

統計的手法による機械要素略画法の コンピュータ化に関する研究

Study on a Computerized Method of Schematically Drawing Machine Elements through Statistical Approach

前 田 真 正
Michimasa Maeda

Abstract

This paper discusses what method is desirable for drawing machine elements schematically in light of the requirements of the current computer age, including those for CAD and CAE systems that have come to be spotlighted in recent years, and thus studies how to computerize a method of schematic drawing for machine elements through statistical approach.

In particular, this study deals with a method of schematically drawing bolts and nuts, which are easily available, easy for everyone to understand, and most fundamental machine elements. Such a schematic method should be developed by using the proposed optimal ratio that minimizes the difference between the sum of mean relative errors and the standard value. The method of evaluation based on the optimal ratio will be an effective means to cope with the requirements for CAD and other types of computer-aided systems.

The method of obtaining equations for approximation shown in this paper helps improve not only the accuracy of automatic computer-aided drawing for bolts and nuts but also that of manual drawing. This way of thinking will also be applicable to data compression in PC-based drawing for machine elements.

Major features of the method proposed in this report are a higher degree of approximation with respect to shapes and dimensions, as well as reduced offsets in intersecting lines and chamfered portions. When used for a CAD system, these features also help identify positional relationships and projecting portions correctly and reduce interferences in design and differences between design and manufacture, thus leading to safe design.

1. 緒言

本報では、最近特に脚光を浴びてきているCAD、CAEなどコンピュータ時代に対応した
平成2年3月30日原稿受理

大阪産業大学 工学部

機械要素略画法のあり方を検討し、統計的手法による機械要素略画法のコンピュータ化について考察した^{1),2),3)}。

従来、六角ボルトおよびナット（以下、ボルト・ナットとする）の形状寸法をねじの呼びの一次関数で近似する略画法が用いられている。この近似式の係数は、いろいろ示されているが、実際の寸法に近似させるよりも、計算が容易に出来るという点が重視されている。そのため近似度が低く、それが原因で生ずる問題も少なくない。

近年、パーソナル・コンピュータ（以下、PCとする）が普及し、PCでの自動製図が可能になった。そこで、ボルト・ナットを自動製図で作図する場合、形状寸法をPCに入力する方法が問題になる。その一方法としては、従来の略画法の係数をプログラム上に持つ方法がある。この方法は簡単であるが、近似度が低く、従来からの問題点を解決しない。また一方法として、JISで規定された形状寸法ファイルにいれ、それを呼び出す方法がある。この方法は、ボルト・ナットだけの自動製図であると限定するならば、最良の方法である。しかし、PCによるCAD、CAEに発展させるなら、非常に大きなデータ・ベースが必要になり、現在のPCの能力、システム全体のコストから考え、得策ではない。そこで、さらに一方法としては、近似度の高い近似式が考えられる。ここでは、近似度の高い近似式を見いだすことが大切である。従来の略画法では、ねじの呼びから形状寸法を暗算で求められるような配慮があったが、PCではこのことは考慮する必要がない。PCでは、複雑な近似式でも容易に計算でき、区分的な多項式も用いることができるので、近似度が高まり、データ圧縮できる。しかし、JISで規定された形状寸法と計算値を完全に一致させることは困難なことである。

形状の各部寸法については、上記の三方法が考えられるが、PCによるCAD、CAEに発展させるという観点から、本報では近似度の高い近似式を求める方法について研究した。そのさい、近似度の程度は単に自動製図だけに形状寸法を使用するのではなく、設計計算においてもそれらの値が使用できることを目標にした。また、近似度が同程度である場合、計算時間の短い近似式を採用した。PCでの使用言語は、BASICを使用した。

また、改良略画法である本報法のCADシステムへの応用についても検討した。

2. 近似式

2.1 ねじの呼び

PCではループ計算が容易であるため、表1に示すようにねじの呼びM6からM68まで順次番号（以下、呼び番号とする）を1から24まで付け、ねじの呼びdを呼び番号Nの関数とした。図1より、N=3,11,19を節点とする一次関数であるから、一次のスプライン関数でdを求めた。

$$d = N + 5 + (N - 3)_+ + (N - 11)_+ + (N - 19)_+ \quad (1)$$

ただし、

$$x_+ = \begin{cases} x & x > 0 \\ 0 & x \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)でのdは、規定されているねじの呼びと完全に一致している。

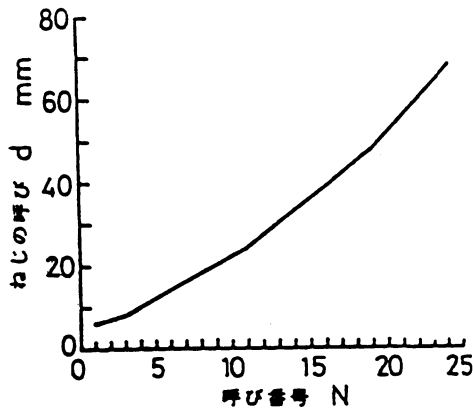


図1 ねじの呼びdと呼び番号N

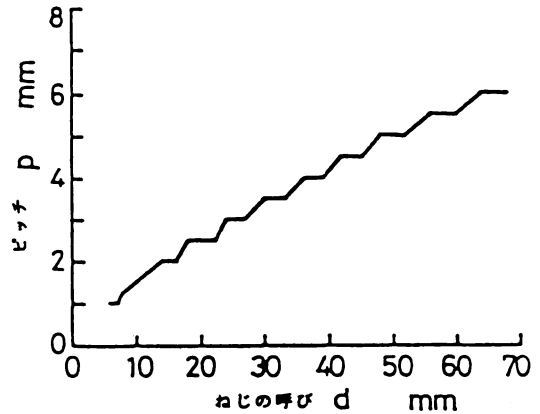


図2 ピッチPとねじの呼びd

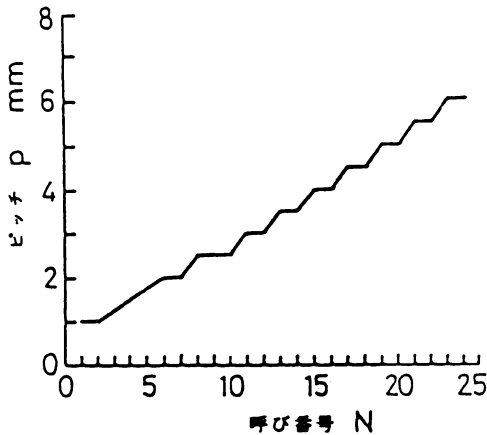


図3 ピッチPと呼び番号N

表1 ねじの呼びdと呼び番号N

N	d
1	6
2	7
3	8
4	10
5	12
6	14
7	16
8	18
9	20
10	22
11	24
12	27
13	30
14	33
15	36
16	39
17	42
18	45
19	48
20	52
21	56
22	60
23	64
24	68

2. 2 ピッチ

形状寸法の多くは、ねじの呼びの関数で示されてきたが、図1および図2より、ピッチは呼びの関数にするのがよい。図3より、 $1 \leq N \leq 8$ 、 $N > 8$ の2区間に分割して求めた。

第1区間は、接点が $N=2, 6, 7$ である一次のスプライン関数で表した。

$$P = 1 + \frac{1}{4}(N-2)_+ - \frac{1}{4}(N-6)_+ + \frac{1}{2}(N-7)_+ \quad (3)$$

$$(1 \leq N \leq 8)$$

第2区間は、 N が偶数のとき $N/4$ の商がピッチになる。また、 N が奇数のとき、 $N+1$ のピッチと一致することにより求めた。

$$P = \frac{N}{4} \quad (N: \text{偶数のとき}) \quad (4)$$

$$P = \frac{N+1}{4} \quad (N: \text{奇数のとき}) \quad (5)$$

式(4)および式(5)を一つの式で表すために、Nが奇数か偶数かを判定する必要がある。これのアルゴリズムには、N/2の乗除が1のとき奇数、0のとき偶数とする方法、2進表示で奇数のとき、最下位ビットが1であるのでN AND 1を演算し、1のとき奇数、0のとき偶数とする方法がある。PCで実行速度を比較すると後者がわずかに速い。また、アセンブラでプログラムする場合には、後者が簡単であるため、後者のアルゴリズムを用いた。

$$P = \frac{N + (N \text{ AND } 1)}{4} \quad (9 \leq N \leq 24) \quad (6)$$

式(3)および式(6)で計算したピッチは、規格と一致している。

さらに、二面幅、ボルト頭の高さ、ボルト先端の面取り部長さ、第1種および第2種ナットの高さ、第3種ナットの高さについても、同様な統計的手法により近似式を導いたが、ここでは紙面の都合で割愛する。

2.3 ねじの呼びと呼び番号

各部寸法は、ねじの呼びの関数だけでなく、ピッチおよび先端の面取り部長さは、呼び番号の関数である。ねじの呼びから、各部寸法を検索するため、ねじの呼びから呼び番号を求める次式が必要である。

$$N = d - 5 - \frac{1}{12} \{ 6(d-8)_+ + 2(d-24)_+ + (d-48)_+ \} \quad (7)$$

2.4 ボルト穴径

ボルト穴径とねじの呼びdとの関係を図4に示す。ボルト穴径(M6～M68)の1級、2級、3級についても同様の方法で、データ圧縮することができる。以下にその式を示す。これらの式で計算した値は、規格の値と一致する。

$$D1 = D + .4 * (D > 8) - .5 * (D > 10) - (D > 45) \quad (1 \text{ 級})$$

$$D2 = D + .6 - .4 * (D > 7) - (D > 10) - (D > 24) - (D > 45) - 2 * (D > 52) \quad (2 \text{ 級})$$

$$D3 = D + 1 - (D > 7) - (D > 10) - (D > 18) - (D > 24) - (D > 33) - (D > 42) - (D > 45) - 2 * (D > 48) \quad (3 \text{ 級})$$

(8)

3. BASICによる近似式

前述のように、M6～M68までの区間を1～3まで分割して式を求めた。プログラム上では、一つの式にまとめなければ使用しにくいので、関係演算子を用いて一つの式にまとめた。ただし、関係演算子で比較した結果、真であれば“1”、偽であれば“0”になるものとして、式(9)として以下にまとめる。

$$D = N + 5 - (N > 3) * (N - 3) - (N > 11) * (N - 11) - (N > 19) * (N - 19)$$

$$P = -(N < 9) * (4 - (N > 2) * (N - 2) + (N > 6) * (N - 6) - 2 *$$

$$(N > 7) * (N - 7)) * .25 - (N > 8) * (N + (N \text{ AND } 1)) * .25$$

$$B = -(D < 33) * \text{INT}(-32 + D * 56 + (D > 10) * (D - 10) * 14 - (D > 22) * (D - 22)$$

$$* 13 + .5) / 32 - (D > 30) * (4 * D - 12) + (D > 48) * (D - 48)) * 5 / 12$$

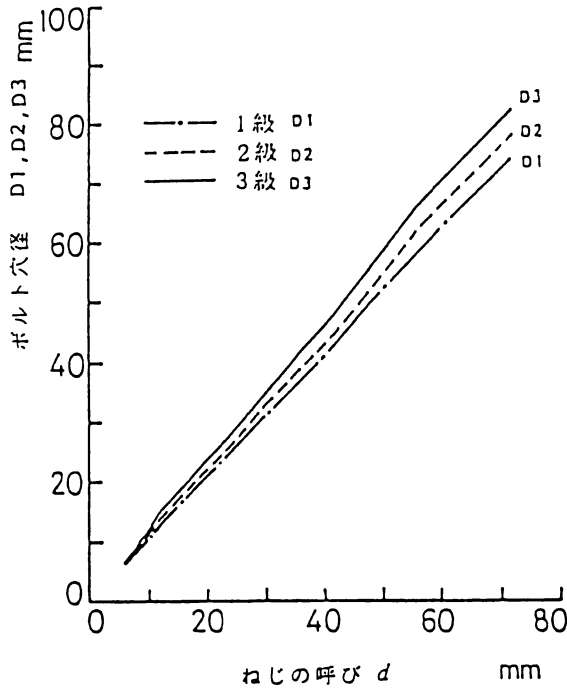


図4 ボルト穴径とねじの呼びdとの関係

$$\begin{aligned}
 H &= \text{INT}(.444853 + .620639 * D + .4) - (D = 8) * .5 \\
 k &= -(N < 5) * \text{INT}(10 - (N > 2) * (N - 2) * 2.5) * .1 - (N > 4 \text{ AND } N < 11) \\
 &\quad * ((N \text{ AND } 8) / 16 + 2) - (N > 10) * (N + (N \text{ AND } 1)) * .25 \\
 H1 &= \text{INT}(.192249 + .795754 * D + .5) + (D = 7 \text{ OR } D = 8) * .5 \\
 H2 &= -(D < 8) * .6 * D - (D > 7 \text{ AND } D < 56) * \text{INT}(.035056 + .595609 * D + \\
 &\quad .5) - (D > 52) * (D * .5 + 6) \\
 N &= D - 5 + ((D > 8) * (D - 8) * 6 + (D > 24) * (D - 24) * 2 + D > 48) * (D - \\
 &\quad 48) / 12 \\
 D1 &= D + .4 - .1 * (D > 8) - .5 * (D > 10) - (D > 45) \\
 D2 &= D + .6 - .4 * (D > 7) - (D > 10) - (D > 24) - (D > 45) - 2 * (D > 52) \\
 D3 &= D + 1 - (D > 7) - (D > 10) - (D > 18) - (D > 24) - (D > 33) - (D > 42) - \\
 &\quad (D > 45) - 2 * (D > 48) \tag{9}
 \end{aligned}$$

式はPC上で計算という点を考慮して、前述してきた式を変形してある。これらの近似式で計算した結果を表2に示す。この値は、すべて規格の値と一致する。ただし、表中ボルト穴径は割愛している。

式(9)を用いるとデータを圧縮できるが、関係演算子を用いている関係から、演算時間の点で不利である。そこで、式(9)をマシン語化し、BASICから呼び出すのが適切である。一例として、式(1)のアセンブリ言語でのリストを表3に示す。ただし、使用CPUはZ80である。数式化する長所は、表2の値をすべてデータとして持つ必要がなく、呼び番号Nから計算

表2 各部寸法

N	d	p	B	H	H1	H2	k
1	6	1	10	4	5	3.6	1
2	7	1	11	5	5.5	4.2	1
3	8	1.25	13	5.5	6.5	5	1.2
4	10	1.5	17	7	8	6	1.5
5	12	1.75	19	8	10	7	2
6	14	2	22	9	11	8	2
7	16	2	24	10	13	10	2
8	18	2.5	27	12	15	11	2.5
9	20	2.5	30	13	16	12	2.5
10	22	2.5	32	14	18	13	2.5
11	24	3	36	15	19	14	3
12	27	3	41	17	22	16	3
13	30	3.5	46	19	24	18	3.5
14	33	3.5	50	21	26	20	3.5
15	36	4	55	23	29	21	4
16	39	4	60	25	31	23	4
17	42	4.5	65	26	34	25	4.5
18	45	4.5	70	28	36	27	4.5
19	48	5	75	30	38	29	5
20	52	5	80	33	42	31	5
21	56	5.5	85	35	45	34	5.5
22	60	5.5	90	38	48	36	5.5
23	64	6	95	40	51	38	6
24	68	6	100	43	54	40	6

により求まることである。また、データの入力ミスも防ぐことができる。式(9)は、BASICで示しているが、マシン語化すれば、BASIC から USR 関数で呼び出すことができる。すなわち、データの完全な関数化である。これは、スピード、メモリ効率の点で有利である。

4. CAD システムへの応用

人とコンピュータが対話的にライトペンを使ってディスプレイ上で図形処理を行うことを可能にした最初のシステムは、1963年 Ivan Sutherland 氏によって発表された Sketchpad 描画システム⁴⁾で、Sketchpad は図形による対話的な通信を可能とし、コンピュータ利用の新しい応用を生み出した。CAD/CAM は、その典型的な例で、1970年代から商用システムとして出現し、現在に至っている。CAD/CAM の多くは、従来ドラフターを使って描いていた図面をグラフィックディスプレイ上に実現する製図システムであり、設計業務のなかの製図作業の省力化に適用されるものであった。しかし、従来の手がきの作図と比較すると、基本的にはドラフターをグラフィックディスプレイに、鉛筆をライトペンという電子装置に置換しただけで、設計手法の根本的な改革にはなっていない。製図図面の質の向上、図面の生産性の向上に役立つが、設計にミスがあれば、システムはその誤りをそのまま出力してしまう。即ち、誤りをチェックするための有効な手段を提供できない。また、一部のシステムには製図だけでなく、設計の特定の業務に限って利用できるシステム、例えばNC加工システム、解析専用システムなども存在するが、設計のある部分で構築されたデータが他の設計業務に利用できないという大きな欠点がある。設計データベースの統合化による意匠設計からNC加工までの設計の全分野の合理化を実現するに至っていないのが現状である。

そして近年における、コンピュータの発展はめざましいものがあり、コンピュータが作図に大きな役割を果たす時代になり、CAD 図法のための装置にもパーソナルコンピュータ規

表3 アセンブリ言語によるリスト

```

1          ;Nominal diameter of bolts
2          ;
3 A057     DATA      EQU      0A057H
4 A024     JP1        EQU      0A024H
5 A005     LOOP       EQU      0A005H
6          ;
7          :Main program
8 0000     ORG        0A000H
9 A000 2157A0 LD        HL,DATA
10 A003 0618 LD        B,18H
11 A005 78     LOOP:    LD        A,B
12 A006 C605 ADD        A,05H
13 A008 4F     LD        C,A
14 A009 78     LD        A,B
15 A00A FE03 CP         03H
16 A00C 3816 JR         C,JP1
17 A00E D603 SUB        03H
18 A010 81     ADD        A,C
19 A011 4F     LD        C,A
20 A012 78     LD        A,B
21 A013 FE0B CP         0BH
22 A015 380D JR         C,JP1
23 A017 D60B SUB        0BH
24 A019 81     ADD        A,C
25 A01A 4F     LD        C,A
26 A01B 78     LD        A,B
27 A01C FE13 CP         13H
28 A01E 3804 JR         C,JP1
29 A020 D613 SUB        13H
30 A022 81     ADD        A,C
31 A023 4F     LD        C,A
32 A024 79     JP1:    LD        A,C
33 A025 77     LD        (HL),A
34 A026 2B     DEC        HL
35 A027 10DC DJNZ     LOOP
36 A029 C9     RET

```

模のものが出現してきた。このような状況の中で、パーソナルコンピュータ CAD 装置は、これからの主要な製図機械になると考えられる。CAD 図法では、正確に作図、修正、拡大と縮小、記憶と再生ができ、これらを効果的に利用して作図できる。手がきの製図では、製図板上でドラフター又は T 定規を用いて、一つ一つの作図に定規を正確に合わせて行うが、CAD ではコンピュータを利用するから、正確できれいな図の仕上がり保証され、図面作成過程で図面を汚さないようにする精神的緊張も軽減され、作図に効果を発揮してきている。

本章では、このような背景のもとに機械要素略画法のコンピュータ化を行うにあたって、これらの問題点を考慮して、CAD システムへの応用に寄与せんことを願って、検討を行った。CAD システムの利点としては、表 4 に示すような項目⁵⁾が挙げられる。コンピュータは指示された通りに動くのであって、誤りをチェックする機能まではもっていないのが現状

表4 CADの利点項目⁵⁾

速度と精度	図面作成の速度と精度の向上。 設計プロセスの原理と図形表現の把握がもたらすもので、修正による再製図が短時間で完了する。
柔軟性	スクリーンを利用した図形編集であり、離散・集合・書込み・削除などが自由
矛盾の削減	設計資料が計算機の中にあるので、構造的な設計につきものの干渉の問題や設計と製造の間の矛盾がなくなる。建設設計と実際の建造・施工、承認用図面と実際の組立などが典型的な例である。
設計変更	住宅図のように、壁を少し広げたら、すべての部品(電気系統、配管、空調)が同じ量だけ移動できるので数分で仕上げられる。また自動寸法線などが可能である。これらを現場で行った時に生じる矛盾、エラーを事前に発見できる。
集計	設計に使用した部品は、計算機の中にストアされているので、再入力する必要はなく、集計業務が簡単
創造力	頭の中でのイメージは数秒でわくが、図化するのに時間がかかるのが普通であり、イメージを損なわずに短時間でアイデアを表現できる。そして、想像力の豊かな人間に、より多くの創造性を与えることができる。設計者のプライドもさることながら、技能を引き上げるのに役立つ。
データ管理 標準化と再利用 冗長性の削減 品質の向上	データベースの利点として 情報の効率的な管理が可能 標準図、標準部品、標準設計ルール(書式、チェック)の再利用(繰り返し利用)が可能 同じものを二度作らなくて済む。 図面の一様性が得られ、品質の向上が図れる。

であり、CADシステムを用いてかく前段階即ち手がき製図での基本的研究で、精度の向上をはかる⁶⁾ことによって、コンピュータに誤った情報を与えないことが大切になる。誤った情報を入力した場合、設計における干渉や設計と製造との矛盾などが生じて、CADシステムの効果を十分発揮できないことになる。

そこで本研究で検討し、改良した略画法である本報法³⁾をCADシステムへ応用した場合、次のような利点がある。

1. 実寸との形状および寸法の近似がよい。図5は、CADシステムで描いた本報法、従来法とJIS規格との形状比較(M48の場合)を示す。
2. 相貫線のずれが少ない。図6は、本報法と従来法における相貫線のずれを示す。従来法の相貫線のずれについては、すでに検討済み⁷⁾である。
3. 消去法によって線が消せるため、操作が簡単。図7は部分消去によって完成した本報法と従来法を示す。
4. 面取り部のくるいが少ない。図8は、CADシステムで描いた場合の本報法と従来法の面取り部の比較を示す。
5. 精度の向上により、位置関係の判断が正確になる。図9は、本報法と従来法における通しボルトや座金との位置関係を示す。ここで、本報法でのナットの高さは、平均相対誤差和による規格との誤差が最少になる最適比率0.8dを用いている。

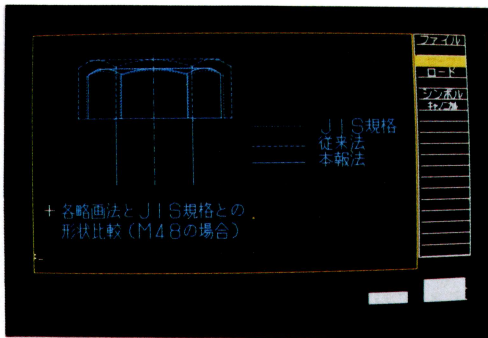


図5 本報法、従来法とJIS規格との形状比較 (M48の場合) (CADシステム)

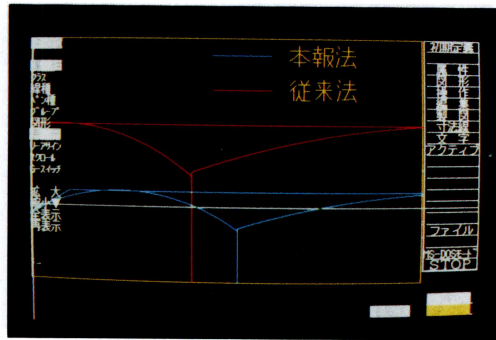
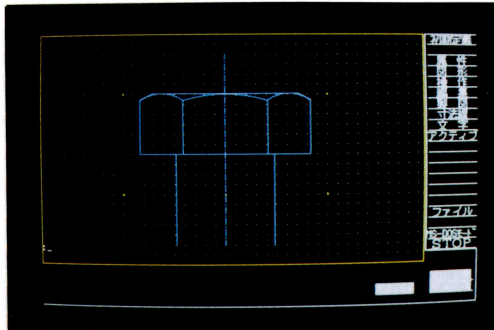
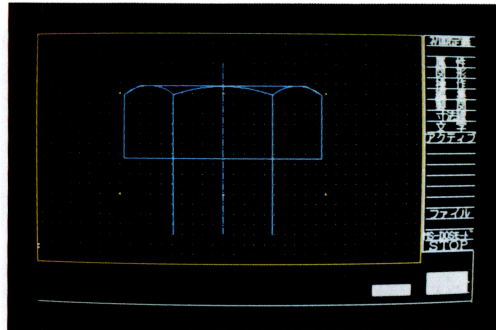


図6 本報法と従来法における相貫線のずれ (CADシステム)

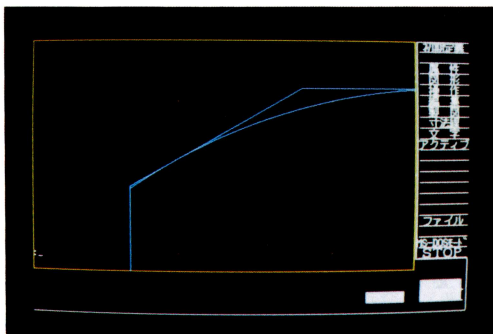


(a) 本報法

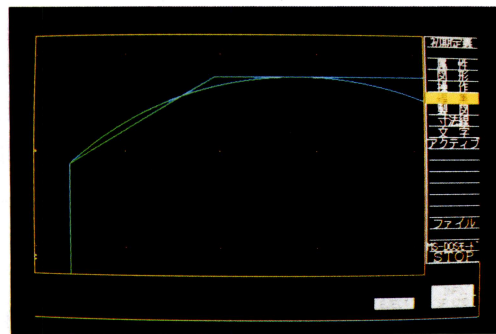


(b) 従来法

図7 部分消去によって完成した本報法と従来法 (CADシステム)

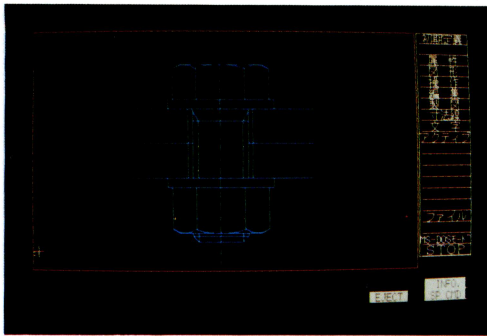


(a) 本報法

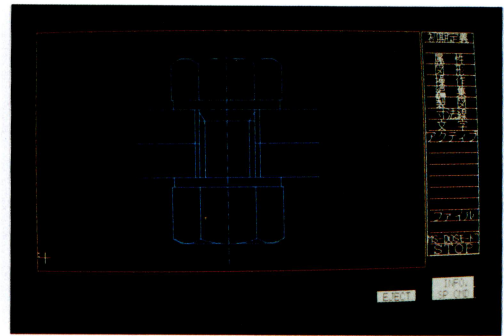


(b) 従来法

図8 面取り部の比較 (CADシステム)



(a) 本報法



(b) 従来法

図9 通しボルトや座金との位置関係 (CADシステム)

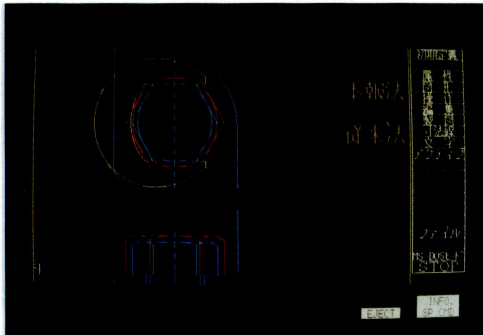


図10 スパナのかけしろとの関係 (CADシステム)

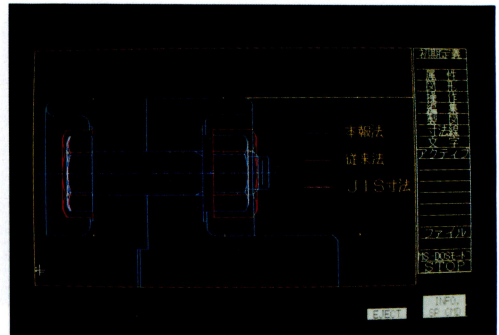


図11 フランジ型固定軸継手への適用例 (CADシステム)

6. 設計における干渉や設計と製造との矛盾が少ない。また、突出部分などの正しい判断ができ、安全設計にも役立つ。図10は、スパナのかけしろとの関係を示す。また、図11は、フランジ型固定軸継手への適用例を示す。本報法では、スパナのかけしろやフランジ型固定軸継手における位置関係において、正確な判断ができ、最適設計が可能となる。

7. 反転複写利用により、時間短縮できる。図12は、本報法における反転複写の利用を示す。

8. 記憶、再生、拡大、縮小の操作により、大きさを比例的に変えることができるので、実寸との形状および寸法の近似がよく、精度のよい略画法である本報法は、CADシステムにも適用可能であり、CADシステムの利点にかなっている。

図13は、使用したCADシステムのブロック線図を示す。また、図14は、使用したCADシステムを示す。

これらのメリットのうち、実寸との形状・大きさの近似がよい、相貫線のずれが少ない、面取り部のくろいが少ないの3点は、本報法の特徴といえることができる。これをCADシステムに用いると、位置関係の判断が正確になり、設計における干渉や設計と製造との矛盾が

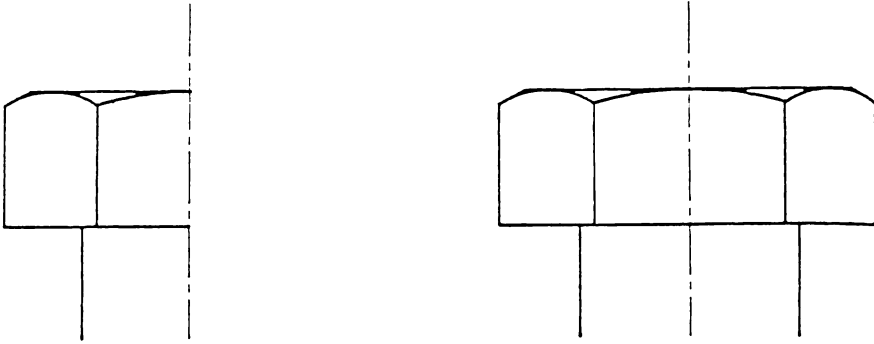


図12 本報法における反転複写の利用 (CAD システム)

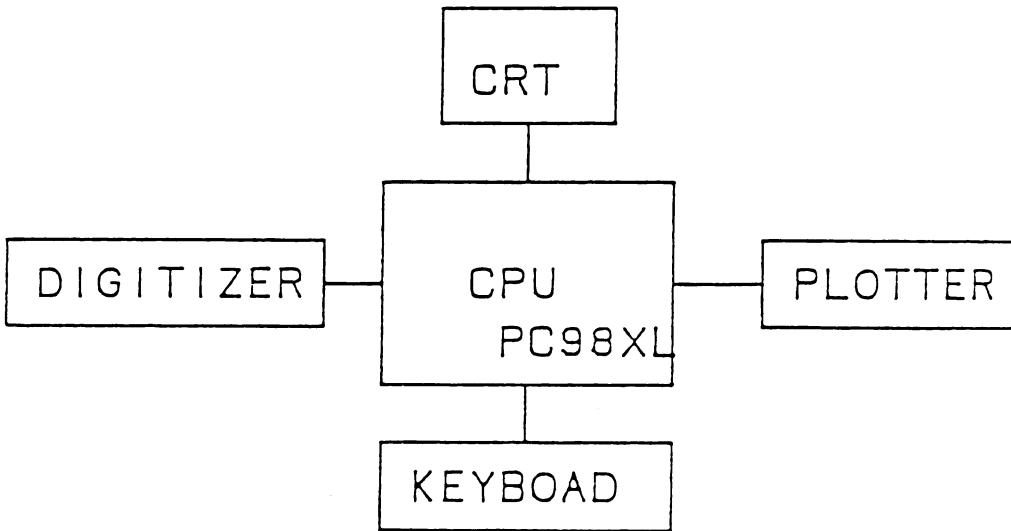


図13 CAD システムのブロック線図



図14 CAD システム

少なく、また、突出部分などの正しい判断ができ、安全設計にも役立つことになる。また、コンピュータに指示する場合、本研究で検討してきた作図情報の充足された略画法が適しているので、この点でも本報法はよいといえる。部分消去法、反転複写、記憶、再生、拡大、縮小の操作を利用することにより、本研究で検討してきた改良略画法である本報法は、CAD システムへの応用においても適用可能であることがわかった。実際の形状、寸法は、規格に従って個々に異なるが、略画法では拡大、縮小の操作により、大きさを比例的に変えることができるので、CAD システムの利用にあたって、近似度がよく、精度がよい略画法を作成しておけば、便利に活用できる。

本研究では、機械要素略画法のうち、主例として、身近にあって、一般にわかりやすく、最も基本的な機械要素であるボルト・ナットの略画法を取りあげたが、機械要素略画法の開発にあたっては、平均相対誤差和による規格との誤差が最小になる最適比率や評価法を適用して開発⁶⁾ することが、CAD システムなどのコンピュータ時代への対応の一方策であるといえる。

5. 結言

本研究では、パーソナルコンピュータの著しい普及により、システム全体の低コスト化やコンパクトなシステムでも使用できる CAD を想定して、コンピュータ時代に対応した機械要素略画法のあり方を検討した。

従来、ねじの呼びの関数として各部寸法が示されていたが、呼び番号を導入して、ピッチおよび先端の面取り部長さを呼び番号の関数として表した。また、M 6 から M 68 の間を分割し、分割した区間での最適な近似式を求めた。これらのことより、規格と一致した値が求められ、PC でのボルト・ナットの自動製図だけでなく、設計計算でも、ねじの呼びからピッチ、2 面幅などを求めることが出来る。しかし、分割した近似式を一つの式にするスプライン関数を、計算で求める真値にするための補正項を計算するとき、関係演算子を用いる関係から、計算時間の点および近似式の簡略化の点で改良の余地がある。そして、この演算時間の改良法として、近似式をマシン語化し、BASIC から呼び出すのが適切である。また、スプライン関数で近似する場合、最適な節点の決定法を求める必要がある。

数式化する長所は、規格の値をすべてデータとして持つ必要がなく、呼び番号から計算により求めることである。また、データの入力ミスも防ぐことができる。マシン語化すれば、BASIC からUSR 関数で呼び出すことができる。すなわち、データの完全な関数化である。これは、スピード、メモリ効率の点で有利である。

本報で求めた近似式の求め方は、ボルト・ナットの自動製図の改善に役立つだけでなく、手で書くときの略画法の改善にもつながり、さらにこの考え方を応用すると、一般的に機械要素の PC におけるデータの圧縮方法にも適用できるメリットがある。

また、CAD システムへの応用にあたって、本報法は実寸との形状および寸法の近似がよい、相貫線のずれが少ない、面取り部のくるいが少ないなどの点で特徴があり、これを CAD システムに用いると、位置関係の判断が正確になり、設計における干渉や設計と製造との矛盾が少なく、また、突出部分などの正しい判断ができ、安全設計にも役立つことになる。また、コンピュータに指示する場合、本研究で検討してきた作図情報の充足された略画

法が適しているので、この点でも本報法はよいといえる。CAD システム使用にあたっては、部分消去法、反転複写、記憶・再生・拡大・縮小の操作を利用することにより、本報法は CAD システムへの応用においても適用可能であることがわかった。

実際の形状、寸法は規格に従って個々に異なるが、略画法では拡大、縮小の操作により、大きさを比例的に変えることができるので、CAD システムの利用にあたって、近似度がよく、精度がよい略画法を作成しておけば、便利に活用できる。

本研究では、機械要素略画法のうち、主例として、身近にあつて、一般にわかりやすく、最も基本的な機械要素であるボルト・ナットの略画法を取りあげたが、機械要素略画法の開発にあたっては、平均相対誤差和による規格との誤差が最小になる最適比率や評価法を適用して開発することが、CAD システムなどのコンピュータ時代への対応の一方策であるといえる。

参考文献

- 1) 前田真正・山岡章宏・奥平頼道；ボルト・ナットの略画法に関する研究（各部寸法の近似式）、日本設計製図学会誌、設計製図、Vol.20, No.125 (1985) 26～31.
- 2) 前田真正・上田博之・山岡章宏・奥平頼道；機械要素のデータ圧縮に関する研究（ボルト・ナットの場合）、大阪産業大学論集（自然科学編）、大学開学20周年記念号（1985）269～275.
- 3) 前田真正・山岡章宏；ボルト・ナットの略画法に関する一考察、日本設計製図学会誌、設計製図、Vol.16, No.83 (1981) 6～12.
- 4) I. E. Sutherland；SKECTHPAD, A Man-Machine Graphical Communication System, Proc., SJCC (1963) 329.
- 5) 樋口登志男・吉永和彦；CAD 解説、実教出版（1984）17.
- 6) 前田真正・上田博之・山岡章宏・奥平頼道；ボルト・ナットの略画法に関する研究（各種略画法の評価）、日本設計製図学会誌、設計製図、Vol.21, No.129 (1986) 28～33.
- 7) 前田真正・上田博之・山岡章宏・奥平頼道；ボルト・ナットの略画法に関する研究（各種略画法の比較）、日本設計製図学会誌、設計製図、Vol.19, No.116 (1984) 15～26.