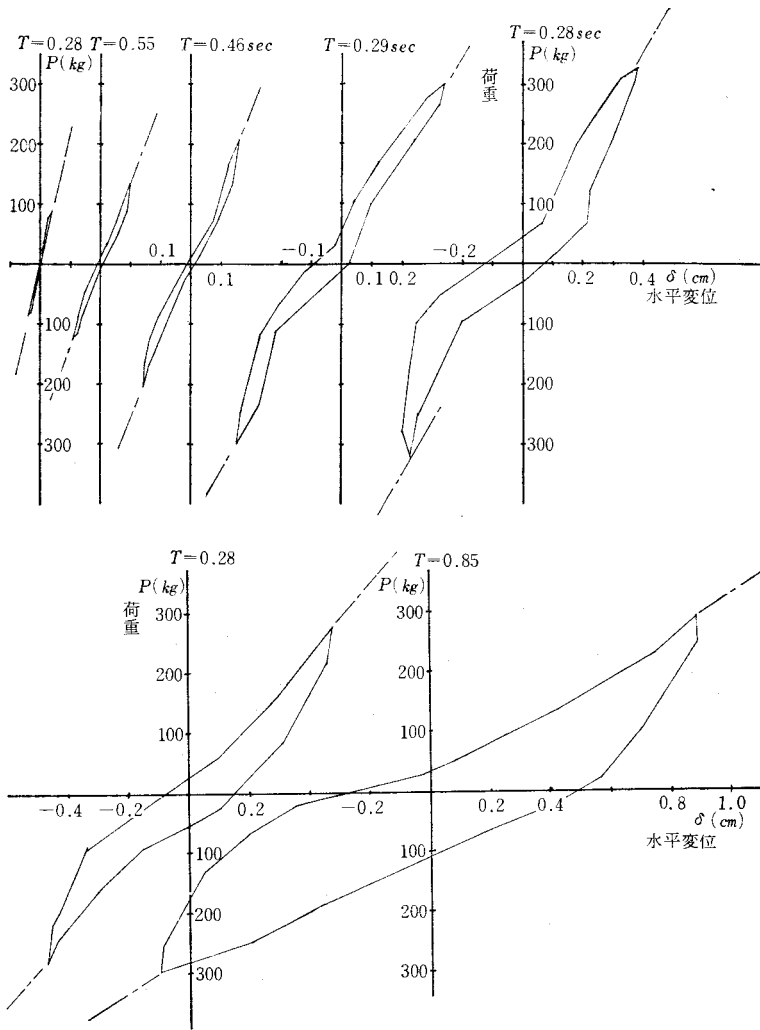


図4 各振動周期における動的履歴曲線例

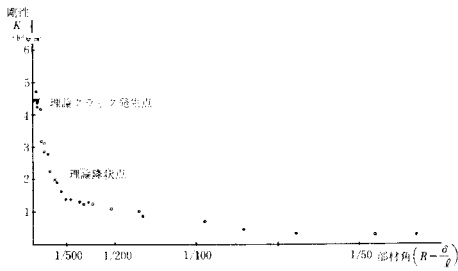


図5 等価剛性(K)一部材角(R)の図

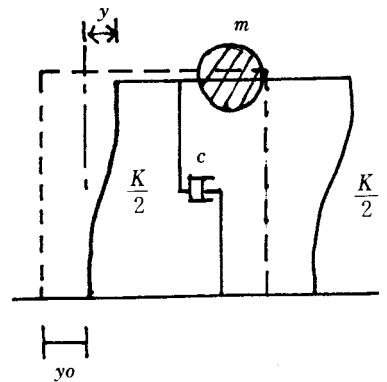


図6

m ：柱頭の質量

(1)式を変形すると

$$\ddot{y} + 2kn\dot{y} + n^2y = -a_0p^2 \sin pt \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここに $n = \sqrt{\frac{k}{m}}$ ：固有円振動数

h ：等価粘性減衰係数

(2)式を図に示すと、図7のような随円形の履歴曲線となる。しかしながら、実験により得られた履歴曲線は図8に示されるような形をしているので、次の方法により、粘性減衰係数を等価させる方法をとった。即ち振動1サイクルに粘性減衰により消費されるエネルギーは、

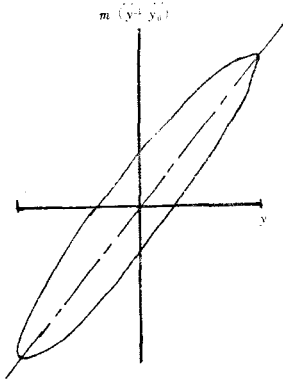


図7

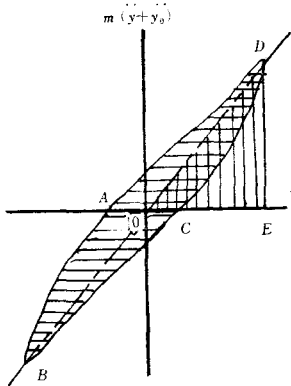


図8

$$\begin{aligned} \Delta W &= \oint c y dy = \int_0^T c a_0^2 p^2 \cos^2(pt - \theta) dt \\ &= \pi c p a_0^2 \end{aligned}$$

一方1サイクルに消費される位置エネルギーは

$$W = 2 \times \frac{1}{2} a_0^2 k = k a_0^2$$

1サイクルで減衰したエネルギー比は

$$\frac{\Delta W}{W} = \frac{\pi c p a_0^2}{k a_0^2} = \frac{2 p \pi h}{n}$$

$$\therefore h = \frac{1 \cdot n \cdot \Delta W}{2 \pi \cdot p \cdot W} = \frac{\varphi}{2 \pi} \cdot \frac{\Delta W}{W} \quad \left(\varphi = \frac{n}{p} \right)$$

従って、図6と図7を等価させるために、図8において

$$\Delta W \int ABCD$$

$$W = 2 \times \triangle ODE$$

をとる。

この方法により求めた等価粘性減衰係数 h と柱部材角 R との関係の一例を図9に示す。図より明らかなように、 $R=1/50$ 前後までは主筋降伏以前であり、 $h=2\sim 4\%$ 程度である。しかし、部材角が $1/100$ 前後になると $h=8\sim 12\%$ にも大きくなり、 $R=1/50$ 程度の大変形時では $h=13\sim 18\%$ である。このことは、コンクリート骨組が塑性変形した状態では、粘性減衰も大きくなり、動的履歴によるエネルギー吸収が大きく鉄筋コンクリート骨組はぜい性破壊を生じないかぎり、耐震性を有することを示している。

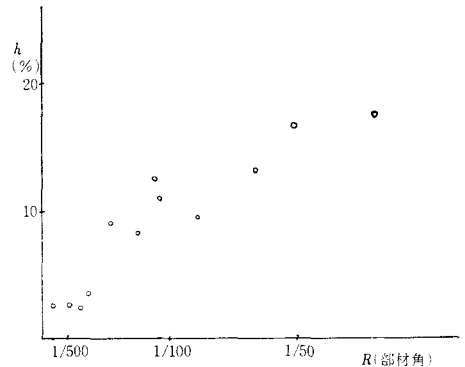


図9 等価減衰定数(R)一部材角(R)の関係

§ 4 結 び

本実験は、試験体模型も小さいので精度の点では、さらに今後のデータに要するものである。しかしながら、本実験により鉄筋コンクリート骨組の動的性状に関し、貴重なデータを得ることができた。即ち、

- 1)骨組は柱の破壊に対する粘りによって、動的な耐力を得ることができ、耐震性を十分もたせ得ること。
- 2)荷重と変形の状況は従来までの静的実験によ

る性状とほとんど変わらないこと。

3)動的履歴曲線は逆S字型をしており、柱部材角が大きいほど履歴曲線はふくらむ形となる。また、頂点は鋭くとがった形をしており、静的実験のものとは違う状況を示す。

4)粘性減衰係数は主筋降伏前では、2~4%と小さい値であるが、主筋の降伏後の塑性状態で8~18%と非常に大きい値を示し、動的履歴によるエネルギー吸収の大きいことが言える

以上、本実験により、鉄筋コンクリートの骨組の動的性状を知ることができたのであるが、今後さらに研究し鉄筋コンクリート骨組の耐震性状に関する基礎としたいと考えている。

謝 辞

本実験研究に終始ご指導頂いた広島大学嶋津孝之助教授、また本実験を卒業研究として、苦勞を共にしてくれた、日下・吉岡・塚本諸君に深謝します。

参考文献

- 「構造部の履歴特性と振動減衰性」大沢・柴田
日本建築学会論文報告集，第66号，昭和35.10.
「鉄筋コンクリート骨組の動的特性に関する実験的研究」小川・阿部
日本建築学会大会学術講演梗概集 昭43.10.

(昭和46年7月31日受付)

格技場の設計計画 (第1報)

(建築学科) 石 沢 正 秋

POINTS ON THE PLANNING AND DESIGNING OF A *Kakugi-jo* (Report 1)

Masaaki ISHIZAWA

Kakugi is a term formed at the time *Budo* was revived after World War II, and it is now included in the school curriculum as an important subject to be taught to all male students. *Kakugi-jo* is a gymnasium for *judo* and *kendo*.

In this report, I wish to show the results of a survey I conducted on the planning and the designing of a *Kakugi-jo*.

§ 1 はじめに

格技とは柔道、剣道、相撲の三種目の格闘技を戦後文部省が武道の復活に際し占領軍に対する遠慮から名づけたもので在来の精神的なものから純粹のスポーツ技として体育教科に取入れたもので学習指導要領に依れば、昭和37年より中学校のその内の1課目を学校の選定に依り履習し、高等学校に於ては昭和38年度より1科目以上履修させることになったものである。昭和45年12月に出た新基準に依ればその時間数も可成り増加し昭和48年4月からは体育科授業時間数の15~20%位を柔道又は剣道に当てるようになっている。要するに格技場とは学校武道場と云えるものである。

併し現状では表(1)の如く施設設備の不備と有資格教師数の不足のため実施率は芳しくないが、文

表(1) 公立中学校、高等学校の格技実施状況

区 分	学校種別	実施している種目						%
		柔道	剣道	相撲	柔道と 剣道	柔道と 相撲	剣道と 相撲	
教 科	中 学 校	10.0	11.3	59.6	3.4	5.9	5.3	3.8
	高 校	44.2	16.6	14.5	17.3	3.4	0.9	3.1
ク ラ ブ 活 動	中 学 校	19.9	26.4	13.2	22.3	4.2	4.8	9.3
	高 校	23.1	8.5	1.8	59.1	3.3	0.9	12.3

(注) 調査校数 中学校 11,215校 高等学校 2,468校

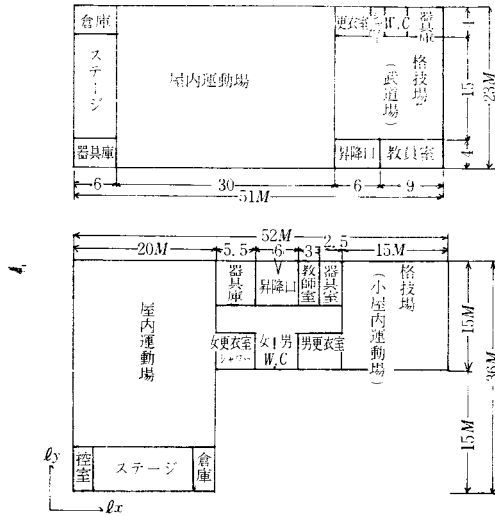
部省としても昭和40年より表(2)の基準に依り施設の補助を行って居り各県共毎年其の整備を行っているが、戦後の学校武道場のプランクのため各県共その基準が充分でないで目下整備に努力中

表(2) 文部省補助対称基準

柔道場	建築面積	170㎡迄
剣道場	〃	200㎡迄
柔剣道場	〃	250㎡迄

(注) 建築面積は附属施設を含む。

の様である。大学高専に於ても昭和40年より施設を順次整備しつつある。本校に於ても昭和42年に建設されたが、その計画に際しても資料の不足不備を痛感し次の各県下の(中国5県、四国4県…高知を除く、九州7県、近畿2府3県…和歌山、三重を除く。及東京都、愛知の1都2府20県)既設大学、高専、高校の格技場を实地調査し、又教育委員会施設課建築課等の資料を集め格技場設計計画の要点をまとめたものである。



図(1) 屋内体育館に附属した型D型

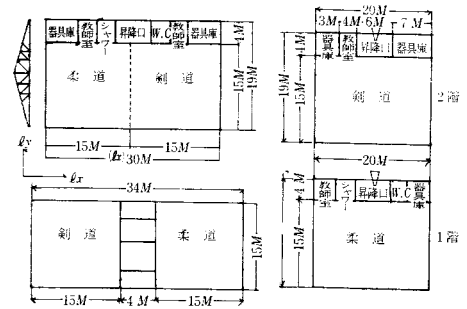
表(3) 国立高専既設武道場の張間と桁行

学 校	l_x	$l_y(m)$	備 考
呉	12	24	柔剣道併用 l_x 桁行 l_y 張間 (スパン) 単位 m
松 江	13.42	25.95	
米 子	17.35	18.80	
宇 部	11.00	27.00	
津 山	11.00	20.00	
高 松	12.10	20.06	
阿 南	10.80	21.60	
高 知	13	18	
新井浜	12.10	22.15	
明 石	11.00	22.00	
鈴 鹿	16.38	22.23	
福 島	12.74	21.84	
群 馬	11.00	24.00	
旭 川	11.00	16.35	
函 館	12.00	18.00	
長 岡	11.00	24.00	

§ 2 格技場の位置

専用の格技場の位置としては出来得る限り屋内運動場並に屋外運動場に隣接するか或はこれに近いところが望ましい(図1, →D型) これは格技

図(2) 柔剣道を併設した型A型



図(3) 柔剣道を隔離した型 B型 図(4) 柔剣道を2階に分けた型C型

は他の運動種目と併せ実施する場合、現在の学校教員の定数配置状況では1人の体育教師がその両方の運動を兼ねて指導することが多いからで、従って屋内運動場や屋外運動場に近の方がその運営並びに指導が行われ易い。更に又格技場は山陰等各期雨雪の多い地方では第二体育館的な用途が多く、又教師室、便所、シャワー、器具庫の兼用が出来るからである。

方位は格技の性格上南面し日当り、通風がよく特に剣道は騒音の点を考慮し並通教室より離れた処が望ましい。

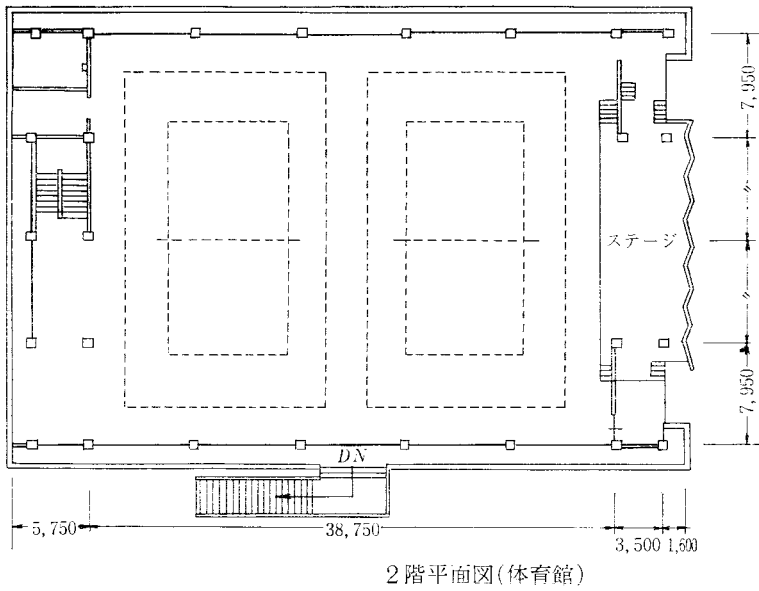
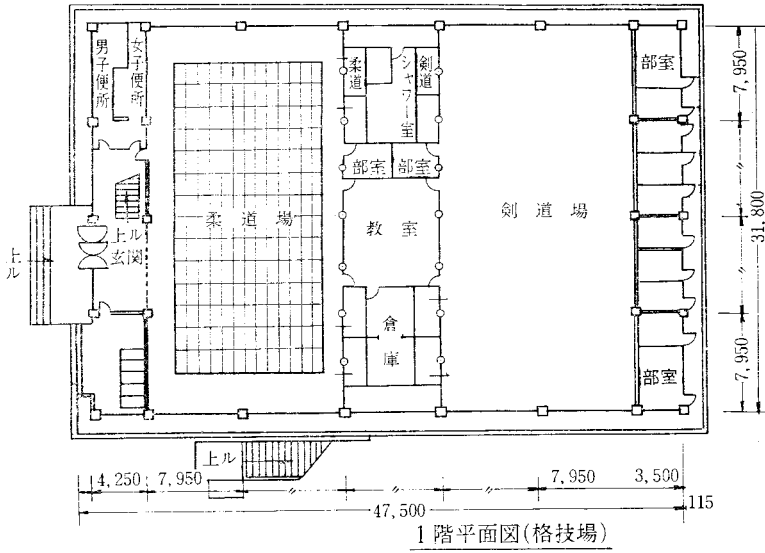
§ 3 格技場の柔剣道場組合せのパターン

格技は柔道と剣道に分れるが表(1)の如く一般には高校に於ては柔道の授業が多いが、クラブ活動の点からは両方あった方がよい。今後の新学習要領では昭和48年より授業も多くなり二科併設されることと思われるので柔剣道場の組合せを調査したところによると図(1~5)の5つのパターンがある。

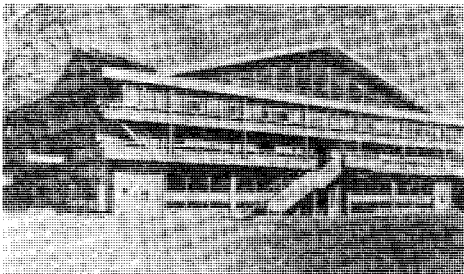
大抵の県では、A型が基準となっている。但し最近では現場教師の要求からB型が多くなりつつある。これは併設の授業では騒音のため柔道の授業が出来にくいこと、剣道の練習中柔道場に飛込み、たまたま危害をあたえる場合があることに依る。故に福岡県では新基準に依るとこのB型になったようである。

C型は東京都等都会地では校地が狭く拡張の余地のない学校に多い。(図4)

E型は1階に格技場、シャワー室、選手控室、



図(5) 福岡高等学校体育館(格技場)平面図E型

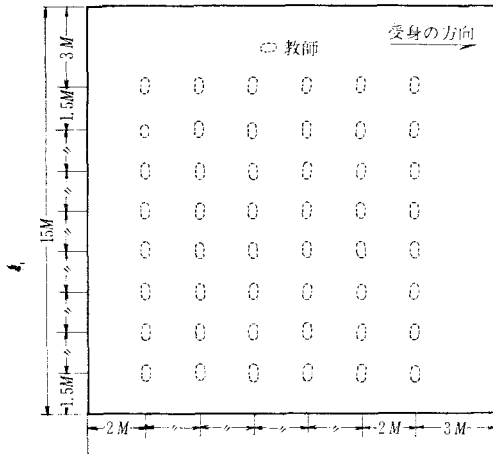


写真(1) 福岡高等学校体育館並格技場 (E型の例)

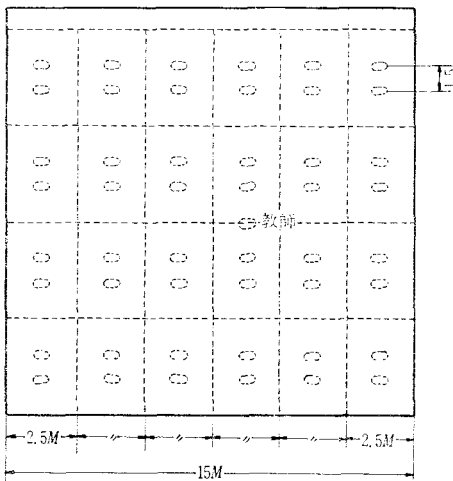
便所等がとれるため矢張り都会地の同上の理由の学校に多い。(図5)

ただ建設費が嵩むため甚だ少いが2階を講堂又は体育館として利用するとなれば将来このパターンの多くなることも考えられる。

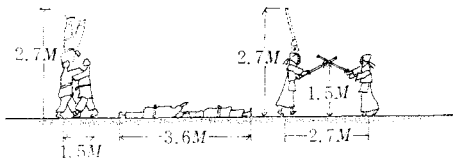
筆者の実地調査では、福岡市福岡高等学校(図5)写真(1)、松山市松山商業高等学校、倉敷市水島工業高等学校の3校がこのパターンを採用している。予算の多い大都市の私立大学にはよく見



図(6) 柔道授業に於ける受身の生徒配列の例 (48名)

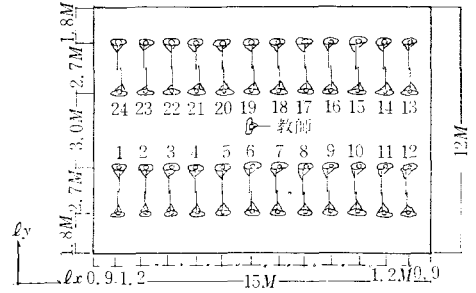


図(7) 柔道のけいこ、組手指導の生徒配列の例 (48名)

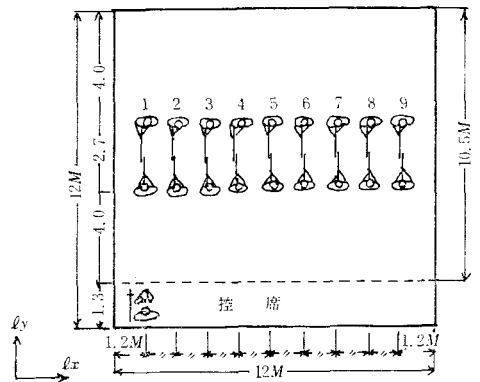


図(8) 柔剣道術者所要空間寸法
(日本建築学会資料集 1)

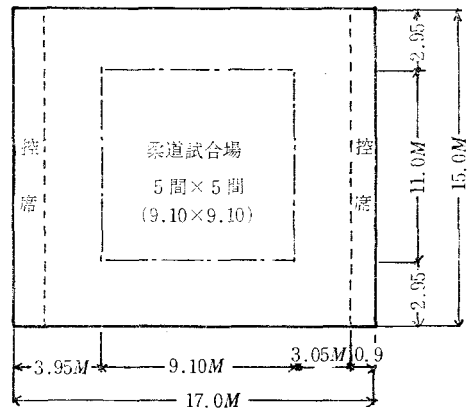
(註) 竹刀は3.8寸 (1.26M) を用いた場合



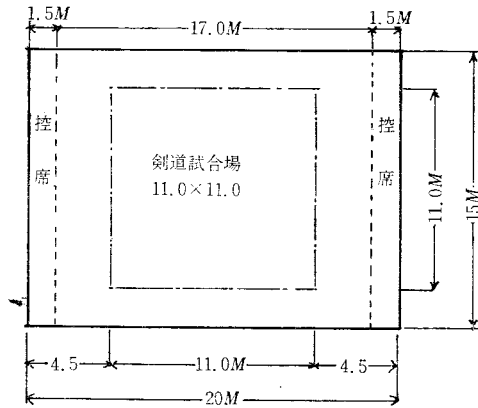
図(9) 剣道授業に於ける基本技の生徒配列の例



図(10) 剣道場けいこ (クラブ) 生徒配列の例 (呉高専)



図(11) 標準柔道場
(正式試合場を有する)



図(12) 標準 剣道場
(正式試合場を有する)

受けられる。

§ 4 格技場の平面計画について

一般に最近迄の格技場は図(2~3)の如く柔剣道併設のA, B型が最も多かった。大多数の高校国立高専もA型又は, B型が殆どである。

併設の場合は畳の調節のため, どちらか一方の授業を交替することになる。これは現場教師の編成に依れば便利な点もあろう。例えば学期又は学年毎に交替して授業を行う。但しクラブ活動や併設授業の点では甚だ不便である。この場合も畳の取はずし, はめ込みの不便, 施設時間を要する等不利な点が多い。

本校に於ても止むを得ず武道場にて柔道, 体育館で剣道を授業している。

前述の如く間仕切がないため剣道の方からの飛込による危害や騒音のため柔道の方が嫌う例が多く授業では落着かない。その点では, B型を推したいが, 面積又は他目的に使用の融通が出来にくい。

次に問題点は道場の広さに関してである。特に剣道場に於てはスパンの大きさは注意を要する。戦前の柔剣道場は木造の関係から6間~8間のスパンが多く, 戦後のスポーツ技としての剣道は動きが甚だしく, このスパンでは不足である。格技も戦後ルールが確立し試合場の基準が出来て格技場も体育館のバスケット及びバレーコートを基準とする考え方が必要である。従って広さ及びスパンの大きさが格技場の設計の重要点である。広さ

の計画としては,

- (イ) 1学級(約48名)の授業が出来る。
- (ロ) 正式試合場が一つ設けられる。
- (ハ) 柔剣同時に授業が出来る(クラブ活動も同様)この広さを満足にとれば申分はない。

筆者の調査では図(2)のスパンは各県共11m~13mが最も多い。国立高専についても同様で表(3)に示す。東京都は13m x 20m = 260m²。広島県では15m x 15m = 225m²とやや満足出来得る広さの基準である。但し広さはあっても正社試合場がとれないものも見受けられた。これはスパンが適切でないからである。依って柔道場, 剣道場別に広さ及スパンを検討して見る。

(イ) 柔道場の広さについて

柔道の授業のため本校の授業及クラブ活動に依る個々の広さを観察したところによると図(8)の如き術者の空間が入用であるので,

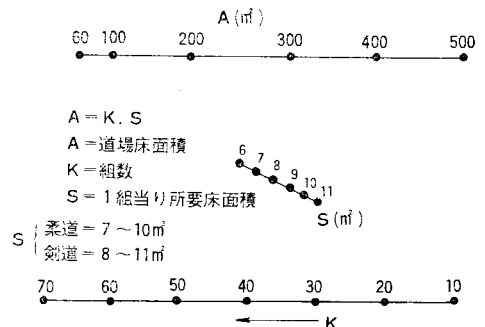
立技の型の場合 6.6m² (畳4帖大)

立技の場合 9m² (畳6帖大)

乱取りによる立技寝技 13m² (畳8帖大)である。

更に授業に於ける観察によれば受身の場合の配列は生徒48人として配列すれば図(6)の如く, 15m x 15m = 225m²が入用であり, 更に組手の場合には1組2.5m x 3.6m = 9m²として図(7)の如く矢張り15m x 15m = 225m²が適当であろう。更に日本建築学会資集成による面積表(表4)によると1組の所要面積は7m~15m(畳4帖~6帖)として計算すれば1クラス24組(48人)とすればよく(7m² x 24 = 168m² ~ 10m² x 24 = 240m²)となる。

乱取り稽古の場合は所要面積, 空間は3.6m x 3.6m = 13m² (畳8帖大)入用であり交替で行う



表(4) 成要面積概算図表(日本建築学会資料集成(1)より)

のがよく12組で行えば、 $13m^2 \times 12 = 156m^2$ となり更に廻りの安全空間を見れば $200m^2$ 以上入用である。以上の如く、柔道場は授業に於ける生徒配列よりスパンは15m位が適当であり面積も $200m^2$ 以上が入用であるので $15m \times 15m = 225m^2$ 位のスパンの広さが望ましい。更に正式試合場が一つとれる点からは講道館柔道試合規定(全日本柔道連盟公認昭和41年3月10日)に依れば図10の如きが望まれる。

(ロ) 剣道場の広さ

同じく剣道の授業のため本校に於て昭和42年11月より本校体育館に於ける授業及剣道部員の練習より観察の結果授業は図9の如く生徒配列を行ったが1組は $1.2m \times 2.7m$ として48人では24組として $15m \times 17m = 255m^2$ が適当である。クラブに於ては剣道場が狭いので図10の如くして行っているが前後進には $10.5m$ はやや不足で、特に切返しは $12m$ 位入用である。巾は $1.2m$ は少し狭いが防具をつけるので危険はなかった。

スパンとしては控席として $1.5m$ 位入用であり対抗して席をとりたいので、 $1.5m \times 2 + 12m = 15m$ 位のスパンが入用である。授業に於ては基本技型等は前進、後進の動作が主であるので、1組の所要空間は $1.2m \times 2.7m$ として図9の如く配列したが稽古の場合は巾 $1.2m$ がやや不足気味であるが防具をつけているので危家は生じなかった。基本技は全員同時に行うが良いが稽古は12組2交替が適当である。更に表(4)に依って計算すれば1組は $8m^2 \sim 11m^2$ 入用となっているので、($8m^2 \times 24 = 192m^2$) \sim ($11m^2 \times 24 = 264m^2$) の面積が入用である。更に廻りの安全地帯を考えれば ($200m^2 \sim 300$

m^2) 位が入用であろう。又正式試合場としては図11の如き試合場が入用であるのでスパンとしては柔道場にならい $15m$ 以上、面積は $300m^2$ 位は入用であるので図12の如く $20m \times 15m = 300m^2$ の剣道場が理想と思われる。

§ 5 結 論

格技場は今後多く建設されて行くが現在迄の調査ではスパン及道場の狭さを訴える教師が多く、次に床の仕上が問題点であるが仕上其の他は次回に譲る。今回の結論としては、

- (1) スパンは $15m$ 以上
- (2) 道場面積は柔道 $250m^2$ 以上、剣道 $300m^2$ 以上
- (3) 柔剣道を隔離又は防音を考える

その他附属室等の問題等未研究の分野が多いので更に調査したいと思う。この調査にあたり本校非常勤講師剣道六段練士松本忠氏、剣道六段教士堀益夫氏、柔道七段橋本良一氏並に九州芸術工科大学環境設計学科の教官の方々及調査各県の教育委員会体育主事の諸先生の指導と協力を感謝する。

参考文献

1. 日本建築学会：資料集成(1)
2. 石沢正秋：剣道場の平面計画について 日本建築学会中国支部、昭和43年第1回発表
3. 石沢正秋：柔道場の平面計画について 日本建築学会中国支部 昭和43年第2回発表
4. 文部省：施設月報No.61～頁1968
5. 文部省：学校に於ける柔道の手引
6. 文部省：学校に於ける柔道の手引

(昭和46年7月31日受付)

編 集 委 員

糸	島	寬	典
太	田	垣	博
石	井	義	明
高	井	芳	治
下	村		登
富	田		豊

呉工業高等専門学校
研究報告
第7巻 第1号(1971)
(通巻第9号)

昭和46年11月印刷
昭和46年11月発行

編集兼
発行者 呉工業高等専門学校
〒737 呉市豊栄2丁目2ノ1
電話呉(0823) 71-9121

印刷所 柳盛社印刷所
〒730 広島市東白島8-23
電話(21) 2148・2149

MEMOIRS OF THE KURE TECHNICAL COLLEGE

1. A Study on "This Side of Paradise"	Noboru SHIMOMURA..... 1
2. A STUDY ON CLAUSES OF CONCESSION, "NO MATTER WHAT..." AND "WHATEVER..."	Ryoji KUMAGAWA..... 11
3. The Facts of Ding-si Restoration	Hiroaki TAKASHIRO..... 17
4. Studies on the Motion of the Gear-Rack Drive Mechanism (Report 2)	Hironori ITOSHIMA..... 21
5. Studies on the 3-Gear Drives (Report 2)	Hironori ITOSHIMA..... 31
6. Studies on the Specific Sliding of the Constant Angular Acceleration Cam with the Oscillating Follower (Report 1)	Hironori ITOSHIMA..... 45
7. Studies on the Specific Sliding of the Simple Harmonic Motion Cam (Report 1)	Hironori ITOSHIMA and Minoru NOHARA..... 59
8. A Theoretical Study on Smoke Density of Diesel Engine	Isao KUBOTA..... 71
9. Trial Construction of Injection Timing Tester for Diesel Engine	Kenji HAMADA..... 79
10. On a Statistical Analysis of Over Size of Twist Drill	Toshiyuki SATONOBU..... 87
11. The Best Value of the Clearance between the Two Gears of the No Contact Gear Pump (2nd Report) (A Case of Consideration of Oil's Variable Viscosity)	Susumu KYOMEN..... 93
12. The Visibility of Hue in the High Pressure Sodium Vapour Lamp Lighting	Kazuhiko HARADA..... 99
13. DRAP : A Network Analysis Program	Shigeki MURAKAMI.....105
14. Application of Linear Programming to Computer-Aided Circuit Design	Shigeki MURAKAMI.....111
15. The Speed Control of D.C. Separately-Excited Motor using Thyristor Chopper (Report 1)	Toshihide NOMURA.....117
16. On the Numerical Analysis of Elliptic Boundary Value Problems by Digital Computer (Report 1)	Yoshihiro MORIMOTO.....121
17. Dynamic Experiment of Reinforced Concrete Frames	Yasuhiro FUKUHARA.....129
18. POINTS ON THE PLANNING AND DESIGNING OF A <i>Kakugi-jo</i> (Report 1)	Masaaki ISHIZAWA.....135