

CAD 図面の理解と計算機援用寸法チェックシステムへの応用

辻 尾 昇 三 中 村 嘉 伸 吉 嶺 英 人

鹿児島大学工学部機械工学科

CAD システムを用いて作成した図面 (CAD 図面) でも、設計情報を製図作業者が入力している以上、従来の手書き図面の場合と同様、製図の誤りをチェック (検図) する必要がある。一方、CAD 図面では、図面データはシステム内の記憶装置に蓄えられている。もし計算機に検図のための知識を組込むことができれば、図面データをもとに検図を行うことが可能であろう。ここでは設計情報のなかから寸法情報を取り上げ、寸法の記入誤り、すなわち、寸法の記入不足、過剰記入、寸法値と図形座標値の一致性などをチェックする方法を提案する。ただし、投影図には誤りはないと仮定した。寸法チェックを行うためには、図形から寸法を入れるべき箇所を自動抽出する必要がある。この方法を、制限された図面に対して提案し、作成したプロトタイプ寸法チェックシステムについてその概要を述べる。

Automatic Recognition of Tree-View Drawings and Its Application to a Computer-Aided Dimension Check System for Mechanical Part Drawings

Showzow Tsujio, Yoshinobu Nakamura, Hideto Yoshimine

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Kagoshima University

1-21-40, Kohrimoto, Kagoshima 890

Existing CAD systems do not provide advanced functions for automatic checking of design and drafting errors in mechanical drawings. If the knowledge of checking of mechanical drawings can be implemented into computers, CAD systems could automatically check for design and drafting errors. This paper describes a method for systematic checking of dimensional errors, such as deficiency and/or redundancy of dimensions, input-errors in dimension entities (texts, figures, and symbols), etc. The logic for finding dimensional errors is written by using a procedural language C++. A geometric model and a topological-graph model are used in this method. Checking for deficiency and redundancy of dimensions is based upon Graph Theory.

1 はじめに

コンピュータ技術の最近の発達によって製図の方法は、製図板にはられた紙上への手書きから、コンピュータディスプレイ上への作業へと移り変わってきた。CADシステムでは、製図者の技能は熟練を必要としないので、誰でも容易に製図を行うことが可能となった。また、手書き製図の欠点であった図面の保存管理の手間や再利用時の修正の難しさといった問題も解決されつつある。

しかし、CADシステムによる製図においても、設計情報は製図作業者がシステムに入力しているので、CAD図面でも従来の手書き図面と同様に、製図作業者の入力ミスによる誤情報が含まれる可能性は依然として無くなっていない。したがって、CAD図面に対しても検図作業は欠かせない重要なプロセスである。

CADにおける検図は、プロッタなどにより出力された図面か、あるいはCRT画面上に表示された図面に対して行われる[1]。したがって、検図作業それ自体は、CAD図面でも、手書き図面と同様の手法で行われており、計算機を活用した本質的な合理化は行われていない。本研究の目的は検図作業の一部を計算機の支援のもとに遂行する方法を確立することである。

機械図面に対する検図を大別すると

- (a) コスト検図、機能検図など設計から生産の全工程にわたる高度な知識を要する検図
- (b) 製図法に関する検図や規格に関する検図などの比較的ルール化しやすい知識で行える検図

の2つに分けられる。(a)の検図については、まさしく人間が行うべき作業であると考えられるが、(b)の検図では定形的な作業も多く、計算機を用いて行うことも可能であろう。本報告では、このような研究の初期段階として、上記(b)の検図のうち設計対象物体の幾何情報の検図を取り扱う。

設計図が表現する幾何情報は(a)図形情報、(b)寸法情報に大別できる。図形情報の内容は、三次元物体を正面図、平面図、側面図(いわゆる三面図)に投影したものである。製図者が三面図を入力する通常のシステムでは、図形情報自体に誤りが存在する可能性がある。しかし、いくつかのCADシステムでは、三次元ソリッドモデルから半自動的に投影図を作るものもある。図形情報の誤りを検出する研究[2]もなされているが、ここでは図形情報自体は正しいと仮定して、寸法情報の誤りを検出する方法を考察する。

これまで、三面図のうちの一面図を対象にして、寸法の誤りをチェックする方法の提案と寸法チェックのプロトタイプシステムの構築を行った[3,4]。また三面図に対する寸法チェックの方法の提案も行ってきた[5]が、本報告では作成したプロトタイプシステムについて述べる。

なお、図形情報が正しい場合は、「自動寸法記入問題」を構成することができる。これに関するいくつかの研究[6,7]もあるが、この場合、設計意図を反映した寸法記入が問題となる。したがって、CADシステムに設計意図をどのように与えるかを議論する必要がある。

なお、CADの形状モデルとしてパラメトリックモデルを用いたシステムがある[8]。このモデリングでは、寸法の矛盾性をチェックする機能を実現することが可能であるので、このようなCADシステムは、本研究の対象外とした。

本報告では寸法のチェック項目として記入寸法数値と図面上の座標値の一致性、寸法数値の記入漏れ、寸法の過剰記入、寸法の記入不足の4項目を対象とした。CADシステムとして、データ構造が公開されているAutoCAD(Autodesk社製)、計算機としてSPARCstation 1(Sun Microsystems社製)、言語としてC++を使用した。

2 問題の構成

対象図面は、あまり複雑でない機械部品図とし、つぎの条件を満たすものに限定する。

- (a) 図形は第三角法で、JIS製図規格に従って正しく描かれている。
- (b) 図形は直線、円、円弧のみからなる。
- (c) 寸法記入法は、JIS製図規格に従うが、弦と円弧の長さ、角度などの寸法表示、および特殊な寸法記入はないものとする。また、寸法線は図面座標軸方向に記入されるものに限定する。
- (d) 図面は補助投影図、回転投影図および部分投影図を持たない。
- (e) 図面は断面図、または部分断面図を持たない。

以上の限定された図面に対して、つぎに述べる4つの寸法チェック項目を計算機を援用してチェックする。

- (a) 記入寸法数値と図形座標データとの整合
- (b) 寸法数値の記入漏れ

(c) 寸法の過剰記入

(d) 寸法の記入不足

3 機械図面における寸法

機械図面では、寸法は図形と相補的な関係において形と大きさを決定する重要な役割を持っている。この寸法を、その性質に着目して分類すると

- 1) 大きさ寸法と位置寸法
- 2) 幾何寸法と位相寸法
- 3) 大局寸法と局所寸法

のようになる。

上記1)の分類では、例えば円の径は大きさ寸法であり、円の中心は位置寸法である。2)の分類の幾何寸法とは図面上に明示的に与えられた寸法のことである。これに対して位相寸法は、明示的には与えられていないが、幾何寸法をもとに決定することができる寸法である。位相寸法は、一見しただけでは寸法の記入不足と区別がつかないことを注意しておく。

つぎの分類3)の大局寸法とは、設計物体全体の形状や大きさに影響を与えるような寸法のことである。また局所寸法とは、面取りや角丸み、キー溝などの局所的な形状に関する寸法である。なお、大局寸法は幾何寸法と位相寸法のいずれでも表せるが、局所寸法は基本的に幾何寸法であることに注意する必要がある。

また、後述する理由により本研究では大局寸法と局所寸法とで異なった取扱いをする。

4 図形要素と寸法の関係

4.1 基本図形要素に対する寸法記入

先の2節で述べたように、図面を構成する基本図形要素は、線分、円、円弧の3種類である。これらの図形要素について寸法記入が必要な点(特徴点)と、記入が必要な寸法とを述べる。

・線分 …… 特徴点は両端点である。特徴点に対して、 x 軸方向の長さ、 y 軸方向の長さをそれぞれ決定するように寸法が記入されていれば、線分は一意的に決まる。

・円 …… 特徴点は中心である。ただし、水平または垂直な中心線と交わる円周上の点も特徴点となり得る。中心を決定する寸法は位置寸法であるので、この他に半径または直径を示す大きさ寸法が必要である。

・円弧 …… 特徴点は中心と始点、終点である。円と同様に中心を示す寸法は位置寸法である。この他に径を示す寸法が必要である。また、始角と終角、もしくは始点と終点の位置を明示する寸法が必要となる場合もある。

4.2 一面図に対する寸法記入

一般的には、寸法は図面座標軸方向に入れるので、特徴点を座標軸に投影し、これを投影特徴点と呼ぶことにする。一面図に描かれている基本図形要素の特徴点がすべて寸法記入の対象となるわけではない。このことを Figure 1 を使って説明する。なお、以下の議論は図面全体の座標系(World座標系)ではなく、各面図ごとの座標系(View座標系)を用いて行う。

いま x 軸方向に記入される寸法について考察する。Figure 1(a)において、 x_1 と x_2 の差があるしきい値以下であれば、線分 F_1F_2 は x 軸に垂直な線分であるとみなせる。よって特徴点 F_1 と F_2 を寸法を入れるべき1つのグループと考えることができる。 x_7 と x_8 についても同様のことが言えるので、図の寸法 A によって、線分 F_1F_2 と F_7F_8 間の距離が定まる。なぜなら、外形線の端点が寸法補助線に接続し、その延長上にもう1つの端点が存在しているからである[9]。

一方 x_3 と x_8 の差があるしきい値以下である場合、寸法 A により F_1F_2 と F_3F_4 間の距離が定まるかどうかについてはあいまいさが残る。本研究では、 F_1F_2 と F_3F_4 の間には寸法が必要であるという立場をとる。

以上より Figure 1(a) では、 $[x_1, x_2]$ 、 $[x_3, x_4]$ 、 $[x_5, x_6]$ 、 $[x_7, x_8]$ が投影特徴点である。もし、Figure 1(b) のように中心線をもつ図であれば、 x_3 と x_8 も同じ x 座標値をもつとみなしてよいので、 $[x_3, x_4, x_7, x_8]$ を1つの投影特徴点として扱える。

4.3 三面図に対する寸法記入

三面図において、寸法を入れるべき投影特徴点の発見は、投影法の性質を考慮して行わなければならない。Figure 2における正面図は Figure 1に示したものと同一である。この場合も x 軸方向の寸法について考察する。なお、以後の議論においては点 P_i の座標値を (x_{P_i}, y_{P_i}) の様に記すものとする。

前項で述べた理由から、 x_{F_1} と x_{F_2} とは、1つの投影特徴点として扱える。一方、一面図の場合 x_{F_1} と x_{T_2} とは、同一外形線の端点ではないので、1つの投影特徴点として扱うことができない。しかし、二面図においては、投影法のルールから F_1 と T_2 は同一の点であるので、 x_{T_1} 、 x_{T_2} 、 x_{F_1} 、 x_{F_2} の4つの座標値を1つの投

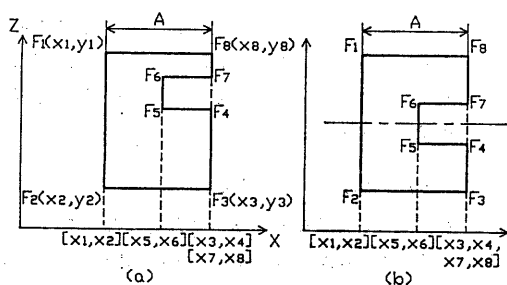


Figure 1: Single view drawing

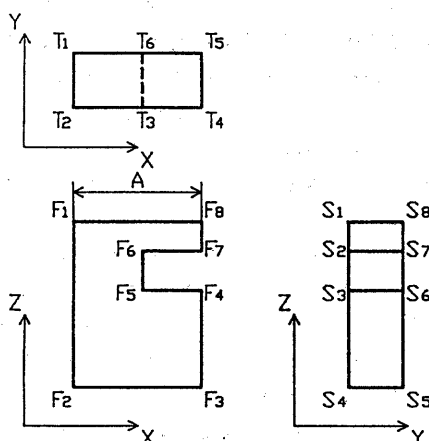


Figure 2: Three view drawing

影特徴点として扱うことができる。同様に x_{T4} 、 x_{T5} 、 x_{F7} 、 x_{F8} も 1つの投影特徴点として扱うことができる。
y 方向 z 方向の寸法についても、上と同じ議論ができる。

なお、三面図における寸法は、正面図、平面図および側面図の各二次元図形が、投影法のルールのもとに寸法を使って一意的に決定されるように記入されるものと考えられる。換言すれば、三面図に描かれている図形が一意的に定まるように寸法が入っていれば、実用上設計物体を製作できる必要がある。もし、三面図をそのように描けない場合、補助投影図や断面図が使われる。

また、局所寸法については、その表記法が JIS 製図規格で定められている [10] ので、上の議論とは異なった取扱いをする必要がある。

5 検図における図面理解

コンピュータを用いて CAD 図面を対象とした検図を行うためには、CAD データを図面として取り扱う

必要がある。しかし、通常の CAD データでは、線分、円、円弧などに関するデータが、相互に関係なく個々のベクトルデータとして表現されているにすぎない。このデータ表現は、本来図面が内包している様々な情報の中から図形構成要素に関する情報だけを抽出したものである。検図システム構築のキーは、ベクトルデータの中から図面が内包している検図に必要な情報を再現することにある。

5.1 大局寸法のチェックに必要な図面理解

大局寸法のチェックのためには、投影特徴点をコンピュータが自動的に抽出する必要がある。

一面図においては、この寸法記入を必要とする点の抽出は 4.2 項で述べた方法によって比較的容易に行える。三面図における基本的手法は 4.3 項で述べた。しかし、図面が少し複雑になるとこれを正確に処理することは難しい。例えば Figure 3(a)、(b) において、両図とも平面図の外形線は同じ形状をしている。しかし、Figure 3(a) の図面では、 $[x_{T3}, x_{T4}, x_{T7}, x_{T8}]$ は 1つの投影特徴点として扱わなければならないが、Figure 3(b) では $[x_{T3}, x_{T4}]$ と $[x_{T7}, x_{T8}]$ とは別々の投影特徴点である。これを判断するためには、例えば、Figure 3(a) の場合

- (a) T_3 、 F_7 、 S_1 が同一の点であり、また F_3 と S_2 が同一の点である。
- (b) 線分 $\overline{S_2S_3}$ は xz 平面に垂直で、かつ分断せずに存在している。
- (c) 線分 $\overline{S_4S_3}$ は xy 平面に垂直で、かつ分断せずに存在している。
- (d) T_8 と S_4 は同一の点である。

という情報を図形要素データから認識する必要がある。これらの認識が可能であれば (a)、(b) より S_1 、 S_2 、 S_3 は x 方向について同一の投影特徴点で表せる点であることが判り、また (c) より S_3 と S_4 が同一の投影特徴点で表せることが判る。以上より S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 が x 方向について同一の投影特徴点で表せる (同一の平面上に存在する) ことが判る。ここで、(d) と 4.2 項の議論より x_{T3} 、 x_{T4} 、 x_{T7} 、 x_{T8} が同一の投影特徴点として扱えることが明確になる。すなわち、大局寸法検図を行う場合の図面理解のポイントは、寸法記入の必要な点の判別とグルーピングのための情報の再構成にある。

5.2 局所寸法のチェックに必要な図面理解

機械部品の局所形状は、応力集中による設計物体の破損を避けるための角丸みや面取り、運動を拘束するためのキー溝など特有の機能を実現するためのものが多い。このために、図面上でも特徴的な形状で描かれる。この局所特徴形状を、認識するためには、ベクトルデータの組み合わせ情報をルール化しておき、そのルールに従ってベクトルデータの探索を行う必要がある。

一面図においては、このルール化と探索とは比較的容易に行える。しかし、三面図になるとルールが複雑化し、探索に時間がかかる。例えば、Figure 4の様に面取りの特徴形状が正面図に描かれる場合を考える。正面図の面取りによって他の二面図（この場合、平面図と側面図）に派生的な外形線（稜線）が生じる。図面によって、この稜線が省略される場合と、省略されず描かれる場合とがある。面取りによって生じた稜線が省略されずに描かれていれば、その稜線も面取り形状の構成要素として認識しなければならない。なぜなら、大局寸法を入れるべき特徴点として認識される可能性があるからである。

また、機械製図では図面对称性がある場合、対称な局所形状の組に関しては「どちらか一方に寸法を記入し、他方は省略する」というルールがある。このため、図面の局所的な部分に着目するだけでは不十分で、図面全体の対称性に関する認識も行う必要がある。

図面がもっている局所特徴形状に関する情報を再構成するためには、以上のような図面認識を行うと同時に、図面情報を表現できるようなデータ構造を構築しなければならない。

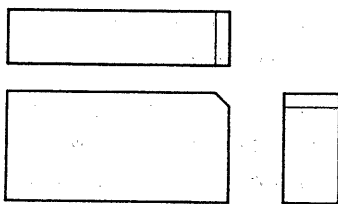


Figure 4: Geometrical feature of chamfer in three views

6 大局寸法のチェック

図形から寸法記入の必要な特徴点を抽出することができると、特徴点をグラフのノード、寸法をグラフのブランチに対応させて、グラフモデル（寸法グラフ）が得られる。寸法グラフの構造を調べることで、寸

法の過不足の判断ができる[4,5]。よって以下では寸法記入が必要な点の抽出方法を述べることにする。

三面図に対して、寸法記入の必要な投影特徴点を認識する方法としていくつかの方法が考えられる。例えば、各面図ごとの投影特徴点をもとに、面図間の対応から、同一のものとみなすべき投影特徴点を1つのグループにする方法である。ここでは三面図からワイヤー・フレームモデルを作成し、平面、稜線、頂点などを再構成して、特徴点のグループ分けを行う方法を取った[11]。

座標軸に、平行または垂直な直線のみで構成された図面に対して、ワイヤー・フレームモデルを用いて寸法グラフのノードを作成する手順は以下のとおりである。

1. 寸法グラフを作成しようとする座標軸に対して垂直な面を取り出す。
2. 取り出した面上で連結している直線を1つのグループとしてまとめる。
3. 手順2.でまとめた連結した直線を見つけ、これらの直線の特徴点全てを1つのグループにまとめる。
4. 得られた特徴点のグループが寸法記入を必要とする場所の1つである。このグループをもとに、グラフのノードを作成する。

7 局所寸法のチェック

前述したように、局所寸法チェックを行う時のポイントは、特徴形状の認識とそのデータ表現である。以下では、局所寸法チェックの手順を、面取りについて少し詳しく説明する。

検図システムでは、面取りの形状認識をルール化した関数を用意した。この関数は、図形要素に関するデータを探索し、面取り形状を構成する図形要素のデータを、1つのデータ構造としてまとめる。5.2項で述べたように面取り形状を構成するデータの個数は一定していないので、面取り用のデータ構造（以下、オブジェクトと呼ぶ）は、冗長性を持たせながら記憶領域の無駄を減らすよう工夫した。

複数の面取り形状が存在する図面では、その個数だけオブジェクトが生成され、リスト構造のデータがつけられる。例えば、Figure 5に示したVブロックの図面に対しては、Figure 6に示す様な4つのオブジェクトから成るリストが生成される。

つぎに図面の対称性に関する情報をデータの中に組み込む必要がある。対称性の処理の判断のために図面

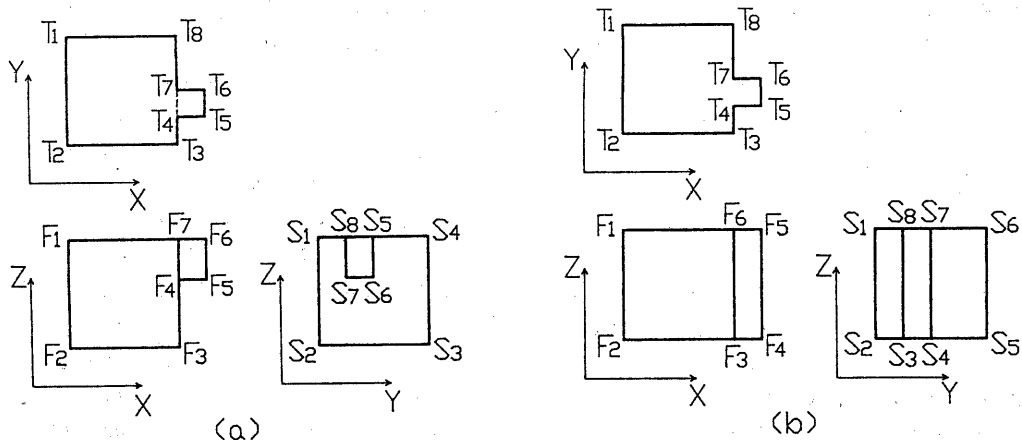


Figure 3: Examples of three views

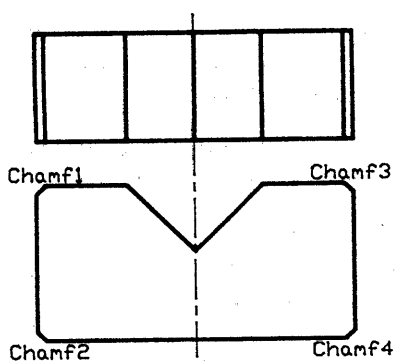


Figure 5: Symmetric chamfers in V-block

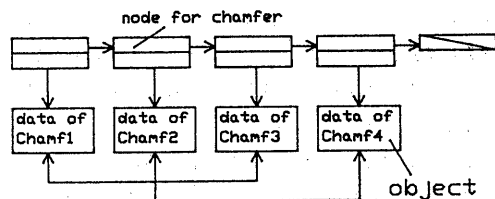


Figure 6: List of chamfer objects

8 寸法チェックシステムの構成と寸法チェックの例

8.1 システムの構成

現在開発中の検図システムの構成を Figure 7 に示す。この検図システムは、データ・マネージャ、局所寸法チェックシステム、大局寸法チェックシステムの 3 つのサブシステムから成り立っている。

以下に、それぞれのサブシステムの働きを述べる。

データ・マネージャ …… CAD データを読み込み、図形要素に関するデータと、寸法に関するデータに分類する。また、オペレータの指示によりデータを正面図、平面図、側面図に区別し、World 座標系から View 座標系への座標変換を行う。

大局寸法チェックシステム …… Construction of dimension graph で、特徴点の抽出と、寸法記入の作成を行う。次に Search of dimension graph で、深さ優先探索により寸法グラフを調べ、大局寸法の過不足を判定する。

局所寸法チェックシステム …… 面取り、角丸み、キー溝などの局所的な特徴形状を認識しそこに記入さ

に中心線が存在するかどうかを探索する。もし、図面に中心線が存在すれば、その中心線に関して対称な面取りのオブジェクトどうしをポイントで結ぶ (Figure 6 参照)。この操作により、対称性に関する情報がデータ構造の中に組み込まれる。

Figure 6 に示すオブジェクトのリストを用いて、記入されている寸法に関する判定を行う。記入寸法の個数に関する情報は、面取りのオブジェクトがデータとして保持しているので、オブジェクトのリストを順に参照し、寸法の過剰記入、記入不足を判定する。この時、対称な面取りが存在すれば、対称なものどうしを一組として取扱い、寸法の過不足を判定する。以上の手順で面取りに関する寸法チェックが実行できる。

れている寸法の過不足を判定する。この判定は中心線に関する特徴形状の対称性や、繰り返しにおける寸法の省略なども考慮して行われる。

各サブシステムが以上のような処理を行うことにより、CAD 図面に対する寸法チェックが行える。なお、本システムは誤りの検出のみを行い、訂正はオペレータに任せる方針を取っている。これは、誤りを訂正するためには設計計算のデータや設計意図が必要となり、CAD データのみを用いて訂正を行うことは不可能であるからである。

8.2 寸法チェックシステムを用いた寸法チェックの例

以上の方法を用いて、三面図を対象とした寸法チェックシステムを開発中である。現時点で以下のチェックが行える。

- ・大局寸法チェックシステム …… 座標軸に平行または垂直な線分のみで構成された図面のチェック
- ・局所寸法チェックシステム …… 面取りのチェック

ただし、現時点ではこの2つのシステムが結合していないので、大局寸法と局所寸法をまとめてチェックすることはできない。

以下にそれぞれの寸法チェックの例を示す。なお、ここでは寸法数値のチェックを行っていないので、検図対象図面は寸法数値を省略してある。Figure 8は大局寸法チェックシステムの対象図面である。この図面は、z 方向に一箇所の寸法の記入漏れと、x 方向に寸法の過剰記入がある。これを検図システムでチェックすると Figure 9の結果が得られる。結果の表示では、寸法が不足している線分と過剰に記入されている寸法とに丸印がつけられている。

Figure 10は、局所寸法チェックシステムの対象図面である。この図面は一組の面取りに寸法の記入漏れがある。これを検図システムでチェックした結果を Figure 11に示す。図中の丸印で囲まれた面取りの組が、寸法の記入漏れのあるものである。この時、寸法が過剰記入か記入不足かの指示は Figure 11に示した Window とは別の Window に表示される。

9 おわりに

本報告では、図形要素と寸法の関係及び、CAD データを用いた図面理解について、寸法検図という立場から考察を行った。また、その考察に基づいて作成している寸法検図システムのプロトタイプについて述べた。

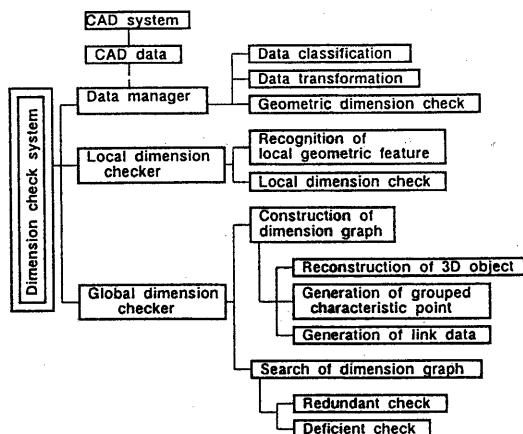


Figure 7: Configuration of dimension check system

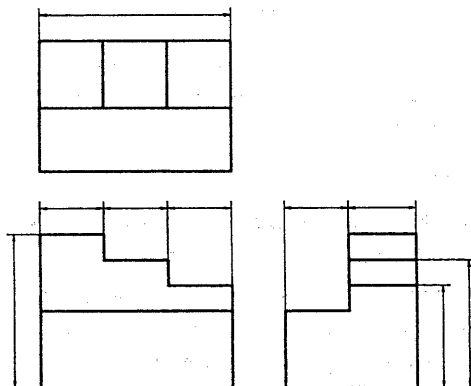


Figure 8: Object drawing for global dimension check

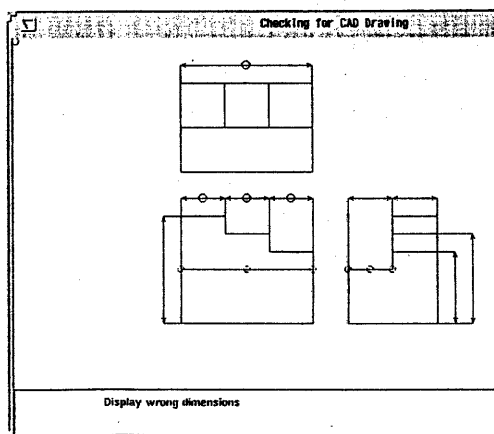


Figure 9: Result of global dimension check

この検図システムは現段階ではまだ完成にはほど遠い状態である。これから達成すべき事項としては次のようなものが挙げられる。

- 大局寸法チェックシステムと局所寸法チェックシステムの結合
- 円、円弧を含む図面に対する大局寸法チェックの実現
- 面取り以外の局所形状(角丸み、穴、キー溝など)に対する局所寸法チェックの実現

また、現在までに作成したモジュールについても

- 大局寸法チェックにおいて、ワイヤーフレーム・モデルを用いているため、ゴーストラインを生じるような図面では寸法検図が行えない
- 面取りの形状認識のルール化に不十分な点があり、図面によっては形状認識に誤りが生じる

などの問題がある。これらの問題については、本報告で検討した事項がシステム作成に充分反映されていないためであると考えられる。

参考文献

- (1) 中條 隆一: これからの検図システムのあり方と検図の上手な進め方、(株) 総合技術センター、(1989)。
- (2) Y. Saito and T. Hanaoka: Development of automatic checking procedure of drawing with the help of artificial intelligence, Proc. of the MSET 21; (International Conference on Manufacturing Systems and Environment - Looking Toward the 21st Century), Tokyo, May 1990, pp.407-412.
- (3) 李、小野、辻尾: CAD 作図された機械図面に対するコンピュータ支援寸法検図システム(第1報)——図面の局所寸法検図について、精密工学会誌、第57巻、第4号(1991)、pp.705-710.
- (4) 辻尾、李、小野: CAD 作図された機械図面に対するコンピュータ支援寸法検図システム(第2報)——図面の大局寸法検図について、精密工学会誌、第58巻、第5号(1992)、pp.811-816.
- (5) S. Tsujio, T. Ono, and S.S. Lee: Computer-Aided Drawing Check for CAD Systems — A Method for the Checking of Dimensions in Multiview Mechanical Drawings, Proc. of the IEEE International Conference on Systems Engineering, Kobe, September 1992, pp.234-237.

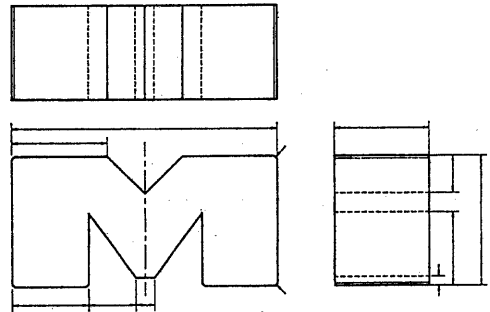


Figure 10: Object drawing for local dimension check

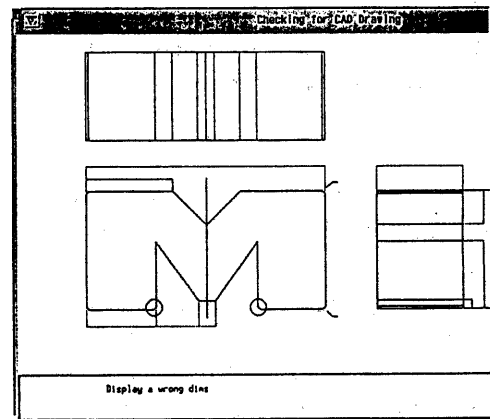


Figure 11: Result of local dimension check

- (6) 皆川、嘉数、沖野: 自動寸法記入問題に関する研究、精密工学会誌、第52巻、第9号(1986)、pp.1553-1559.
- (7) 今村、小島、井上、関口: 自動寸法指定問題に関する研究、精密工学会誌、第53巻、第11号(1987)、pp.1713-1718.
- (8) たとえば セイコー電子工業株式会社: U-Graph 概説書(1992).
- (9) 北嶋克寛、諏訪光信: 機械図面構造モデルに基づく高機能二次元CADの開発(第1報、図面構造モデルの概念とその実現法について)、日本機械学会論文集(C編)、第58巻、第548号(1992)、p.p.1297-1303.
- (10) 津村利光関、大西清著: JIS にもとづく機械設計製図便覧(第6版)、理工学社(1989).
- (11) 中村嘉伸、吉嶺英人: CAD図面のための計算機援用寸法チェックシステム、鹿児島大学工学部卒業論文(1993.2).