

# 機械設計製図教育へのCADの応用

寺谷 忠郎\*・片山剛之丞\*・水落 健治\*

(昭和63年9月30日受理)

## Mechanical Engineering Design and Drawing Education applied CAD Systems

Churo TERATANI\*, Gonojo KATAYAMA\*  
and Kenji MIZUOCHI\*

(Received Sept. 30, 1988)

### Abstract:

We made up the following development of the program and the data base as the application of CAD to education of machine design and drawing.

- (1) The CAD application to the understanding of the fundamental knowledge of Japanese Industrial Standard.
- (2) The design of V belt transmission applied to a personal computer.
- (3) The application of CAD to high speed spindle design.
- (4) The application of CAD to speed reduction mechanisms.
- (5) The most suitable design of machine feeding equipment by applied CAD system.
- (6) The most suitable design of multiple spindle by applied CAD system.
- (7) Calculation of deflection of the spindle with diameter steps.
- (8) The most suitable design of the spindle with diameter steps.

These are things as a guide in case of application of CAD systems to education of design and drawing of machine equipment. In recent years, the many kinds of soft ware for personal computer CAD systems have been many developed, so we expect that we can execute effective and efficient education of machine design and drawing with the result on this study.

**Key Words:** Computer Aided Design (CAD), Education

### 1. ま え が き

本学の機械設計製図教育にCADを導入することを前提として、筆者らは、昭和59年度にCAD教育導入に関する調査研究に取り掛かり、昭和60年度より2次元汎用図形処理システムを導入して、多人数教育をよ

り効率的により効果的に行うために、学生の設計図面等を学生自らセルフチェックするに必要なプログラム等の開発に着手した。

その後、CADシステムのハードウエア、ソフトウエアの進歩は著しく、パソコンによるCADシステムが工業界で実際に活用され効果を現している。本学に

---

\*広島工業大学機械工学科

においても、昭和61年度より新カリキュラムの中に計算機演習が組み込まれ、BASIC、FORTRAN の言語教育を含めてパソコンの操作演習に関する教育が行われている。

かかる情勢の変化から、これまで実施してきた製図教育における基礎的知識の把握への CAD の応用、各種機械装置設計への CAD の応用および設計計算例についてその内容を総括し、他大学における CAD 教育の実態を踏まえて本学への CAD 教育ないし CAD システムの活用案について報告する。

## 2. 機械設計製図への CAD の応用

### 2.1 JIS 規格の基礎的知識の把握への CAD の応用

設計製図教育は、ある“もの”に関して、その構造、加工、機能などの情報を読み取り、それを具現化していく姿勢を育てることである。機械製図は、機械関係技術者にとって日常の言葉と同じであって、機械関係の技術者を志す者は、JIS 規格に基づく機械製図法を

下の文章の ( ) に入る語句や記号を次の 1~5 の中から選べ。

- (1)  (2)  (3)  (4) 三角記号 (5) 表面記号



従来、表面粗さの表示には、(A) と波線記号という仕上げ記号が用いられた。(A) は除去加工を行なう面に、波線記号は除去加工を行わない面に用いられる。(A) はその数が多いほど加工精度が高い、すなわち精密な仕上げ面であることを示した。しかし、機械技術の進歩に伴い、このような概念的な表示では、トラブルを招くことが多く、また表面粗さ測定機械もいろいろ開発され普及してきたため、数値を用いてこれを定量的に明確にするようになった。図面上には、次に述べる面の指示記号を用いて、それぞれによる粗さ数値を付記して示すことになった。(B) は除去加工の要否を問わない場合に、(C) は除去加工を必要とする場合に、(D) は除去加工をしてはならない場合に用いる。各 (A)~(D) は、あらい加工における図面において、前加工によって得られた状態(除去加工も含む)をそのまま残すことだけを指示するために使用してもよい。

図1 表面の仕上げ状態の問題

下の表を完成せよ

種類	図記号	種類	図記号
A	—	G	∥
B	∕	H	⊥
C	○	I	∠
D	∞	J	⊕
E	∩	K	⊙
F	△	L	≡
		M	↗

1. 同軸度
2. 平面度
3. 円筒度
4. 平行度
5. 線の輪郭度
6. 面の輪郭度
7. 傾斜度
8. 真直度
9. 直角度
10. 対称度
11. 振れ
12. 位置度
13. 真円度

(a) 問題

(解答)

種類	図記号	種類	図記号
真直度	—	平行度	∥
平面度	∕	直角度	⊥
真円度	○	傾斜度	↗
円筒度	∞	位置度	⊕
線の輪郭度	∩	同軸度	⊙
面の輪郭度	△	対称度	≡
		振れ	↗

(b) 解答

図2 幾何公差の問題と解答

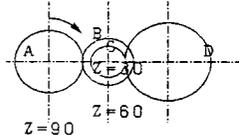
十分理解し図面を正しく判読する力を養うと共に、正確、迅速に生産情報に必要な図面を画く技術を身につけておくことが大切である。

そこで、ここでは JIS 規格に基づいた問題を、文章題と図面の問題とに分けて作成し、JIS 規格の基礎的な知識の把握と、立体とその投影図(三面図)との関係を迅速に判断する能力を身につけることを目的とした CAD の応用について研究した。使用したシステムは FM-16β の FCAD-11 である。

#### 2.1.1 文章題

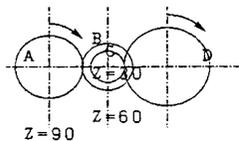
JIS に基づく機械製図法の規格等についての理解度をチェックするために、各種製図規格の名称、数字や文字の書き方、線の種類と太さ、寸法の記入法、尺度の規格とその表し方、金属材料の記号とその内容、ねじの書き方、歯車の諸元とその意味、面の肌を表す記号と表面粗さおよび加工法との関係、幾何公差の表し方とその意味、溶接記号とその意味などを問題と解答形式でデータベースとしてコンピュータに記憶させておき、それらをリスト表示できるようにし、任意の問題に対して自分で理解度をチェックできるようにした。それらの例をつぎに示す。図1は表面の仕上げ状態を示す記号、図2(a)(b)は幾何公差の問題と解答を示す。図3(a)(b)は歯車列の問題とその解答を示す。

下図のように A B C D の歯車がかみあっている。歯車列の速度比が 3/4 になるとき D 歯車の回転は何回転か。また A 歯車が矢印方向に回転すれば D 歯車の回転方向はどこらか。



(a) 問題

(解答)



$$90/60 = 3/2, \quad (3/2) \times (30/2) = 45/2$$

$$45/2 = 3/4 \quad \text{よって } Z = 60 \text{ 枚}$$

回転方向は、時計回り。

(b) 解答

図3 歯車列の問題と解答

### 2.1.2 図形の表し方の問題

立体を第三角法で画いた代表的な図形の表し方の問題と解答をデータベースとしてコンピュータに記憶させておき、リスト表示できるようにした。そして任意の問題に対して自分で理解度をチェックできるようにした。それらの例をつぎに示す。図4はアイソメ図と三面図の関係の問題を示す。図5(a)(b)は三面図から立体図を画く問題と解答を示す。図6(a)(b)は部品図を与えて組立図を完成する問題を示す。

以上のような例題を講義と手書き製図とCADとの併用によって、JIS規格の基礎的知識の把握と図形を目で確かめながら立体と投影図(三面図)との関係を迅速に判断する能力を身につけさせることができ、正

下に示す図は、下のブロックを第三角法を用いて示したものである。1-10に相当する面または線を、A、B、C、D、を用いて表わせ。

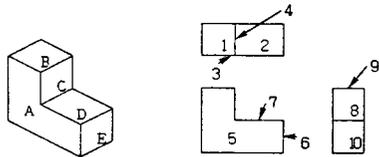
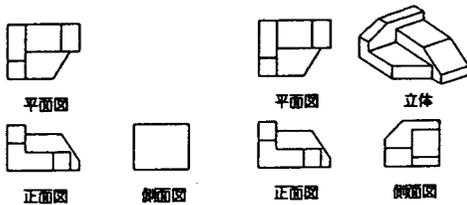


図4 アイソメ図と三面図の関係の問題

下図の赤線の枠内に側面図を描け。できたら次に、この立体図を画け。

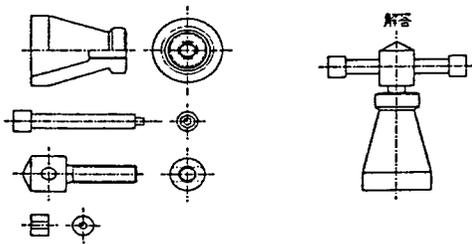


(a) 問題

(b) 解答

図5 三面図から立体を画く問題と解答

下の部品図の組立図を描け(注 円の破線は、黄色とする)



(a) 部品図

(b) 組立図

図6 部品図から組立図を完成する問題と解答

否をセルフチェックできるようにしたので、多人数に対する効率的な教育が可能となる。また、CADの使用法についての基本を習得することができるものと思われる。

### 2.2 パソコンによるVベルト伝動装置の設計(セルフチェックを重視した教育用プログラムの試作)<sup>1)</sup>

比較的簡単な機械要素設計のプログラムを自分で作り上げることと、そのプログラムを実行することにより、手計算との比較において自ら計算ミス等を発見するセルフチェックを重視した教育用プログラムを試作した。使用したパソコンはPC-9801F2である。設計対象としてVベルト伝動装置を選んだ。設計仕様として表1(a)の値が与えられる。求める計算結果は表1(b)の値である。Vベルト伝動装置設計のフローチャートを図7に示す。表2は実行例を示す。ここでは軸径は仮決定して与え、軸径を計算するサブプログラムを作成して、軸径のチェックを行うことができるようにし

表1 設計仕様と求める計算結果

(a) 設計仕様

伝動馬力  
過負荷係数  
安全率  
駆動・従動回転数  
ベルト・ベルト車間摩擦係数  
軸材質

(b) 計算結果

駆動・従動軸径およびキーの寸法  
駆動・従動ベルト車呼び径  
ベルトのタイプ・長さ・本数  
軸間距離

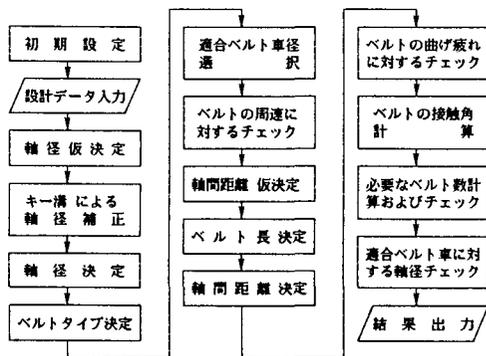
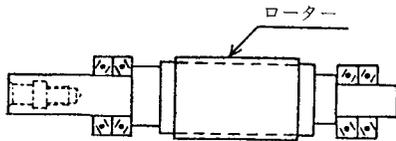


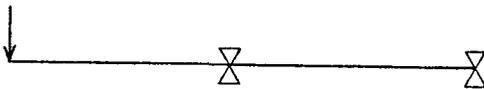
図7 Vベルト伝動装置設計のフローチャート

表2 実行例

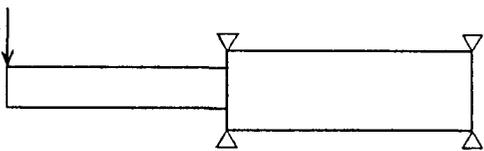
デンドウバリキ	20 PS
カフカケイスウ	1
アンゼンリツ	10
クドウカイテンスウ	1800 rpm
ジュウドウカイテンスウ	700 rpm
ジクザイ	S 55 C
ベルトタイプ	B
クドウガワジクケイ	45 mm
キー	14*5.5
ジュウドウガワジクケイ	55 mm
キー	16*6
データノコスウ	1
データ No.	1
クドウガワチョッケイ	250 mm
ジュウドウガワチョッケイ	630 mm
ベルトノナガサ	2667 mm
ジクカンキョリ	612.899 mm
ベルトノカズ	5ホン



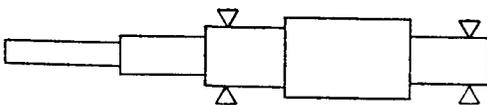
(a) 高周波スピンドルモデル



(b) 軸径計算用モデル



(c) たわみ計算用モデル



(d) 危険速度計算およびモード解析用モデル

図8 高周波スピンドルモデル

た。取扱方法を問答形式としてパソコンの初心者でも十分処理できるようにした。計算時間は長くて2~3分程度であるから、120名の学生に対してパソコン10台位で対応できるものと思われる。

### 2.3 高速スピンドル設計へのCADの応用<sup>2)</sup>

DN 値100万の高速スピンドルの設計を行った。高速スピンドルとして内面研削用高周波スピンドルを取り上げた。使用したパソコンはPC-8801である。図8に設計する高周波スピンドルのモデルを示す。図9に設計のフローチャートを示す。「設計条件の入力」で、DN 値100万、先端にかかる最大荷重 30 kgf、軸出力 1 kW を入力する。「材質の選択」では画面のデータを参考にして、材質名、縦弾性係数、許容引張応力、許容せん断応力などを入力する。「軸径の決定」では先端から砥石側軸受までの距離、軸受間距離などを入力し、強度と変形から軸径を計算する。「軸受の選定」では軸径に適合する軸受データを探して読み込み、要求寿命時間を入力して負荷容量、定格寿命時間を計算する。「疲労限度荷重の検討」では回転曲げによる破壊を起こさないための限度荷重を計算する。「ローターの圧入ししろの計算」では遠心力による分離防止に必要な圧入ししろを計算する。「負荷によるたわみのシミュレーション」では先端にかかる荷重、軸受間距離、軸径などを色々変化させ、軸のたわみ形を求めることができる。結果を図10に示す。(a)は軸のたわみの計算結

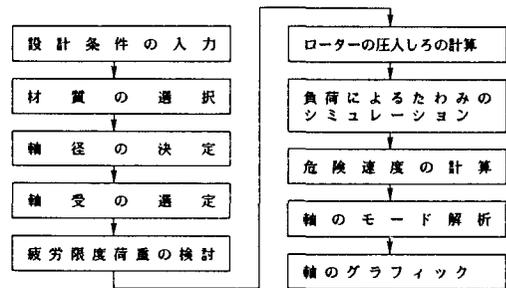
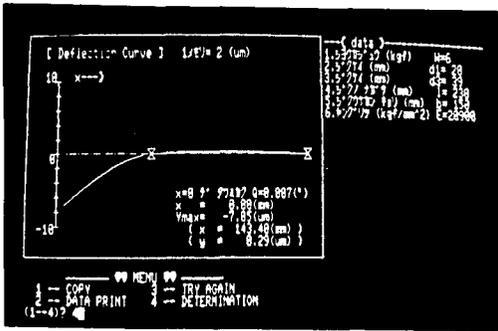


図9 高速スピンドル設計のフローチャート

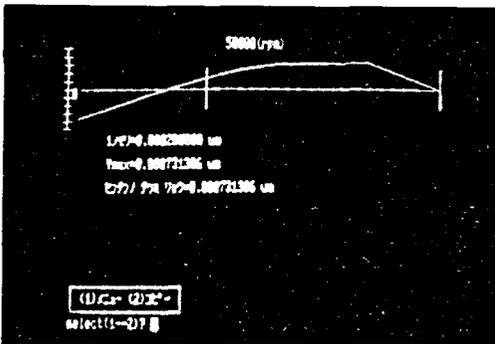
果、(b)は危険速度の計算によって求めた軸のモード解析結果、(c)は作成した図形要素プログラムによって軸の図面を出力したものである。

### 2.4 減速機設計へのCADの応用<sup>3)</sup>

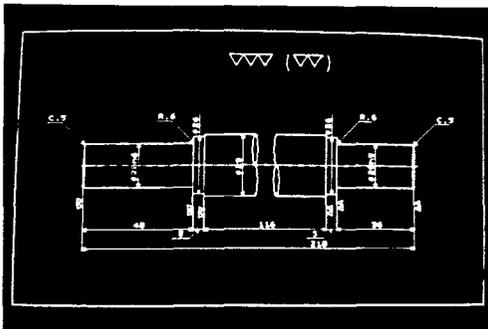
種々の減速機についてデータを集め、それをデータベースとしてパソコンに入力しておき、使用条件などを入力すれば、使用上最適であると思われる減速機を選定し、それについて設計計算を行い、その出力を基



(a) 軸のたわみの計算結果



(b) 軸のモード解析



(c) 軸のグラフィック

図10 結果の出力

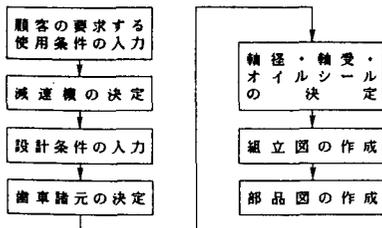


図11 減速機設計のフローチャート

に組立図から部品図の作成まで行うプログラムの開発を行った。使用したパソコンは PC-9801Vm2 である。図11に減速機設計のフローチャートを示す。

#### 2.4.1 減速機の選定

代表的な減速機13種類を対象としてデータを集めた。まず軸方式，入力回転数，出力回転数，伝達動力，滑り，バックラッシュの有無，騒音，使用速度を入力すると，その条件に対して適していない減速機が除外される。つぎに使用可能な減速機の中で，回転精度，騒音，振動，コスト，メンテナンスの難易度，容積，重量を点数化し，点数の高いものを最適な減速機として表示する。また特に重視したい項目があれば，点数表を見て点数の高いものをマニュアルで選定できる。

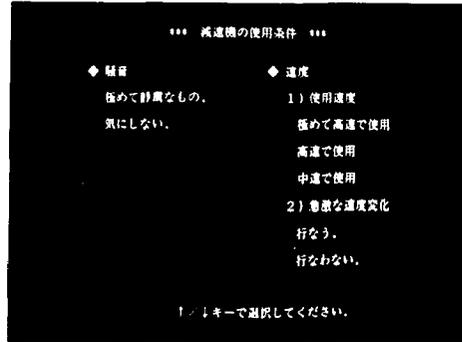


図12 使用条件の入力

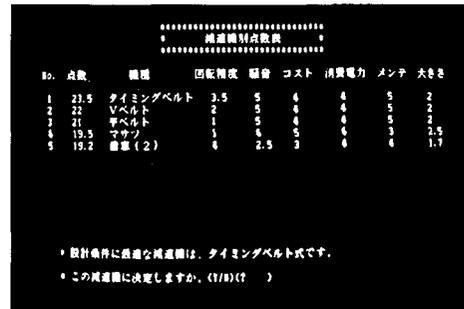


図13 減速機の選定

図12に使用条件の入力の一部を示す。図13に使用条件からタイミングベルト式減速機が選定された場合を示す。

#### 2.4.2 設計計算例

設計例として傘歯車とはすば歯車との組み合わせで，入力軸と出力軸とが直角方向に変換できる減速機を選んだ。この設計において，同じ設計条件の中で傘歯車とはすば歯車の減速比の割合を変化させて，全体として最もコンパクトな設計ができる機能を加えた。

まず、設計に必要な条件（減速比、伝達動力、軸のねじれ角、歯車の材質、歯形係数など）を入力し、傘歯車の減速比を1/1から1/5まで変えて、それぞれについて設計計算を行う。その結果から、歯車の諸元を決定し、その中から最もコンパクトな傘歯車とはすば歯車の減速比の割合のものを出力する。さらに、この計算結果を用いて、軸径、軸受、オイルシールの決定を行



図14 計算結果の出力

う。図14に計算結果の出力の一部を示す。

### 2.4.3 作図

作図のための傘歯車とはすば歯車との組み合わせ減

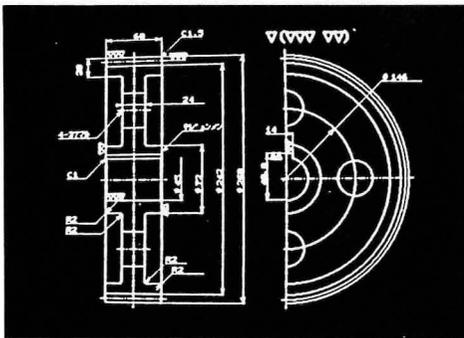


図15 歯車の部品図

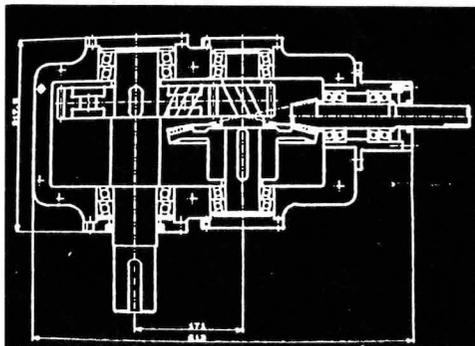


図16 歯車減速機の組立図

速機の基本形モデルは、既にパソコンに記憶してある。このモデルの各寸法を変数とし、設計計算で求めた値をその変数に代入して作図した部品図の例を図15に示す。組立図は、部品図を重ね合わせて作成した。この際、隠線処理は自動的に行われる。その例を図16に示す。なお、基本設計条件を変えずに傘歯車とはすば歯車の減速比の割合を変化させたものも、その画面を出力できる。また、拡大機能を組み込んだので、必要に応じて任意の箇所を拡大して出力できる。

### 2.5 CAD による送り装置の最適設計<sup>4)</sup>

本研究では送り装置についてのデータを集めて、それをデータベースとしてパソコンに入力しておき、設計仕様を入力すれば性能とコストを評価基準とした直動案内軸受に対する送りねじの最適な選定・設計を行い、静的特性のチェックを行うプログラムの開発を行った。使用したパソコンは PC-9801Vm2 である。図

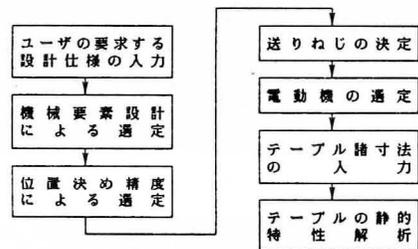


図17 送り装置設計のフローチャート

17に送り装置設計のフローチャートを示す。

#### 2.5.1 送り装置の選定・設計

まず、テーブルの設計仕様、運転条件を入力する。この条件で機械要素設計によって適していない送りねじが除外され、ユーザーの要求する位置決め精度を満たし、コストの安い送りねじが図18のように表示される。この中からマニュアルで最適な送りねじおよび使

これらの条件を満たすボールねじを換し次のように表示します

形式	ロストモーション (無負荷) (μm)	位置決め精度 (μm)	
SFT	4510-7.5	.908392	.135357
FFT	4010-5	.32632	.144164
JFT	4010-5	.3231	.142376
DFT	3203-5	.290056	.129659
DFT	3210-5	.312341	.138773
DFFT	3203-5	.291485	.13023
DFFT	3210-5	.31431	.13936
CFD	3203-8	.325927	.144007
CFD	4010-6	.318651	.13946
DFD	3203-4	.327205	.144518
DFD	4010-3	.319574	.13933
DFFD	3203-4	.326633	.145171
DFFD	4010-3	.321051	.140421
DD	3203-4	.325708	.144319
DD	4010-3	.319205	.139332

図18 最適な送りねじの表示例

用する電動機の選定を行う。

### 2.5.2 設計計算およびコンピュータグラフィック判定例

機械要素設計によって選定された送りねじのねじ長、ねじ軸の熱変位対策である予張力、引張量を計算し図19のように出力する。またテーブルまわりの諸寸

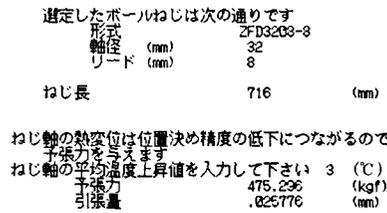
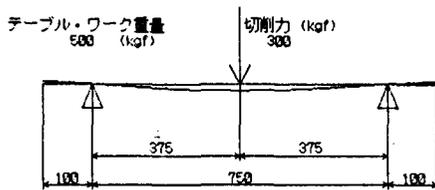


図19 計算結果



最大たわみは中央部に起こり  
最大たわみ量は 7.04003E-03 (cm) です

図20 テーブルの静的特性

法によってテーブルの静的特性の解析を行い(図20)、マニュアルで判定を行う。

### 2.6 CADによる多軸スピンドルの最適設計<sup>5)</sup>

本研究では、多軸スピンドルの設計にCADを利用して最適な歯車列を設計する手法を開発した。従動軸の本数が増えれば増えるほど中間軸の組み合わせは多数に存在する。比較的簡単な例として、従動軸の本数を3本と限定し各軸を同一方向に回転させるための歯車列の決定を行った。そして部品点数の最も少ない多軸スピンドルが最適であると考えた。その他、電動機、ドリル、ツールホルダー、軸受、材質などのデータを入れ、それを基にして強度計算し、組立図、部品図の作成まで行うプログラムを開発した。使用したパソコンはPC-9801XAである。

#### 2.6.1 設計のための基本条件

図21に多軸スピンドル設計のフローチャートを示す。初期条件を以下のように決定した。電動機は、5.5 kW、7.5 kW、15 kWの3種の二極三相誘導電動機とする。歯車は、平歯車とする。ワーク材質は、アルミニウムとし、加工法はドリル加工とする。ドリル

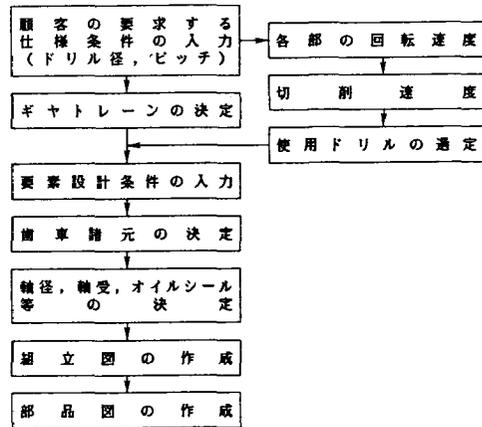


図21 多軸スピンドル設計のフローチャート

径は、5種類(6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 14 mm)とする。歯車列設計条件は次のように決定した。従動軸の本数は3本とし、それぞれの従動軸に対して中間軸は1本または3本とする。駆動軸と中間軸の間では増減速は行わず、最後の歯車列で行う。

#### 2.6.2 歯車列の決定

従動軸3本のドリル径と基準面からの3点の座標を入力する。駆動軸は、従動軸3本の座標を結んでできた三角形の重心、または鈍角を頂点として他の2つの点を結んだ距離を二分割する方向に駆動軸を任意におく。その駆動軸を中心に座標系を書き、その上で機能を満足できる歯車列をパソコンによって決定し、ディ

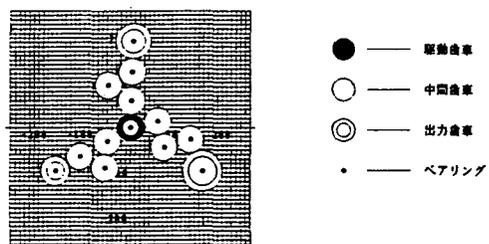


図22 歯車列の表示

表3 歯車列の各座標

		駆動座標	中間軸1	中間軸2	中間軸3	従動座標
No.1	X	0.0	-51.6	-55.0	-109.1	-163.3
	Y	0.0	-30.6	-90.5	-64.6	-96.7
No.2	X	0.0	2.1	-47.4	4.3	6.7
	Y	0.0	60.0	93.9	124.4	193.3
No.3	X	0.0	58.3	72.0	129.3	156.7
	Y	0.0	14.0	-44.0	-26.8	-96.7

スプレッドシート上に表示する。図22にその一例を示す。その後多軸スピンドルに移し、各軸系の座標を表3のように表示する。

### 2.6.3 多軸スピンドルの設計と作図

歯車の強度計算、歯車諸元、軸の強度計算、軸径の決定、軸受の決定、寿命時間の計算を行い各寸法を決定する。作図のための部品図および組立図の基本形は、データベースとして予めパソコンに記憶させておく。そして、このモデルの各寸法を変数として設計計算で求めた値をその変数に代入して作図する。図23に組立

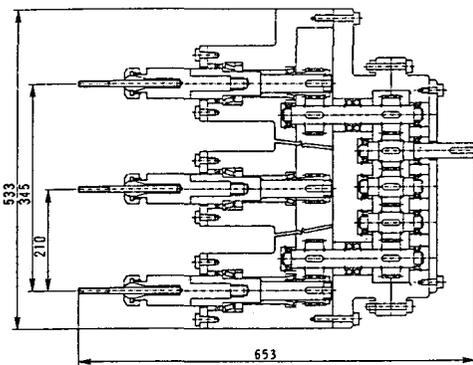


図23 多軸スピンドルの組立図

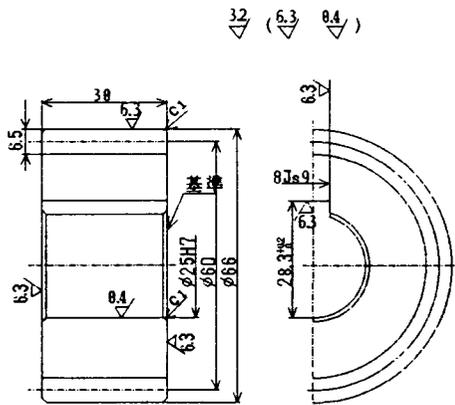


図24 歯車の部品図

図、図24に歯車の部品図を示す。

### 2.7 段つき軸のたわみ計算について<sup>6)</sup>

本研究では、たわみ方程式による計算と有限要素法を用いて軸のたわみを求めるプログラムを開発し、比較した。有限要素法の場合、入力データの作成を容易にするため、軸がどのような形状であっても、また荷重の位置や数がどのような場合でも自動で要素分割で

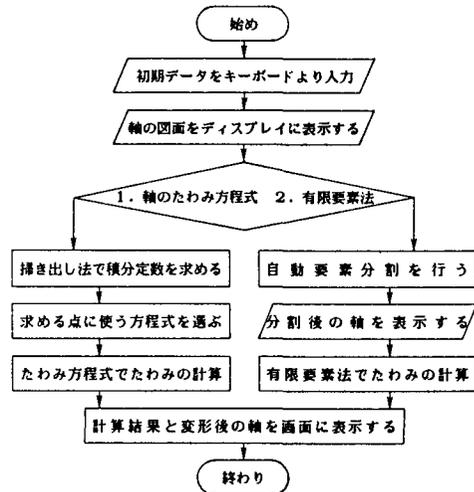


図25 段つき軸のたわみ計算のフローチャート

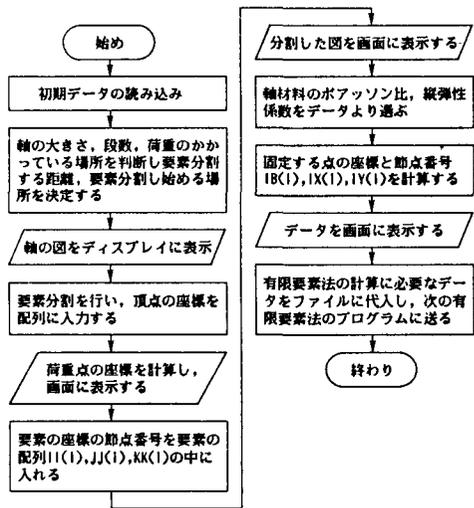


図26 自動要素分割のフローチャート

きるように考慮したプログラムを開発した。使用したパソコンは FM-16β である。たわみ計算のフローチャートを図25に示す。図26は、自動要素分割のフローチャートである。

#### 2.7.1 たわみ方程式と有限要素法

##### ① 軸のたわみ方程式

軸が  $k$  個の段を持ち、 $i$  個のラジアル荷重がかかるとすると、境界条件が  $2[(i+k)+1]$  個になる。両端のたわみは0である条件および軸の各段と荷重の各作用点ではこれらの位置の左、または右で計算されたたわみとたわみ角は共に等しい条件を与え、方程式を作

り、境界条件を掃き出し法によって求めた。

② 有限要素法と自動要素分割

軸を細かく分割し、個々の小部分だけについて考え、その特性を比較的簡単な式で近似的に表し、全体としての近似解を求めた。軸を2次元の板として三角形要素分割し、その後立体的に分けていく。軸断面を少しでも多くの多角形として考えるほど実際のものに近い値になる。要素分割を行った後に荷重点の座標を計算する。つぎに軸のポアソン比と縦弾性係数を与え、固定する点の座標と節点番号を自動的に選ぶ。

2.7.2 計算結果

① 軸のたわみ方程式を用いた場合

4段1荷重のたわみ計算の結果、最大たわみの起こる場所は左端から 170 mm、たわみ量は  $-1.48 \times 10^{-4}$  mm であった。

② 有限要素法を用いた場合

最大たわみの起こる場所は左端から 144 mm、たわみ量は  $-1.10 \times 10^{-4}$  mm であった。

③ 結果の比較

2つの方法による最大たわみの計算結果を比較すると最大たわみの起こる位置が少し違う点に出てくる。これは段の位置における分割数を増やすことで改善されると思われる。

2.8 段つき軸の最適設計について<sup>7)</sup>

非線形計画法の中で勾配射影法を用いて、段つき軸の設計を行った。許容応力、軸の段数、軸長、荷重の数、大きさなどを制約条件として軸の体積(重量)を最小とする最適設計を行った。また、その結果をもとにたわみ方程式により、たわみを計算した。使用したパソコンは PC-9801VX である。軸の形状が図27の場合の制約式および目的関数はつぎの式で示される。

制約式

$$X_P \geq \frac{32 \times \{(L - B_p) \times \sum_{i=1}^P Q_i B_i + B_p \times \sum_{i=P+1}^{\delta} Q_i (L - B_i)\}}{L \times \{\pi \times \delta \times (\text{許容応力})\}}$$

$$X_6 \geq L - B_5$$

$$X_6 + X_7 \geq L - B_4$$

$$X_6 + X_7 + X_8 \geq L - B_3$$

$$X_6 + X_7 + X_8 + X_9 \geq L - B_2$$

$$X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \geq L$$

目的関数

$$F = -\frac{1}{4} \pi \{X_1^2 \cdot X_6 + X_2^2 \cdot X_7 + X_3^2 \cdot X_8 + X_4^2 \cdot X_9 + X_5^2 \cdot X_{10}\}$$

計算結果を表4に示す。Q は荷重の大きさ、B は

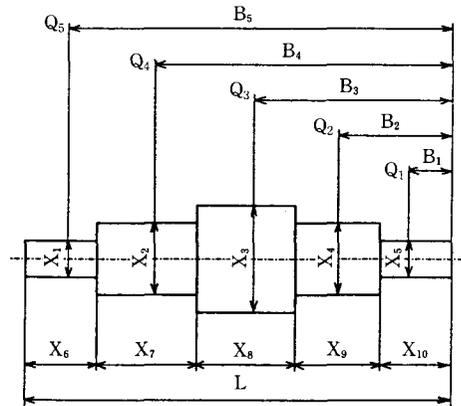


図27 軸の形状

表4 軸の各部寸法の計算結果

i	初期値		結果	
	B <sub>i</sub>	Q <sub>i</sub>	X <sub>i</sub>	X <sub>i+5</sub>
1	40	20	18.55	60
2	140	20	47.09	100
3	240	20	57.80	100
4	340	20	50.66	100
5	440	20	25.69	140
L=500				

単位: mm

表5 たわみの計算結果

最大たわみの位置	たわみ
361	0.080226

単位: mm

軸の右端からの距離、X<sub>1</sub>~X<sub>5</sub> が軸径、X<sub>6</sub>~X<sub>10</sub> が各段の軸長、L は軸の全長である。また、たわみ方程式によるたわみの計算結果を表5に示す。最大たわみの位置は軸の左端からの距離である。この方法により、軸径と各段の軸長との最適組み合わせが得られた。

3. 大学における CAD 教育の現状

最近、機械設計製図教育に CAD システムを利用している大学が急増している。1986年末では何らかの形で CAD/CAM 教育を行っている大学・高専は約30%、計画中のところも含めると約50%と予測している<sup>8)</sup>。このことから現在を予測すると、CAD 教育を実施している大学・高専は50%に達しているものと思

われる。

では、どのような形で CAD 教育が実施されているかについて現在までに発表されている数大学の CAD 教育の現状についてつぎに紹介する。

慶応義塾大学理工学部機械工学科<sup>9)</sup>では1986年現在、製図室にトラックタイプの製図器110台と CAD 設備40セットが設置され、授業はこれらの両方を用いて行われている。CAD を用いる場合には、学生1名に対し1台の CAD 設備を基準とし、講義と製図器を用いる実技と CAD による実技を並行して行っている。低学年で簡単に CAD の操作方法を教えた上でエンジンの1部品を CAD によって作図させ、高学年で CAD システムを用いて設計計算、シミュレーションおよび図面の作成を行っている。更に講義で CAD の基本概念と構造、実習でシミュレーション・診断プログラムを作成させている。

大阪大学教養部<sup>10)</sup>では、図学教育に CAD を導入している。数年の試作的装置の時期を経て1986年にパソコン汎用 CAD 装置を設備して、図学の課題図を画かせている。

徳島大学工学部精密機械工学科<sup>11)</sup>では、メカトロニクス教育の一部、設計製図教育の一貫として CAD 教育を取り入れている。情報処理センターの CAD 教育システムとしてホストコンピュータに約60台の TSS 端末と4台の高解像度グラフィック端末および学内研究室のパソコン約90台を接続している。本システムは、最近の CAD の必要性および将来性を考慮して、各種 CAD 教育を行うことができるようになってきている。3次元の形状処理、CAD/CAM システムの構成、機能について習得させると共に自由曲面処理および設計計算処理も習得させることができる。精密機械工学科と機械工学科では、共同で1982年にパソコン CAD を導入し、基礎製図を講義と手作図によって習得した後に、機械製図の表現方法のコンピュータ処理を学ばせている。例えば、Lブロックやフランジを BASIC を用いて三面図に描かせている。更に高学年で CAD の図形処理の実習および“パソコンによる対話型問題向き CAD システムの開発”を行い、電動ウインチの設計、油圧シリンダの設計、旋盤主軸部の設計などを課題として設計計算から出図までを CAD によって実施している。

関西大学工学部<sup>12)</sup>は、1986年12月頃から学部共同利用設備としての CAD 教室の開設準備に取り掛かり1987年度より開設している。CAD 教室管理運営委員会によって運営され、利用は一括利用としての授業と、

個人利用としてのオープン利用とができる。現在の利用状況は、一週間30コマのうち、15コマが一括利用、残りが個人利用されている。この教室は単なる CAD 教室に止まることなく、CAD 教育、コンピュータ言語教育、TSS 利用教育などコンピュータを使うための教育とシミュレーション、データ処理、数値実験などの「コンピュータを使った教育」への利用に多角的に教育に利用できる教室となっている。

東京大学機械系三学科における CAD/CAM 教育<sup>13)</sup>のシステムは、59台のパソコン、ホスト計算機の汎用中型コンピュータ、2台のホスト計算機専用グラフィックターミナルおよび2台の同時3軸小型 NC 加工装置を中心に構成されている。パソコンのうち、25台は主に PC-CAD 用として利用し、残りは汎用となっている。学生は、課題の製図には MICRO-CADAM を用い、設計計算は汎用パソコンのプログラム言語（主に Pascal）で行う。FEM の解析計算はパソコンとホスト端末を併用している。3年次次年度の機械設計製図第2では、①油圧シリンダ、②平歯車減速機、③NC 位置決めテーブル、④汎用ガソリンエンジンの4題が年間に出題される。出題時に指示された仕様に基づく設計計算書、計画図、部品図および組立図を提出させるが、図面のうち、最低1枚は PC-CAD によって作図することを条件としている。また、これらの課題では、CAD による製図ばかりでなく、解析シミュレーションを行わせている。1988年度からは PC-CAD で製図した図形データを基に NC データをコンピュータ画面上で対話式に生成して、部品の1点は実際に加工してみることを計画している。

金沢工業大学<sup>14)</sup>では、1985年度から CAD/CAM 演習という科目を新設している。CAD/CAM 演習の授業は講義と演習がほぼ同じ割合で行われている。CAD/CAM システムの構成は、電子計算機センターに IBM3090 (64MB) を中心に、30台の CAD スコープ (IBM5080) およびプロッタが設置されていて、機械工学科内に CAD/CAM センターがある。CAD/CAM システムで生成された制御情報をマシニングセンターやロボットにオンラインで供給している。教育を円滑に行うため「CAD/CAM Education Aid」と呼ぶ教育支援システムが作成されている。これによって、複雑な処理もごく自然に実行でき、設計・生産業務の本質に重点を置いた演習が可能になっている。

以上の例から見られるように、大学における CAD 教育は設計製図教育の基礎と応用に CAD システムをツールとして利用する分野と、CAD の中身を教える

分野とがあり、単に設計製図のみに止まらず、CAM や CAE を含んだものとしての一貫教育を目指したものが多。そして、多人数教育において学生1人に1台の CAD 装置を基本にするところから、設計製図教育にはパソコン CAD が中心にならざるを得ないが、CAE を含む CAD/CAM 教育を対象とする場合はパソコンでは機能が不足するので性能の高いコンピュータを用いた3次元 CAD/CAM システムを構成しようとする所が増えつつある。

#### 4. 本学機械工学科における機械設計製図教育への CAD システムの活用案

本学教育研究設備として CAD/CAM システム導入に関わる検討部会が1987年度に電子計算機センター運営委員会の中に設置され、同時に機械工学科に CAD/CAM 教育検討部会が設けられて、CAD 教育の導入について検討された。その内容を以下に紹介する。

##### 4.1 機械工学科における CAE/CAD/CAM 教育について

社会におけるニーズの多様化と商品寿命の短縮化によって、フレキシブルな生産システムの実現が工業界における重要な課題である。それへの対応手段として、CAD/CAM の導入と普及がここ2～3年の間に急進した。CAD は基本設計へのコンピュータ活用のツールであり、構造解析をはじめ振動、制御および流れなどのダイナミクス解析、シミュレーションなど CAE の分野へ拡大されている。このような環境の変化に対応して、本学においても CAD/CAM 教育の導入が重点的課題となってきた。機械工学科の CAD/CAM 教育検討部会において検討され、CAD 教育を導入することによって、つぎのことが可能となることを確認した。

- (1) CAD をツールとすることによって、機械装置、部品等の立体感覚を容易に身につけさせることができる。
- (2) CAE/CAD/CAM システムをツールとして実験データ処理、構造解析、振動・制御・流れなどのダイナミクス解析、設計案の作成、評価・シミュレーション等の技術を身につけさせることが可能となる。
- (3) 学生自身がコンピュータとの対話によって、設計案を作成しそれを評価・シミュレートすることで、個別指導の中身を充実することが可能となる。
- (4) CAD ソフトウェアおよびデータベースの構築

によって、各種設計資料を柔軟に使用し、学生自身に創造力を発揮する機会（時間）を多く持たせることが可能となる。

以上のことから、教育の充実と高度化が図られ、多人数教育の効率的・効果的個別指導が実施できる。現行カリキュラムでの各年次における教育内容として表

表6 機械工学科における CAE/CAD/CAM 教育案

年次	授業科目	内 容
1年次	計算機演習	プログラミング教育とパソコン演習
	図学	CG を利用した立体図形と平面図形
2年次	機械設計製図Ⅰ	CAD の使用法、ボルト、ナット、歯車、簡単な軸受の CAD 製図
	機械設計製図Ⅱ	軸受のケーシングおよびバルブの CAD による製図
	機械設計製図Ⅲ	スケッチ図をデータとした CAD による製図
	機械工作実習 電子機械工作実習	CAD/CAM システムによる図面作成と NC テープ作成、DNC によるオンライン加工、三次元測定機による加工製品の測定、測定データを用いたコンピュータ支援製図
3年次	総合機械設計製図Ⅰ	減速機の設計製図の CAD による設計案の作成
	電子機械設計製図Ⅰ	油圧シリンダー式往復動制御装置の CAD による設計案の作成
	設計製図Ⅰ	講義のほかに伝動軸の決定を例としてプログラムの作成
	機械設計Ⅱ	講義のほかに歯車型軸継手を例にとってプログラムの作成
	総合機械設計製図Ⅱ	原動機、流体機械、工作機械主軸の設計製図：各自設計案を CAD により作成（シミュレーション、設計診断を含む）
	電子機械設計製図Ⅱ	流体機械、自動化装置、油圧止装置の設計製図：各自設計案を CAD により作成（シミュレーション、設計診断を含む）
	機械工学実験 電子機械工学実験	実験データの自動収集とデータ解析 数値シミュレーション
4年次	設計特論	設計対象物をプロダクトモデルとして表現する手法について講義および演習

6 が考えられる。

CAD 教育導入によって、CAD データの多角的利用技術の育成および生産設計、NC プログラムの作成が可能となる。また、CAD をツールとして、コンピュータとの対話による設計技術を学ぶ中で、数値解析およびシミュレーションによる評価技術の育成も可能となる。よって、将来的には CAE/CAD/CAM の一貫教育へ進展できる可能性を持っている。現行カリキュラムで個別的に教育している図学、数値計算、設計製図、実験、実習、機械設計の教育に一貫性を持たせ、実験データ処理、構造解析をはじめ振動、制御および流れなどのダイナミクス解析、情報処理等に関連した有効な教育を効率的に実施することが可能となる。

##### 4.2 システム構成について

CAD システムの構成は、CAE/CAD/CAM 教育を

目標として計画する。現行カリキュラムの一部見直しを含んで CAD システムをツールとして利用することを前提とし、将来の拡張を考慮して、E. W. S. にバ

うまくかみ合わせることによって、効果的かつ効率的な機械設計製図教育を実施することができるものと思う。

また、本研究に関連して、最近の大学における CAD 教育が CAD を利用した教育と CAD の教育の2分野において実施されつつあり、メカトロ教育の一貫として CAD/CAM 教育が考えられていることを踏まえて本学機械工学科に CAD 教育を導入する場合のカリキュラムの位置づけとその教育内容を明らかにした。そして、導入する場合の案として、将来的には、CAE/CAD/CAM 教育を目標に、ホストコンピュータ（ミニコン）に E. W. S. を接続し、3次元図形処理および CAD/CAM システムとして CAD データを基に NC プログラミングなど生産設計の可能なシステム構成を示した。

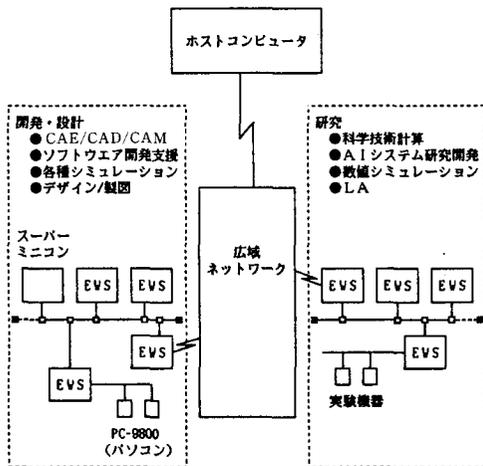


図28 CAD システムの構成案

ソコンを接続したシステムとする。図28にシステムの構成案を示す。ホストコンピュータにパソコンを接続して①図面を画くこと（立体図形と平面図との関係を理解することのできるシステム）②2次元図形処理③3次元（または2.5次元）図形処理ができるようにする。そして、CAD/CAM システムの構成とし、CAD データを基に NC プログラミングなど生産設計のできるシステムとし、CAE/CAD/CAM システムとして完成させる。

## 5. ま と め

機械設計製図教育への CAD の応用としてつぎのプログラムの開発およびデータベースを構築した。

- (1) JIS 規格の基礎的知識の把握への CAD の応用
- (2) パソコンによるVベルト伝動装置の設計
- (3) 高速スピンドル設計への CAD の応用
- (4) 減速機設計への CAD の応用
- (5) CAD による送り装置の最適設計
- (6) CAD による多軸スピンドルの最適設計
- (7) 段つき軸のたわみ計算
- (8) 段つき軸の最適設計

これらは、基礎製図の教育から機械装置の設計製図教育に CAD システムを利用する場合の指針となるものである。最近では、パソコン CAD のソフトウェアが多く開発されているのでそれらと本研究での成果とを

## 6. 謝 辞

本研究は、昭和59年度鶴教育研究助成金および昭和60年度広島工業大学教育研究補助金の交付を受けて実施したことを付記する。そして、設計計算データの協力をして戴いた機械工学科山下尚義助教授および卒業研究として本研究のプログラム開発等に当たられた芝山勝俊君、畑本俊之君、馬場一宏君、山口政則君、元廣勇二君、瀬崎浩基君、竹本雄久君、川西徹君、斉藤和尚君、藤富俊幸君、本田純治君、渡邊義美君、植本豊君、武市真樹君、岡光寿君、井上雅雄君、大賀和光君、下原博君、豊田義雄君、吉永康紀君、岡辰敏君、皿田学君、玉乃井伸輝君に厚くお礼を申し上げます。また、機械工学科における CAE/CAD/CAM 教育についてのまとめにおいて関与された学科検討部会の村井等教授、川辺尚志教授、西本澄助教授のみなさんおよび機械工学科の先生方に感謝申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 元廣勇二、山下尚義：パソコンによるVベルト伝動装置の設計—セルフチェックを重視した教育用プログラムの試作—, 日本機械学会第16回中国四国学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, (1986), 83~84.
- 2) 瀬崎浩基、竹本雄久、川西徹、斉藤和尚、寺谷忠郎：高速スピンドル設計への CAD の応用, 日本機械学会第15回中国四国学生員卒業研究発表講演会講演前刷集, (1985), 49~50.
- 3) 藤富俊幸、本田純治、渡邊義美、寺谷忠郎：減速機設計への CAD の応用, 日本機械学会第16回中

- 国四国学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，  
(1986)，85～86.
- 4) 榎本 豊，武市真樹，岡 光寿：CAD による送り装置の最適設計，昭和61年度広島工業大学機械工学科卒業研究発表会，(1987).
- 5) 井上雅雄，大賀和光，下原 博，寺谷忠郎：CAD による多軸スピンドルの最適設計，日本機械学会第18回中国四国学生員卒業研究発表講演会講演前刷集，(1988)，167～168.
- 6) 片山剛之丞，豊田義雄，吉永康紀：段つき軸のたわみ計算について，日本設計製図学会中国支部講演論文集 No. 6, (1986), 15～20.
- 7) 片山剛之丞，岡 辰敏，皿田 学，玉乃井伸輝：段つき軸の最適設計について，日本設計製図学会中国支部講演論文集 No. 7, (1988), 35～37.
- 8) 中島尚正：CAD/CAM 教育の現況について，設計製図，22-2，(1987)，64～70.
- 9) 徳岡直静：慶応義塾大学の教育カリキュラムと設計教育への CAD の導入，設計製図，22-3，(1987)，104～110.
- 10) 中村貞男，杉山和久：大阪大学における CAD システムを利用する図学教育，設計製図，22-11，(1987)，394～398.
- 11) 今校正夫，大恵俊一郎，西岡一水，藤原晴夫，村上理一：徳島大学工学部精密機械工学科における CAD 教育の現状，設計製図，22-12，(1987)，415～420.
- 12) 三上市蔵：関西大学工学部における CAD 教育計画，設計製図，23-6，(1988)，167～174.
- 13) 及川和広，中島尚正：東京大学機械系三学科における CAD/CAM 教育，設計製図，23-8，(1988)，263～269.
- 14) 河端 裕：金沢工業大学における CAD/CAM 教育，金沢工業大学資料，(1986)，1～9.