

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-218708  
(P2000-218708A)

(43) 公開日 平成12年8月8日 (2000.8.8)

|                           |      |               |             |
|---------------------------|------|---------------|-------------|
| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | テマコード* (参考) |
| B 2 9 C 67/00             |      | B 2 9 C 67/00 |             |
| 35/08                     |      | 35/08         |             |
| // B 2 9 K 105:24         |      |               |             |

審査請求 有 請求項の数26 O L (全 84 頁)

|            |                       |
|------------|-----------------------|
| (21) 出願番号  | 特願平11-269509          |
| (62) 分割の表示 | 特願平1-505840の分割        |
| (22) 出願日   | 平成1年4月17日 (1989.4.17) |

|          |                                                                                                   |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (71) 出願人 | 597013711<br>スリーディー システムズ インコーポレ<br>ーテッド<br>アメリカ合衆国 カリフォルニア州<br>91355 ヴァレンシア アヴェニュー ホ<br>ール 26081 |
| (72) 発明者 | ハル、チャールズ ウィリアム<br>アメリカ合衆国カリフォルニア州、サン<br>タ、クラリタ、ノース、タマラック、レイ<br>ン、28155                            |
| (74) 代理人 | 100073184<br>弁理士 柳田 征史 (外1名)                                                                      |

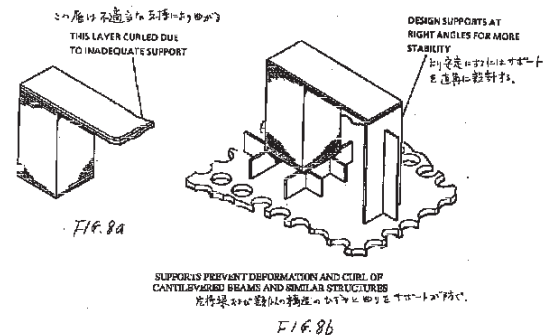
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 立体造形装置および方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 三次元物体を形成する立体造形法において、物体を支持する構造と物体を台に固着させる構造を自動的に形成する。

【解決手段】 形成すべき三次元物体に関する特に作成された、物体支持構造を規定する第一の手段と、特に作成されたデータに応答して、前記三次元物体を自動的に形成する第二の手段を備える。特に作成されたデータは、物体が形成された後に物体からの取り外しを容易にするのに十分に薄いウェブ、あるいは物体の断面に及ぶのに十分に長いウェブ、あるいはクロスハッチベクトルが描かれるまで層の縁を適所に固定する支持体、あるいは片持ち梁の変形を防ぐ支持体、あるいはそうしなければ漂ってしまう層の部分を取り付ける支持体を規定する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 形成すべき三次元物体に関する特に作成された物体定義データを提供する第一の手段であって、該特に作成されたデータが該物体の支持構造を規定する第一の手段、および該特に作成されたデータにตอบสนองして、前記三次元物体を自動的に形成する第二の手段を備えていることを特徴とする立体造形装置。

【請求項2】 前記特に作成されたデータが、前記物体が形成された後に該物体からの取り外しを容易にするのに十分に薄いウェブを規定することを特徴とする請求項1記載の立体造形装置。

【請求項3】 前記特に作成されたデータが、前記物体の断面に及ぶのに十分に長いウェブを規定することを特徴とする請求項1記載の立体造形装置。

【請求項4】 前記特に作成されたデータが、クロスハッチベクトルが描かれるまで層の縁を適所に固定する支持体を規定することを特徴とする請求項1記載の立体造形装置。

【請求項5】 前記特に作成されたデータが、片持ち梁の変形を防ぐ支持体を規定することを特徴とする請求項1記載の立体造形装置。

【請求項6】 前記特に作成されたデータが、そうしなれば漂ってしまう層の部分を取り付ける支持体を規定することを特徴とする請求項1記載の立体造形装置。

【請求項7】 形成すべき三次元物体に関する特に作成された物体定義データを提供し、ここで、該特に作成されたデータが該物体の支持構造を規定し、該特に作成されたデータを使用して、前記三次元物体を立体造形する、各工程を含むことを特徴とする立体造形方法。

【請求項8】 前記特に作成されたデータを提供する工程が、前記物体が形成された後に該物体からの取り外しを容易にするのに十分に薄いウェブを規定するデータを含むことを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項9】 前記特に作成されたデータを提供する工程が、前記物体の断面に及ぶのに十分に長いウェブを規定するデータを含むことを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項10】 前記特に作成されたデータを提供する工程が、クロスハッチベクトルが描かれるまで、層の縁を適所に固定する支持体を規定するデータを含むことを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項11】 前記特に作成されたデータを提供する工程が、片持ち梁の変形を防ぐ支持体を規定するデータを含むことを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項12】 前記特に作成されたデータを提供する工程が、そうしなれば漂ってしまう層の部分を取り付ける支持体を規定するデータを含むことを特徴とする請求項7記載の方法。

【請求項13】 三次元物体を形成する立体造形方法で

あって、

形成すべき三次元物体の断面を表すデータを提供し、該三次元物体を形成するのに使用する支持構造の断面を表すデータを提供し、

該断面物体データおよび該断面支持構造データを合成して、構築データを作成し、

該構築データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項14】 三次元物体を形成する立体造形方法であって、

形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、

該三次元物体を形成するのに使用する支持構造を表すデータを提供し、

該支持構造を表すデータをスライスして、該支持構造を示す断面支持構造データを得て、

前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項15】 三次元物体を形成する立体造形方法であって、

形成すべき三次元物体の断面を表すデータを提供し、ここで、各々の断面が境界領域および内部領域を含み、いくつかの断面のいくつかの境界領域および内部領域の少なくとも一部が、物体の形成中に下向きであり、

前記三次元物体が形成されているときに該三次元物体の少なくともいくつかの断面の前記下向き内部領域の少なくとも一部を支持するのに使用する細長い支持構造を表すデータを提供し、

前記物体データおよび支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成し、ここで、連続して形成された断面が、既に形成された断面の上に形成される、ことを特徴とする方法。

【請求項16】 三次元物体を形成する立体造形方法であって、

形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、

一つ以上の支持構造を位置させるべき、前記三次元物体の下向き面の下にある領域を定義し、

該定義された領域およびハッチングパターンを使用して、該一つ以上の支持構造を表すデータを得て、

前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項17】 三次元物体を形成する立体造形方法であって、

形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、

形成中に該物体を支持する一つ以上の支持構造を表すデータを自動的に得て、

前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形

成する、各工程を含むことを特徴とする方法。

【請求項18】 前記物体が、所定の刺激への露出により硬化可能な媒体から形成され、前記使用工程が、前記物体および支持構造の連続断面を形成するために、準備中の流動性媒体の層を形成し、該層を所定の刺激に露出して、前記物体および支持構造の連続断面を形成し、付着させる各工程を含むことを特徴とする請求項13から17いずれかに記載の方法。

【請求項19】 前記媒体が光重合性高分子であり、前記所定の刺激が、可視光、不可視光および紫外線からなる群より選択されることを特徴とする請求項18記載の方法。

【請求項20】 三次元物体を形成する立体造形装置であって、形成すべき三次元物体を表す断面データを提供する手段、

該三次元物体を形成するのに使用する構造体を表す断面データを提供する手段、前記断面物体データおよび断面支持構造データを合成して、構築データを提供する手段、および該構築データを用いて、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段、を備えていることを特徴とする装置。

【請求項21】 三次元物体を形成する立体造形装置であって、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段、該三次元物体を形成するのに使用する支持構造を表すデータを提供する手段、

該支持構造を表すデータをスライスして、一つ以上の細長い支持構造を表す断面支持構造データを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを用いて、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段、を備えていることを特徴とする装置。

【請求項22】 三次元物体を形成する立体造形装置であって、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段であって、各々の断面が境界領域および内部領域を含み、いくつかの断面のいくつかの境界領域および内部領域の少なくとも一部が形成中に下向きである手段、前記三次元物体を形成されているときに、該三次元物体の少なくともいくつかの断面の下向き内部領域の少なくとも一部を支持するのに使用する支持構造を表すデータを提供する手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段であって、連続して形成された断面が、既に形成された断面の上に形成されている手段、を備えていることを特徴とする装置。

【請求項23】 三次元物体を形成する立体造形装置であって、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段、

一つ以上の支持構造を位置させるべき、前記三次元物体の下向き面の下の領域を定義する手段、

前記定義した領域およびハッチングパターンを使用して、前記一つ以上の支持構造を表すデータを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段、を備えていることを特徴とする装置。

【請求項24】 三次元物体を形成する立体造形装置であって、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段、形成中に前記物体を支持する一つ以上の支持構造を表すデータを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段、を備えていることを特徴とする装置。

【請求項25】 前記物体が、所定の刺激への露出により硬化可能な媒体から形成され、前記使用する手段が、前記物体および支持構造の連続断面を形成するために、準備中の流動性媒体の層を形成する手段、および前記層を所定の刺激に露出して、前記物体および支持構造の連続断面を形成し、付着させる手段、を備えていることを特徴とする請求項18から24いずれかに記載の装置。

【請求項26】 前記媒体が光重合性高分子であり、前記所定の刺激が、可視光、不可視光、および紫外線からなる群より選択されることを特徴とする請求項25記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、流体媒質から三次元物体を形成する方法および装置の改良に関し、詳細には三次元物体の生産のための改良されたデータ操作および造形技術の利用を含む、新規な改良された立体造形システムに関するものである。これにより、物体は、より迅速に、高信頼性をもって、正確にかつ経済的に作成することができる。特に、本発明は物体の立体造形技術における支持体の構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】プラスチック部品などの生産では、通常、まずそれらの部品を設計し、苦勞してこの部品の試作品を作る。これには、相当の時間、労力および費用を要する。その後、この設計を検討し、設計が最適になるまで、この手間のかかる過程を何回も繰り返す。設計が最適と判断されると、次の工程は製造である。ほとんどの量産プラスチック部品は射出成形される。この製法は、設計時間が長く、金型費が非常に高いので、通常、大量生産の場合にしか実用的ではない。プラスチック部品の生産には、直接的な機械加工、真空成形および直接成形といった他の加工法が利用できるが、これらの方法は主として寿命の短い製品の生産の場合しか費用の面で

効果的でなく、製造された部品は通常、射出成形部品よりも品質が劣る。

【0003】これまでに、流体媒質の中で三次元物体を作成する技術が開発されている。流体媒質の三次元の容積内の所定の交点で選択的に焦点を結ぶ放射ビームによって、流体媒質が選択的に硬化する。このような三次元造形システムの例は、米国特許第4,041,476号、同第4,078,229号、同第4,238,840号および同第4,288,861号に記載されている。これらのシステムはいずれも、流体容積内の他のすべての点を除外して、流体容積内の選択された深さの点に相乗的なエネルギーを付与することに頼っている。しかし、残念ながら、この三次元造形システムは、分解能および露光の制御に関して多くの問題を有している。交点が流体媒質の深部に移行するにつれて焦点の輻射強度および造形分解能の低下により、かなり明白で複雑な制御状況を生じる。吸収、拡散、分散および回折といったすべての現象が、流体媒質内の深部での経済性および信頼性に基づく加工の困難さに影響する。

【0004】近年、「立体造形法による三次元物体の製造装置」と題する米国特許第4,575,330号に記載された「立体造形法」が実施されている。立体造形法は、基本的に、物体の断層を構成する感光性重合体（液状プラスチックなど）の薄層を、全ての薄層が接合され物体全体を形成するまで各層を連続的に「積層する」ことによって複雑なプラスチック部品を自動的に作成する方法である。この技術では、物体は液状プラスチックのタンクの中で形成される。この加工法は、迅速に試作品を作成するための極めて強力な方法である。

【0005】光硬化性重合体は、光が存在すると液体から固体に変化するもので、紫外線によるその感光速度は、この重合体を実用的な模型製作材料とするに十分である。一つの部品が作成される時に重合化しない材料はそのまま次に使用することができ、引き続き部品が作成される間タンク内に残されている。紫外線レーザが小さな強い紫外線スポットを発生し、このスポットは検流鏡X-Yスキャナにより液体表面を移動する。スキャナが、コンピュータが生成するベクトルなどによって操作される。こうした技術によって、精密で複雑なパターンを迅速に作ることができる。

【0006】レーザ走査装置、感光性重合体タンクおよび昇降器は、制御用コンピュータと一体をなし、「SLA」(Stereo-lithographic Apparatus)と称する立体造形装置を形成する。SLAは一度に1個の断層を描き、それを重ねることによって、一つのプラスチック部品を自動的に製造するようにプログラムされる。

【0007】立体造形は、部品の複雑単純を問わず、金型を用いずに容易に部品を製作するまったく新しい方法である。この技術は、断面のパターンを作成するためにコンピュータを使用しているので、CAD/CAMへの

自然なデータ・リンクが存在する。しかし、こうしたシステムは、分解能、精度および一定の物体形状を作る際の困難さと同様、収縮、応力およびカールその他の変形に関する困難に遭遇している。

【0008】支持体は、米国特許第4,575,330号の図面に示されており、これらの支持体は物体を昇降器に付着させるものである。

【0009】使用される最初の形式の支柱／支持体は、実際に、単一の各点を硬化させることによって形成される。これらの点は、対応する硬化幅で、適切な硬化深さを与えるように特定の時間長で硬化される。この形式の支柱は、その強度および、この強度水準を得るために比較的長い硬化時間が必要とされる。

【0010】別の形式の支柱／支持体構造は、層間の付着強さを増すためのものである。この付着強さは層間の接触面積に比例する。点を硬化させる時、硬化幅は、追加の硬化幅が非実用的である限界にすぐに達してしまう。従って、接触面積を増す別の方法が実施された。次の段階は、断面における点のベクトルである支持体を硬化させる代わりに、断面が多角形である支持体を使用している。これらの多角形は、三角形、四角形、八角形などである。これらの構造は、水平方向に対する構造強度を大きく高めるとともに、層間の接触面積をいっそう増す（付着強さをいっそう高める）。これらの支持体は合理的に良好に作用したが、依然以下のような難点があった。1) 物体から除去することが困難であった、2) 限定された数の物体ベクトルしか支持しない、3) この形式の支持体構造は多孔台への付着を確実にするために多角形を支持するための基盤の使用を必要とした。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、設計段階から試作段階へ、さらに最終生産へ、迅速かつ高信頼性をもって移行できる、特に、プラスチック部品のコンピュータ設計から事実上ただちに試作に直接移行できる技術、ならびに経済性および自動化にもとづく大量生産技術に対する必要性が長期にわたり存在し続けている。

【0012】また、三次元プラスチック物体などの開発生産関係者は、従来の三次元生産システムの支持体の問題を回避しながら、設計段階から試作段階さらに生産へと迅速に移行できる、より迅速で高信頼性を持つ、経済的かつ自動化された手段を長い間求めてきている。本発明は、こうした問題のすべてを明らかに満足させるものである。

【0013】簡単かつ広く言えば、本発明は、いくつかの問題を解決する物体支持構造システムを提供し、さらに物体を台に固着させる方法を提供することを目的とするものである。具体的には、台から硬化した部品を容易に取り外すことを可能にし、物体の第1の層の厚さの管理の改善を可能にし、物体の内側および周囲への流体の

流れを改善し、必要な浸漬時間を低減させ、また物体による液体の消費をより迅速かつ良好とし、さらに固定していない浮遊輪郭線を固定し（クロスハッチが描かれるまで輪郭線を正しい位置に保持されるようにする）。カー、浸漬に係る力および、物体の自重による変形を予防し、（以後の層が描かれるまで）付着する部分がないような物体の部分を固定する立体造形装置及び立体造形方法を提供することを目的とするものである。

【0014】また本発明は、基本的に、適切なエネルギーにตอบสนองしてその物理的状態を変えることができる流体媒質の表面にその物体の連続し隣接する断面層を成形することによって三次元物体を作成するための新規で改良された立体造形システムを提供するものであって、物体を規定する情報は、必要な物体支持構造を形成するために特に処理されており、連続する断面層は所望の三次元物体を形成するために作成されると同時に自動的に一体化される立体造形装置及び立体造形方法を提供することを目的とするものである。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の立体造形装置は、形成すべき三次元物体に関する特に作成された物体定義データを提供する第一の手段であって、該特に作成されたデータが該物体の支持構造を規定する第一の手段、および該特に作成されたデータにตอบสนองして、前記三次元物体を自動的に形成する第二の手段を備えていることを特徴とするものである。

【0016】前記特に作成されたデータは、前記物体が形成された後に該物体からの取り外しを容易にするのに十分に薄いウェブを規定するもの、あるいは前記物体の断面に及ぶのに十分に長いウェブを規定するもの、あるいはクロスハッチベクトルが描かれるまで層の縁を適所に固定する支持体を規定するもの、あるいは片持ち梁の変形を防ぐ支持体を規定するもの、あるいはそうしなければ漂ってしまう層の部分を取り付ける支持体を規定するものであることが望ましい。

【0017】本発明の立体造形方法は、形成すべき三次元物体に関する特に作成された物体定義データを提供し、ここで、該特に作成されたデータが該物体の支持構造を規定し、該特に作成されたデータを使用して、前記三次元物体を立体造形する、各工程を含むことを特徴とするものである。

【0018】前記特に作成されたデータを提供する工程が、前記物体が形成された後に該物体からの取り外しを容易にするのに十分に薄いウェブを規定するデータを含むこと、あるいは前記物体の断面に及ぶのに十分に長いウェブを規定するデータを含むこと、あるいは前記特に作成されたデータを提供する工程が、クロスハッチベクトルが描かれるまで、層の縁を適所に固定する支持体を規定するデータを含むこと、あるいは前記特に作成されたデータを提供する工程が、片持ち梁の変形を防ぐ支持

体を規定するデータを含むこと、あるいは前記特に作成されたデータを提供する工程が、そうしなければ漂ってしまう層の部分を取り付ける支持体を規定するデータを含むことが望ましい。

【0019】本発明の三次元物体を形成する立体造形方法は、形成すべき三次元物体の断面を表すデータを提供し、該三次元物体を形成するのに使用する支持構造の断面を表すデータを提供し、該断面物体データおよび該断面支持構造データを合成して、構築データを作成し、該構築データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とするものである。また本発明の三次元物体を形成する立体造形方法は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、該三次元物体を形成するのに使用する支持構造を表すデータを提供し、該支持構造を表すデータをスライスして、該支持構造を示す断面支持構造データを得て、前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とするものである。

【0020】また、本発明の三次元物体を形成する立体造形方法は、形成すべき三次元物体の断面を表すデータを提供し、ここで、各々の断面が境界領域および内部領域を含み、いくつかの断面のいくつかの境界領域および内部領域の少なくとも一部が、物体の形成中に下向きであり、前記三次元物体が形成されているときに該三次元物体の少なくともいくつかの断面の前記下向き内部領域の少なくとも一部を支持するのに使用する細長い支持構造を表すデータを提供し、前記物体データおよび支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成し、ここで、連続して形成された断面が、既に形成された断面の上に形成されることを特徴とするものである。

【0021】また、本発明の三次元物体を形成する立体造形方法は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、一つ以上の支持構造を位置させるべき、前記三次元物体の下向き面の下にある領域を定義し、該定義された領域およびハッチングパターンを使用して、該一つ以上の支持構造を表すデータを得て、前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とするものである。

【0022】また、本発明の三次元物体を形成する立体造形方法は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供し、形成中に該物体を支持する一つ以上の支持構造を表すデータを自動的に得て、前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する、各工程を含むことを特徴とするものである。

【0023】前記三次元物体を形成する立体造形方法に

において、さらに前記物体が所定の刺激への露出により硬化可能な媒体から形成され、前記使用工程が、前記物体および支持構造の連続断面を形成するために、準備中の流動性媒体の層を形成し、該層を所定の刺激に露出させて、前記物体および支持構造の連続断面を形成し、付着させる各工程を含むことが望ましい。

【0024】また、前記媒体が光重合性高分子であり、前記所定の刺激は、可視光、不可視光および紫外線からなる群より選択されることが望ましい。

【0025】本発明の三次元物体を形成する立体造形装置は、形成すべき三次元物体を表す断面データを提供する手段、該三次元物体を形成するのに使用する構造体を表す断面データを提供する手段、前記断面物体データおよび断面支持構造データを合成して、構築データを提供する手段、および該構築データを用いて、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段を備えていることを特徴とするものである。

【0026】本発明の三次元物体を形成する立体造形装置は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段、該三次元物体を形成するのに使用する支持構造を表すデータを提供する手段、該支持構造を表すデータをスライスして、一つ以上の細長い支持構造を表す断面支持構造データを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを用いて、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段を備えていることを特徴とするものである。

【0027】本発明の三次元物体を形成する立体造形装置は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段であって、各々の断面が境界領域および内部領域を含み、いくつかの断面のいくつかの境界領域および内部領域の少なくとも一部が形成中に下向きである手段、前記三次元物体を形成されているときに、該三次元物体の少なくともいくつかの断面の下向き内部領域の少なくとも一部を支持するのに使用する支持構造を表すデータを提供する手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段であって、連続して形成された断面が、既に形成された断面の上に形成されている手段を備えていることを特徴とするものである。

【0028】本発明の三次元物体を形成する立体造形装置は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手段、一つ以上の支持構造を位置させるべき、前記三次元物体の下向き面の下の領域を定義する手段、前記定義した領域およびハッチングパターンを使用して、前記一つ以上の支持構造を表すデータを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段を備えていることを特徴とするものである。

【0029】本発明の三次元物体を形成する立体造形装置は、形成すべき三次元物体を表すデータを提供する手

段、形成中に前記物体を支持する一つ以上の支持構造を表すデータを得る手段、および前記物体データおよび断面支持構造データを使用して、複数の合成断面から前記三次元物体および支持構造を形成する手段を備えていることを特徴とするものである。

【0030】さらに、本発明におけるウェブ状支持体は、支持されるべき表面に対して垂直な方向に延びるものに限らず、支持されるべき表面まで斜めに延びた支持体であってもよい。

【0031】「立体造形」は、紫外線硬化材料などの硬化性材料の薄層の上に新たな薄層を連続的に「積層する」ことによって固形物を製作するための方法および装置である。液面に物体の中実な断面を形成するために、紫外線硬化性液体の表面または層を照射するプログラムされた可動紫外線スポットビームが用いられる。その後物体は、プログラムに従って1層の厚さだけ液面から遠ざけられ、次の断面が形成され、その断面はその物体を形成している直前の層に付着する。このようにして、完全な物体が形成されるまでこの過程が継続される。

【0032】粒子による衝撃（電子ビームなど）、マスクを介してまたはインクジェットによる材料の吹付けまたは、紫外線以外の衝撃性放射線による化学反応などの、硬化性流体媒質への他の適当な形式の相乗的なエネルギーも、本発明の精神および範囲を逸脱することなく、本発明の実施に利用できることは当然である。

【0033】本発明の実施には、例えば、所定の刺激に応答して固化可能な一体の流体媒質が、連続する断面層が生成される流体媒質の所定の作業面を規定するために適切な容器に入れられている。その後、紫外線スポットなどの適切な形式の相乗的な刺激が流体媒質の所定の作業面に図形パターンとして付与され、表面に個別の中実な薄層が形成され、各層は製造される三次元物体の隣接断面を表す。本発明の物体を規定する情報は、例えばカーブおよび変形を低減し、分解能、強度、精度、再生産の速度および経済性を高めるために特に処理される。

【0034】各層への連続隣接層の重ね合わせは、それらが形成されると同時に自動的に行われ、各層は一体となって所望の三次元物体を形成する。流体媒質が硬化して作業面に薄層として形成されるにつれ、第1の単層が確保されていた適切な昇降台は、通常すべてマイクロコンピュータなどの制御のもとにある適切な作動器によってプログラムに従って作業面から遠ざけられる。このようにして、作業面で最初に形成された層はその表面から遠ざけられ、新しい液体が作業面の位置に流入する。この新しい液体部分が今度は、新しい層を描くためにプログラムされたスポットビームによって固体に転化され、この新しい層はそれに隣接する部分、すなわち直前の層に付着して接合される。この過程が三次元物体全体が形成されるまで継続する。形成された物体は容器から取り出され、装置は、モデルの物体と同一か、あるいはコン

ピユータなどによって生成された全く新しい物体を製造する。

【0035】CADシステムのデータベースはいくつかの形式を採ることができる。一つは物体の表面の多角形、通常は三角形の網目として表すものである。これらの三角形は、物体の内面および外面を完全に形成する。このCAD表現は、各三角形の単位長さの法線ベクトルも含む。この法線はその三角形が囲む固体から向かう傾きを指示する。“PHIGS”といった形式が可能なこうしたCADデータを、立体造形によって物体を形成するために使用できる層ごとのベクトル・データに処理する手段が付与される。こうした情報は、最終的にラスター走出力データなどに交換できる。

【0036】前述のように、立体造形は、液状プラスチックの連続的な層を固化させることにより物体を作るために可動レーザービームを使用する三次元積層法である。この方法によって、設計者は、CADシステムで設計を行うことができ、応力およびカールを低減し、適切な支持体を付与し、数時間で正確なプラスチック模型を作るために本発明の概念を応用できる。立体造形法は、例えば、以下の手順から成る。

【0037】初めに、立体造形法に特に関係することなく、CADシステムで通常の方法により固体模型を設計する。

【0038】立体造形のための模型作成は、物体の最適な作成時の向きを選択して、それに支持体構造を加え、適切な応力除去処理を組み込み、立体造形システムの作業パラメータを選択することから成る。最適な向きは、

- (1) 物体が液体をあとで排出することを可能にし、
- (2) 支持されない表面の数を最低にし、(3) 重要な表面を最適化し、(4) 物体を樹脂タンク内にうまく収容できるようにするものである。支持体は、非接合部分を確保するなどの目的で付け加えられ、支持体のCADライブラリは、この目的で用意できる。立体造形作業パラメータは、模型の寸法および層(“SLICE”)厚さの選択を含む。

【0039】固体模型の表面はその後、通常“PHIGS”〔プログラマー階層会話図形処理システム〕により三角形に分割される。三角形はベクトル計算のための最も単純な多角形である。より多くの三角形が形成されればされるほど、表面の分解能は良好になり、従ってCAD設計に関して成形物体は高精度になる。

【0040】三角形の座標およびその法線を表すデータ点はその後、イーサネット(ETHERNET)などの適切なネットワーク通信を介して立体造形システムに伝送される。立体造形システムのソフトウェアは、選択した層の厚さで三角形の断面を水平(XY平面方向)にスライスする。

【0041】次に、立体造形装置(SLA)は、断面の輪郭線ベクトル、クロスハッチ・ベクトルおよび平面

(外皮)ベクトルを計算する。クロスハッチ・ベクトルは、輪郭線ベクトルの間のクロスハッチから構成される。いくつかの「様式」、つまりスライス・フォーマットが使用できる。外皮ベクトルは、高速度で大きな重ね合わせて描かれ、物体の外側の平面を形成する。上部および下部外皮の、内部の平面領域は、クロスハッチ・ベクトル以外では充填されない。ベクトルの詳細は、米国特許出願番号第182,830号、第269,801号および第331,644号に説明されている。

【0042】SLAはその後、光硬化性樹脂の表面をヘリウム・カドミウム・レーザなどの紫外線ビームを動かし、露光された部分の液体を固化させることにより、一度に物体の1平面層を形成する。樹脂の吸収はレーザ光が深く透過するのを妨げ、薄層を形成させる。各層は、輪郭線ベクトル、クロスハッチ・ベクトル、外皮ベクトルの順序で描かれる各ベクトルによって構成される。

【0043】SLAによって描かれた第1の層は、液面直下に位置する水平の台に付着する。この台は、コンピュータ制御のもとで垂直に下降する昇降器に取り付けられている。1層が描かれた後、台は、数ミリメートル液中に浸漬し、前に硬化した層が新しい液体に覆われると、わずかに上昇して、第2の層が形成される分の液体の薄層を残す。液面が十分に平滑になるように間を置いた後、次の層が描かれる。樹脂は接着性なので、第2の層は第1の層にしっかり付着する。すべての層が描かれ、全体の三次元物体が形成されるまで、この過程が繰り返される。通常、物体の底部6.35mm(0.25インチ)ほどが、希望の物体が作られるための支持構造である。レーザ光に暴露されていない樹脂は、タンク内に残り、次の部品に使用される。材料のむだはほとんどない。

【0044】後処理には、過剰樹脂を除去するために形成物体を加熱する、あるいは重合を完了させるために紫外線または加熱により硬化させる、あるいは支持体を除去することなどが含まれる。サンダー仕上げおよび作業模型への組立てを含む付加的な処理が行われることもある。

【0045】本発明によれば、支持体は「ウェブ」の形式で与えられる。ウェブの断面は、細長い長方形である。その厚みは、後硬化の後に物体が容易に取り外せる程度に十分薄く設計される。その幅(長方形の断面の長辺)は、以下の2つの要件をみたすように設計される。1)(基礎を必要とせずに)昇降台に対して良好に付着する程度の十分な長さであること、2)(クロスハッチおよびそれを囲む輪郭線を支持するために)物体の断面に及ぶ程度の十分な長さであること。

【0046】こうした支持体形式のすべては、物体を(昇降)台に取り付けるために使用できるが、また物体の重要部分に付加的な支持を与えるためにも使用できる。このような重要な部分には、枠、片持ばりなどが含

まれる。ウェブは、昇降台から支持を必要とする部分まで延びるか、または、実際に部品の一部から支持を必要とする部分まで延びるようにすることができる。

#### 【0047】

【発明の効果】本発明の技術によって、ほとんどすべての形式の物体形状が作成することができる。複雑な形は、プログラムの作成を助けプログラム信号を立体造形成形下位システムに送信するコンピュータの機能を用いることにより、容易に作成することができる。

【0048】本発明の新規で改良された立体造形装置及び方法は、プラスチックの物体を製造するために現在使用されている装置に優る多くの効果がある。本発明の装置および方法は設計のための配置図および図面を作成すること、さらに、金型の図面および金型を製作する必要がない。設計者は、コンピュータおよび立体造形装置を用いて直接作業することができ、コンピュータの出力画面に表示された設計に満足すれば、部品を製作して吟味することができる。設計を修正しなければならない場合も、コンピュータを通じて容易に行うことができ、その後、新たな物体を作って変更が正しいことを確認することができる。相互に関連する設計パラメータを持つ複数の部品を要求する設計の場合、本発明の方法はいっそう有効である。その部品の設計のすべてについて容易に変更でき、必要な場合何度でも繰り返して作成し、全体の組立品を製作し、吟味することができるからである。さらに、本発明のデータ操作技術は、難しい複雑な物体形状の場合も、応力、カールおよび変形が低減され、分解能、強度、精度、生産速度および経済性が改善された物体の生産を可能にする。

【0049】設計が完了すれば、部品の生産は直ちに開始でき、設計から生産の間の数週間、数ヶ月が節約できる。立体造形は、金型の必要がなくなり、生産のための設備時間が最小であるため、短期間の生産に有効である。同様に、この技術を用いることにより、設計の変更および特注部品の供給が容易に行える。部品製作の容易さにより、立体造形は現在金属その他の材料の部品が使用されている多くの分野でのプラスチック部品の使用を可能にする。さらに、費用のかかる金属その他の材料の部品の製造を決定する前に、迅速かつ経済的にその部品のプラスチック模型を製造することができる。(以下「部品」は「物体」とも称する)

このように、本発明の新規で改良された立体造形装置および方法は、応力およびカールが低減された適切な支持体を有する三次元プラスチック部品などを、迅速に、高信頼性をもって、正確に、かつ経済的に設計製作することができる。

【0050】また、本発明の好ましい実施例では、これに限らないが、例えば、コンピュータ図形処理の原理を立体造形と組み合わせて利用することができる。すなわち、コンピュータの命令によって直接三次元物体を製造

する際にコンピュータ支援設計(CAD)およびコンピュータ支援製造(CAM)を同時に行うために、立体造形技術を三次元物体の生産に応用する。本発明は、製品開発の設計段階での模型および試作品を製作する目的で、または製造システムを構成する目的で、または純粋な芸術形式を目的としても、応用できる。

#### 【0051】

【発明の実施の形態】以下、本発明を図面を参照しながら詳細に説明する。立体造形物体は、好ましくは、昇降台に直接ではなく、支持体構造の上に作られる。支持体を使用する一つの理由は、昇降台から物体を取り外すことを容易にするためである。昇降台に直接硬化した物体は、特に付着面が大きい場合、取り外しが困難である。さらに、昇降台に形成された第1の層の厚さは、昇降台が反っていたり昇降台に不正確に取付けられている場合、正確に管理できず、設計値よりずれる場合も起こり得る。これは、昇降台に付着するのに十分な深さまで硬化していない線が発生し、カールを促進する可能性がある。このような潜在的な問題を除いても、昇降台の孔によって、昇降台に直接作られた物体の底面にその孔に対応したこぶを生じることになる。昇降台が浸漬されることによる液体の変位は、最初の数層の厚さを変化させることになり、このような硬化は物体自体において望ましくない。

【0052】支持体を使用する別の理由は、物体の周囲の液体の流れを改善することである。支持体により、液面が改善された流れによってすばやく安定するので、使用する浸漬時間を短縮することができる。さらに、余分な樹脂が完成物体からすばやく排出され、後処理時間を短縮できる。

【0053】支持体はまた、支持を行わない場合に動く傾向がある物体の部分を固定し、また、浸漬中にカールや損傷を受けやすい領域を補強するために使用される。

【0054】ここで図面、特に第1図を説明する。この図は、本発明の実施に適した立体造形システム全体のブロック図を示している。CADジェネレータ2および適切なインターフェース3は、形成される物体のデータ記述を、通常PHIGS書式で行う。これは、インターフェース・コンピュータ4へのイーサネット(ETHERNET)などのネットワーク通信を介して行われる。このコンピュータにおいて、物体のデータは最適化され、かなり難しい複雑な物体形状についても、応力、カールおよび変形を低減し、分解能、強度、精度、再生産の速度および経済性を高める、出力ベクトルを与えるために操作される。インターフェース・コンピュータ4は、連続的にスライシングを行い、層の厚さを変化させ、多角形の頂点を巡り、充填し、平坦な外皮、平坦に近い外皮、上向き外皮および下向き外皮を生成し、スケーリング、クロスハッチング、ベクトルのオフセットおよびベクトルの順序づけを行うことによって層のベクトルのデ

ータを生成する。これは、米国特許出願番号第182, 830号、第269, 801号および第331, 644号に詳述されている。要約すれば、輪郭線ベクトルは物体の各断面の輪郭を描くために使用され、クロスハッチベクトルは各断面の内側部分を描くために使用され、外皮ベクトルは物体の外面を描くために使用される。これらのベクトルは、輪郭線、クロスハッチ、外皮の順で描かれる。

【0055】コンピュータ4からのベクトルのデータおよびパラメータは、立体造形システムのレーザ、ミラー、昇降器などを作動するための制御サブシステム5に送られる。

【0056】第2図および第3図は、立体造形によって三次元物体を作成するための本発明の基本システムを示すフローチャートである。

【0057】紫外線の露光または、可視不可視光を問わず、電子ビームなどの他の形式の相乗的なエネルギーの露光または、インクジェットもしくは適切なマスクを介して適用される反応性化学薬品によって、固体重合体プラスチックに変化させることが可能な多くの液状化学薬品が知られている。紫外線硬化化学薬品は、現在、高速印刷用インクとして、紙その他の材料の被覆過程において、接着剤として、また他の特殊分野において使用されている。

【0058】「リソグラフィー（造形法）」は、各種技術を用いて図形対象を再現する技術である。現代の例としては、写真の複製、乾式複写および、マイクロエレクトロニクス回路板の製造において使用されているような「マイクロリソグラフィー」がある。プロッタまたはCRT表示装置に表示されるコンピュータ生成図形もリソグラフィーの形式であり、ここでは像がコンピュータ符号化対象である。

【0059】コンピュータ支援設計（CAD）およびコンピュータ支援製造（CAM）は、コンピュータの能力を設計および製造の過程に応用する技術である。CADの典型的な例は、電子部品のプリント回路の設計の分野であり、この場合、コンピュータおよびプロッタがプリント回路板の設計を描き、設計パラメータはコンピュータのデータ入力として与えられる。CAMの典型的な例は数値制御フライス盤であり、この場合、コンピュータおよびフライス盤が金属部品を製造し、適切なプログラム命令が与えられる。CADおよびCAMとも、重要かつ急速に発展している技術である。

【0060】本発明の最も重要な目的は、CADおよびCAMを同時に実行し、コンピュータの命令によって三次元物体を直接製造するために、紫外線硬化性プラスチックなどの使用と組み合わせて、コンピュータ図形処理の原理を活用することである。本発明は、立体造形と称し、製品開発の設計段階での模型および原型を製作するためにまたは、製造装置としてまたは、純粋な芸術形式

としても、使用できる。本発明は、発明者の一人であるチャールズ・W. ハルに対して1986年3月11日に交付された米国特許第4, 575, 330号に記載された立体造形の技術をさらに発展させたものである。

【0061】ここで、図面の特に第2図を参照して、立体造形の方法を概説する。段階8は、このシステムにより形成される三次元物体を表し、主としてデジタル形式によるCADその他のデータの生成を要求する。このCADデータは、通常、現在好ましいとされる勾配の指示などについて、多角形式、三角形およびこれらの三角形の平面に垂直な法線により表面を規定し、本発明の現在好ましい実施例において、現在ANSI規格に適合するプログラマー階層会話図形処理システム（PHIGS〔Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System〕）に適合する。この規格は、例えば、テンプレート社（Template, Megatek Corp., San Diego, California）から出版された、「PHIGSの理解」“Understanding PHIGS”に説明されている。

【0062】本発明によれば、段階9で、PHIGSデータまたはその等価物は、三次元物体を形成する際の立体造形出力システムを作動させるための修正データベースに独自の変換システムによって変換される。物体を定義する情報は、応力、カールおよび変形を低減し、分解能、強度および再現精度を高めるために、特に処理される。

【0063】第2図の段階10は、形成される三次元物体の断面を表す個々の断面層の作成を要求する。段階11は、選択的な硬化のためにシステムにプログラムされた所望の三次元物体を形成するために、連続的に形成される隣接する多数の層を結合する。

【0064】このように、本発明の立体造形システムは、流体媒質の選択された表面で形成される物体の断面パターンを作成することによって三次元物体を形成する。流体媒質は例えば、紫外線硬化性液体などであって、衝撃性放射線、電子ビームその他の粒子による衝撃、または、（流体表面に隣接するマスクの上にインクジェットまたは吹付けにより）塗布された化学薬品などの適切な相乗的なエネルギーに応答してその物理状態を変化できるものであって、物体の対応する連続する隣接断面を表す連続する隣接層は、物体の段階的な堆積すなわち薄層の堆積を作成するために自動的に形成され統合され、これによって、三次元物体は、形成過程において流体媒質の実質的に平面状すなわちシート状表面から形成され、流体媒質中から引き上げられる。

【0065】第2図に示した前記の技術は、第3図のフローチャートにおいてさらに詳しく概説されており、この図においても、段階8は、このシステムにより形成される三次元物体を表す、主としてデジタル形跡によるCADその他のデータの生成を要求する。また、段階9で、PHIGSデータは、三次元物体を形成する際に立

体造形出力システムを作動させるための修正データベースに独自の交換システムによって交換される。段階12は、既定の反応性エネルギーにตอบสนองして固化可能な流体媒質を含むことを要求する。段階13は、第1図のコンピュータ4から出力されたデータにตอบสนองして、その表面で、製造する三次元物体の隣接断面を表す各層である、薄い固体の個別層を形成するために、所定の流体表面に、そのエネルギーを図形パターンとして加えることを要求する。本発明の実際の用途では、各層は薄い層であるが、断面を形成し、形成される物体の他の断面を規定する隣接する層に付着するために必要な凝集性を有するのに十分な厚さを有している。

【0066】第3図の段階14は、所望の三次元物体を形成する各層に対して、それらが形成されるにつれてそれぞれの層の上に連続的な隣接する層または単層を重ね合わせることを要求する。本発明の通常の実施では、流体媒質が硬化して固体が1単層を描くと、その単層は流体媒質の作業面から遠ざけられ、前に形成された単層に取って代わった新しい液体において次の単層が形成され、それぞれの連続する単層が他の断面の単層のすべてに（硬化した流体媒質の自然の接着性によって）重ね合わされ統合される。

【0067】こうした断面層を作成する過程が、三次元物体の全体が形成されるまで繰り返される。物体はその後取り出され、システムは、以前の物体と同一である、または、立体造形システムを制御するプログラムを変更することによってまったく新しい物体として形成される別の物体を製造する。

【0068】図面の第4図および第5図は、システムおよび第1図から第3図のフローチャートによって説明された立体造形を実施するために適切な各種装置を示す。

【0069】前に指摘したように、「立体造形」は、紫外線硬化性材料などの硬化性材料の薄層を他の層の上に連続的に「積層する」ことによって物体を作成するための方法および装置である。紫外線硬化性液体の表面または層を照らすプログラム可能な可動紫外線スポットビームが、液面で物体の固体断面を形成するために使用される。その後、この物体は、プログラムされた方法で1層の厚さの分だけ液面から移動して遠ざけられ、次の断面が作成され、物体を形成する直前の層に付着する。この過程は、全体の物体が形成されるまで継続される。

【0070】本発明の技術によって、ほとんどすべての種類の物体の形が作成できる。複雑な形は、プログラムされたコマンドの作成を助け、プログラム信号を立体造形成形下位システムに送信する、コンピュータの機能を用いて、より容易に作成できる。

【0071】CADシステムのデータベースはいくつかの形式を採ることができる。一つは、以前に指摘したように、物体の表面を三角形の網目として表すものである（PHIGS）。これらの三角形は、物体の内面および

外面を完全に形成する。このCAD表現は、各三角形の単位長さの法線ベクトルも含む。この法線はその三角形が囲む部分から外へ向かうものである。本発明は、こうしたCADデータを、立体造形によって物体を形成するために必要な層ごとのベクトルのデータに処理する手段を提供する。各種ベクトル形式の詳細については、米国特許出願番号第182,830号、その一部継続出願番号第269,801号およびその継続出願Lyon & Lyon 事件番号第186/195号に説明されている。

【0072】立体造形が有効に働くためには、1層とその次の層に良好な付着がなければならない。従って、次の層の樹脂は、前の層が形成された時にその形成された樹脂を覆わなければならない。垂直線分でできた模型を製作する際に、1層の上に形成されたプラスチックは、直前の層から以前に形成された樹脂に正確に当たるので、良好な付着を与える。垂直部分から水平部分に移行し始めるにつれ、層の厚さによるジャンプが生ずるため（層が厚くなると、斜めの側面には段階状の不連続面が顕著になってくる）、点は事実上、1層の上に形成された樹脂が前の層の上に形成された樹脂に接触しないところに達するので、これは重大な付着の問題を生じる。水平面自体は付着の問題を生じない。なぜなら、水平であることによって、断面全体が、構造統合性を維持する側面対側面の付着によって1層上に作られるからである。従って本発明は、垂直断面から水平断面に、または、水平断面から垂直断面に移行する際に、層間の付着を保証する一般的な手段を提供すると同時に、表面の輪郭を正確に作成する方法および成形部品の応力および歪を除去または低減する方法を提供する。

【0073】新規で改良された立体造形システムの現在好ましい実施例を、第4図の立面断面図に示す。容器21は、紫外線硬化性液体22などで充填され、既定の作業表面23が与えられている。プログラム可能な紫外線源26などは、表面23の平面に紫外線27のスポットを生じる。スポット27は、光源26とともに使用されるミラーその他の光学または機械要素（第4図には図示しない）の動きによって表面23を動くことができる。表面23でのスポット27の位置は、コンピュータ制御システム28によって制御される。以前に指摘したように、システム28は、CAD設計システムなどのジェネレータ20によって形成され、PHIGS形式または等価形式で、物体を定義する情報が、応力、カールおよび変形を低減し、分解能、強度および再現精度を高めるために特に処理されるコンピュータ変換システム25に向けられるCADデータの制御のもとにある。

【0074】容器21の内側の可動昇降台29は、選択的に上下に可動で、台の位置はシステム28によって制御されている。この台が動きながら、30a、30b、30cなどの統合された単層の段階的な堆積によって三次元物体30を製造する。

【0075】紫外線硬化性液体22の表面は、容器21で一定の液面が維持され、紫外線27のスポットまたは、液体を硬化させ固体に転化させるのに十分な強度の他の適切な形式の反応性エネルギーが、プログラムされた方法で作業表面23の上を動く。液体22が硬化し、固体が形成されると、初め表面23の直下にあった昇降台29は、いずれかの適切な作動器によって、プログラムされた方法で表面から下方へ動く。こうして、初めに形成された固体は、表面23の下に移動し、新しい液体22が流れて表面23を覆う。この新しい液体の部分が、次に、プログラムされた紫外線スポット27によって固体に転化され、新しい固体部分はその下の部分に付着して結合される。この過程が、三次元物体30全体が形成されるまで継続される。物体30はその後容器21から取り出され、システムは別の物体を製造する準備が整えられる。その後、別の物体が製造でき、または、コンピュータ28のプログラムを変更することによっていずれかの新しい物体が作成できる。

【0076】紫外線硬化性液体などの硬化性液体22は、いくつかの重要な特性を持っていなければならない。(A)使用可能な紫外線源について、実際の物体形成時間ができる限り十分に速くなければならない。

(B)連続する層が互いに付着できるように接着性がなければならない。(C)昇降器が物体を動かした時に、新しい液体材料がすばやく表面を覆うことができる程度にその粘度が十分に低くなければならない。(D)形成された薄膜が合理的に薄くなるように紫外線を吸収しなければならない。(E)物体が形成された後に紫外線硬化性液体および部分硬化液体を除去するために洗浄できる程度、固定状態で同様の溶剤に合理的に不溶性でなければならない。(F)可能な限り無毒性かつ非刺激性でなければならない。

【0077】また、硬化した固形物は、固体状態となった後に希望の特性を持っていなければならない。これらの特性は、他のプラスチック材料の従来の用途と同様、関係する用途によって異なる。色、質感、強度、電気的性質、易燃性および柔軟性といった項目が検討すべき特性に含まれる。さらに、材料のコストも多くの場合重要である。

【0078】実際の立体造形システムの現在好ましい実施例(第3図など)で使用される紫外線硬化性材料は、デソト・インコーポレーテッド(DeSoto, Inc., 1700 South Mt. Prospect Road, Des Plaines, Illinois 60018)が製造するDeSoto SLR800立体造形用樹脂である。

【0079】光源26は、希望する物体の細部が形成できるほど十分に小さく、使用される紫外線硬化性液体を十分に実用的な程度に急速に硬化させるだけの十分な強度を持つ紫外線スポット27を生じる。光源26は、電源の入切および、焦点の合ったスポット27が液体22

の表面23上を動作できるように、プログラムされている。従って、スポット27が動くにつれて、液体22を固体に硬化させ、図表記録器またはプロッタがペンを用いて紙の上に描くのとほぼ同じ方法で表面に固体のパターンを「描く」。

【0080】立体造形システムの現在好ましい光源26の実施例は、主に、カリフォルニア州サニーベールのリンコニクス社(Linconix)が製造する4240-N型HeCdマルチモード・レーザ(Model 4240-N HeCd Multimode Laser)などのヘリウム・カドミウム紫外線レーザである。

【0081】第4図のシステムにおいて、表面23を一定の水準に保ち、物体が取り出された後にこの材料を補充するための手段を備えることもでき、それによって、焦点スポット27は、一定の焦点面で焦点を正確に保ち、作業表面23に沿った層を形成する際に最大の分解能を保証する。これに関して、作業表面23で正確に高強度の領域が得られ、ただちに低強度に発散することにより、硬化過程の深さを限定し、形成される物体に適切な最も薄い断面層を付与するように焦点を形成することが望ましい。

【0082】昇降台29は、形成される物体30を支持し、必要に応じてそれを上下させるために使用される。通常、層が形成された後、形成される物体30は、次の層の水準以上に動かされ、それにより液体22は固体が形成された部分と表面23との間のわずかな隙間に流れ込むことができ、その後物体は次の層の正しい水準に戻される。昇降台29の要求事項は、プログラムされた方法によって適切な速度と精度をもって動くことができ、さらに、形成される物体30の重量を扱えるだけ十分な強度を持っていることである。さらに、設定段階および物体を取り外す際に昇降台の位置を手動で微調整できればより有効である。

【0083】昇降台29は、機械式、空圧式、液圧式または電子式が可能であって、位置を精密に制御するために光学または電子式フィードバックを行うこともできる。昇降台29は、通常、ガラスまたはアルミニウムのいずれかにより製作されるが、硬化プラスチック材料が付着するようないずれかの材料が適する。

【0084】コンピュータ制御ポンプ(図示せず)は、作業表面23で液体22の水準を一定に維持するために使用できる。適切な水準検知システムおよびフィードバック網は、公知の技術であり、流体容積の変化を補い、表面23において一定の流体水準を維持するために、流体ポンプを駆動させたりまたは、昇降台が流体媒質の中に入るにつれて流体媒質から出てくる中実棒(図示せず)などの液体変位装置を使用できる。他に、光源26は、検知された表面23に関連して動くことができ、作業表面23で正確な焦点を自動的に維持することができる。こうした選択方法はいずれも、コンピュータ制御シ

ステム 28 と関係した適切なデータオペレーティングによって容易に得られる。

【0085】図面第 6 図は、本発明が実施される立体造形システムの全ソフトウェア・アーキテクチャを示す。

【0086】外観として、発明人らが“SLICE”と呼ぶ処理の部分は、それをより製作しやすくするために必要な足場または支持体とともに、製作したい物体を取り入れる部分である。これらの支持体は、通常、使用者の CAD によって作成される。SLICE が最初に行うことは、物体および支持体の輪郭を見つけることである。

【0087】SLICE は、一定の指定された制御様式にもとづいて一度に 1 の各小部分または層を規定する。SLICE は、物体の固体部分に輪郭を与える。例えば、物体が空洞であれば、外側と内側の輪郭がある。その後、この輪郭が一次情報になる。SLICE プログラムはその後、その輪郭すなわち一連の輪郭を作成するが、相互に結合しない外側外皮および内側外皮を製作したい場合、それらの間に液体を持つように指定する。その液体はいずれ消失する。これを実際の製品に言い換えれば、中実の部分は、2 つの表面の間にクロスハッチを加えるか、あるいはその間を全部固化させる。また、1 層が次の層の上に結合しないほど傾斜が穏やかである場合には、過去の経歴（それまでの層の形状の変化）あるいは三角形（PHIGS）の傾斜を記憶しておいて外皮を加える。SLICE はこれらすべてのことを行い、感光性重合体の化学特性、レーザの強度、システムを作動するために用いられる各出力ベクトルを露光するための時間を示す関連パラメータに関する。いくつかの参照用テーブルを使用する。その出力は識別可能なグループから成る。第 1 のグループは輪郭線すなわち輪郭から成る。別のグループはクロスハッチから成る。第 3 のグループは外皮から成り、これには、わずかに異なって処理されなければならない上向き外皮および下向き外皮などの下位グループがある。これらの下位グループはすべて、わずかに異なる処理を受けるので異なってトラックされ、その過程で出力データは希望の物体および支持体を形成するために適切に管理される。これらのベクトル形式および形成については、米国特許出願番号第 182,830 号、第 269,801 号および第 331,644 号に詳述されている。

【0088】三次元物体 30 が形成された後、昇降台 29 は上げられ、物体は後処理のために台から取り外される。

【0089】さらに、本発明の実施において使用可能ないくつかの容器 21 があり、各容器は、立体造形システムによって自動的に選択できる異なる形式の硬化性材料を有する。これに関して、各種材料は、異なる色のプラスチックにしたり、または、電子製品の各種層に使用できる絶縁性および伝導性材料も可能である。

【0090】図面第 5 図から明らかなように、立体造形システムの別な機器構成を示すことができる。この構成では、硬化性液体 22 または類似物は、硬化性液体 22 に対して非混和性かつ非湿潤性である重い紫外線透過性液体 32 の上に浮いている。例えば、エチレングリコールまたは重水はこの中間液層 32 に適する。第 4 図のシステムでは、三次元物体 30 は、第 3 図のシステムのように液体媒質中に下方に向かうよりもむしろ液体 22 から引き上げられる。

【0091】第 5 図において、紫外線源 26 は、液体 22 と非混和性中間液層 32 との間の界面で焦点 27 を結び、紫外線は、容器 21 の底部で支持された水晶などの適切な紫外線透過窓 33 を経て通過する。硬化性液体 22 は、非混和性中間液層 32 の上にごく薄い層で与えられ、それによって、理想的には極薄単層が形成されるので、硬化深さを限定するためにもっぱら吸収などに頼るのではなく直接に層の厚さを限定できるという利点がある。従って、形成の領域がより明確に限定されるので、一部の表面は、第 4 図の装置よりも第 5 図の装置によっていっそう平滑に形成される。さらに、紫外線硬化性液体 22 はより少ない量でよく、一つの硬化性材料を他の材料に置換することが容易である。

【0092】商用立体造形システムは、第 1 図～第 5 図で図式的に示したものの以外の付加的な構成要素およびシステムを有する。例えば、商用システムは、フレーム、ハウジングおよび制御盤も持つであろう。過剰な可視光から操作者を保護するための手段を持たなければならず、また、物体の形成中に物体 30 を見ることができる手段を持たせることもできる。商用装置は、オゾンおよび有害煙霧を管理するための安全手段のほか、従来の高圧防護、連動装置を備えるであろう。このような商用装置は、電子雑音源から過敏な電子部品を効果的に保護するための手段も有するはずである。

【0093】本発明によれば、物体の支持体は使用者によって CAD 設計において付与される。まず、この用途で初期に付与される支持体の必要性の概要を説明する。

【0094】物体支持体の必要性は第一に、台から物体を分離することである。すなわち、硬化物体を容易に取り外し、第 1 の層の厚さの管理を改善し、台の孔を物体のパターンに適合させることを可能とする。

【0095】第二に、物体支持体は、物体内部および周囲の液体の流れを改善する。すなわち、液体を早く安定させ、浸漬時間を最短にし、物体が早く良好に液体を排出することを可能にする。

【0096】第三に物体支持体は、浮遊する層輪郭線を固定させるために必要とされる。すなわち球の場合、均分円の下側で、層輪郭線の直径は急速に増加するが、層輪郭線は、クロスハッチ・ベクトルが描かれるまで空気の流れや液体の対流に影響されて浮遊することとなるからである。外部支持体は均分円の上側では必要ないであ

ろうが、内部支持体は必要かもしれない。第7 a図および第7 b図は、クロスハッチ・ベクトルが描かれるまで、支持体は層輪郭線をどのようにして正しい位置に固定するかを示す。

【0097】第四に物体支持体は、支持を行わないと無支持となる層部分を補強するために必要とされる。すなわち浸漬中や、物体重量の増加による変形を防止し、また応力に耐えられない層部分やスモージーによるカールを防止するために支持体を使用できる。第8 a図および第8 b図は、支持体がどのように片持ばりまたは類似構造の変形またはカールを防止するかを示す。

【0098】第五に物体支持体は、非接合層部分を固定するために必要とする。すなわち、こうした層の部分が浸漬中に移動するのを防止する。支持体は、物体が製作される基礎とするために第1の非接合部分の下の層になければならない。第9 a図および第9 b図は、支持がなければ浸漬中に移動するような層部分を支持体がどのように接合するかを示す。

【0099】次に、この用途で後に付与されるウェブ状支持体の概要を説明する。

【0100】本発明では、「ウェブ」状支持体が使用される。ウェブ状支持体は、第一にほとんどすべてに適用可能な実用的形状である。すなわち、取り外しやすく、台から抜け落ちることがなく、2つの連続する層の輪郭線であり、クロスハッチや外皮が不要なので描くのに時間がかからないという特徴をもつ。

【0101】第二にウェブ状支持体は、共通に使用される支持体様式のCADライブラリを作ることができるという特徴をもつ。これは、多数の異なる部品について類似の支持体を使用することが可能で、新しい支持体を作るよりも現行の支持体を修正するほうが早いからである。例をとって説明する。

#### 【0102】例A

第7 a図および第7 b図に示す固体球の底付近に層境界線ベクトルは、その直径が各連続層で急速に増加する円から成る。クロスハッチ・ベクトルが描かれるまで、層境界線の多くは液面上で自由に浮遊する。空気流または液体の対流は層境界線を正しい位置からずらす原因となる。第7 b図に示すように、球の均分円にまで伸長した支持体を付加することがこの問題を解決する。均分円の上側では、層境界線は以前の層のクロスハッチ・ベクトルの上に直接形成され、そのままそれ以上の支持体を必要とせずにしっかりと固定されることに注意しなければならない。

#### 【0103】例B

第8 a図および第8 b図に示す片持ばりの第1層（または、いずれかの無支持層輪郭線）は、物体が浸漬される時に液体の静的抵抗によって永久変形を受ける場合がある。さらにこの層は、次の層が形成される時にカールするかもしれない。これらの問題は両方とも、支持体を付

加することによって解決される。

#### 【0104】例C

第9 a図および第9 b図に示す紅茶茶わんの把手の第1層は、形成される時完全に非接合状態であり、物体が浸漬される時に漂流するかもしれない。支持体は、昇降台または茶わん本体に固定された表面を付与し、これに把手を構築することができる。

【0105】支持体の最も一般的な形式は、前記の例図に示す薄肉の垂直ウェブである。ウェブ状支持体（以下、ウェブ支持体ともいう）は、後処理において取り外しが容易であり、適切に設計されていれば、昇降台の孔から抜け落ちることではない。他の形状も必要な支持体を付与することができるが、描くのに時間がかかるだろう。

【0106】一般に、支持体は、部品ファイルとは別の単一CADファイルとして一緒に設計される。支持体は、部品が設計され立体造形に適するように配向された後、固体模型に関して位置決定される。物体および支持体ファイルは、立体造形過程の後期に単一ファイルとして併用され描かれる。各用途のために独自の支持体を設計するよりも、CADに常駐する支持体のライブラリが勧められる。いずれの場合でも、支持体は、以下の指針に従って設計され、部品に接合すべきである。

【0107】配置：支持体の配置は、物体が構築できる確固とした基礎を付与するために必要のように位置決定されなければならない。また、前記の例で検討したように、他の表面を固定または補強するために付加しなければならない。物体が後処理としての再硬化の後、支持体を取り外された後、通常、物体表面にうねが残る。（このうねは、切除およびサンダー仕上げまたは研削である。）

従って、可能な場合、美観または機能上の理由から平滑である必要がある表面に支持体を配置することは避けるべきである。支持体は、昇降台に接合する必要はないが、物体の強度の高い部分に固定することができる。

【0108】間隔：一般に、支持体の間隔は、は、容易に認められる垂れ下がりまたはカールが決して生じないように十分に密接な間隔で配置されなければならないが、過度に多くの支持体を描くと、物体の構築過程を遅くすることになる。ウェブ支持体は、通常、0.1～0.8インチ（2.54～20.32ミリ）離れた間隔を置くべきである。

【0109】配向：物体の全部のウェブ支持体が第10 a図および第10 b図に示すように相互に平行に配列されている場合、物体の重さによって、物体作成中にウェブが横方向に傾く可能性がある。以後の層は以前の層に関してわずかにずれる（斜めに傾く）ことになる。平行ウェブに対して垂直であるウェブ支持体の付加は、層のゆがみを予防する。

【0110】高さ：曲がりまたは垂れ下がりを防止し、

描画時間を最小限にするために、ウェブ支持体の高さは、必要以上に高くするべきではないが、部品は、最適な液体の排出および安定（緩和）を保証するために昇降台上0.25インチ（6.35ミリ）以上に吊り下げられなければならない。高さのあるウェブが必要な場合、第1のウェブに垂直な第1のウェブを付加的な支持のために付加すべきである。この組合せ支持体は、断面では第10図に示すように十字（+）状に見える。

【0111】長さ：描画時間を最小限にするために、支持体の長さは必要なだけの長さにすべきである。しかし、昇降台に構築されたウェブの支持体は、その接触する部分が0.65インチ（16.51ミリ）以上の長さがなければならず、そうでない場合、孔から垂れ下がったり抜け落ちたりすることもある。物体を両端とする斜め支持体は、第11図に示すように、控え壁状に設計しなければならず、除去が困難になるほど部品の隅にまで及ぶようにすべきではない。

【0112】幅：ウェブ支持体の幅は、1～2ミル（0.025～0.051ミリ）のCAD厚さの幅広厚板として設計されなければならない。レーザで描かれる幅は通常10～20ミル（0.25～0.51ミリ）なので、実際の支持体はCAD設計よりも相当厚くなる、CADボリュームをまったく用いずに単一表面として設計される支持体は、クロスハッチを作成するソフトウェアを混乱させるので、避けたほうがよい。

【0113】厚さ：ウェブ支持体の厚さは、硬化用ビームのループ状往復走査によって形成されるその往復時ビームが隣接するとき最小厚さになるが、その厚さは硬化幅（1本のビームが硬化する幅）の2本分より小さくなる（詳しくは後述の例参照）。

【0114】ビーム幅の補償を用いる場合、支持体は、ビーム幅補償アルゴリズムがレーザによって描かれる線の幅を補償することになるので、希望する実際の幅、すなわち10～20ミル（0.25～0.51ミリ）として設計すべきである。ビーム幅の補償については、米国特許出願番号第182,830号、第269,801号および第331,644号に詳述されている。

【0115】物体が支持体と確実に結合することを保証するために、ウェブ支持体は、2または3層の厚さだけ（通常40～60ミル（1.02～1.52ミリ））物体に垂直に重なり合うように設計しなければならない。

【0116】支持体の一般的な形式としては、上記以外に以下のようなものがある。

【0117】「ストレートウェブ」は一般に厚さが0.002インチ（0.051ミリ）未満の極薄の断面長方形のものである。単一表面ではなく、厚みのあるものとして規定しなければならない。「十字形ウェブ」は直角に交差する2のストレートウェブから成るウェブである。ストレートウェブよりも強力である。「円形ウェブ」は物体に強固に結合された空洞管である。ストレ

ートウェブおよび十字形ウェブよりも大重量を支持できる。しかし、より多くの三角形を必要とするので、より多くの記憶装置を使用する。「三角形ウェブ」は3のストレートウェブから成り三角形を形成する。各頂点を交差するストレートウェブと関係して使用できる。他のすべての形式のウェブ支持体よりも強力である。

【0118】前述のように、支持体の作成は、部品ファイルとは別の単一のCADファイルと一緒に設計される。これらの立体造形（.STL）ファイルは、1ファイルに併合される前は、スライス・ファイルまたは断面ファイルである。支持体に適用できるスライス・ソフトウェア（SLICE）および併合ソフトウェア（MARGE）の特徴を以下に説明する。SLICEおよびMERGEソフトウェアの商用実施例に関する詳細は、米国特許出願番号第182,830号、第269,801号および第331,644号に説明されている。

【0119】SLICEはスライス支持体ファイル作成時に通常0に設定されているいくつかの選択機能を有している。ウェブ支持体は薄肉なので、クロスハッチは不要であり、従ってX、Yおよび60/120クロスハッチ間隔値は0に設定すべきである。同様に、支持体は外皮も必要としないので、XおよびY外皮充填値も0に設定できる。走査小面の最小表面角（MSA）および最小クロスハッチ交差角（MIA）は、ウェブ支持体が平坦に近い外皮を必要とせず、クロスハッチをまったく持たないので、0に設定されなければならない。

【0120】この支持体ファイルに選択されたSLICEスケールおよびZ間隔の値は、物体ファイルに選択された値と一致しなければならない。すなわち、支持体SLICE厚さは、（重なり合い領域で）物体ファイルのSLICE厚さによって等しく割れるか、または、それに等しくなければならない。そうでない場合、同一層で支持体および部位の線を描くことができなくなる。

【0121】ウェブ支持体の壁（1ミル（0.0254ミリ）離れた）を形成する際に、第1の描いている間に露光された層輪郭線は、比較的広いレーザ線幅のために、第2の壁が描かれている間に再び露光を受けることになる。これは事実上、ステップ期間を増加させる。このため、作業曲線から得られたステップ期間は、入力する前に2で割らなければならない。

【0122】支持体を作成するために最後に必要な操作者の行動は、PREPAREメニュー選択機能を用いて、支持体の第1の層を形成する層輪郭線ベクトルの省略時ステップ期間値を増加させることである。そうすることにより、層の厚さ（硬化深さ）が増す。通常、省略時の支持体ステップ期間を3倍にすると、支持体の第1層の昇降台への適切な付着が保証される。

【0123】ウェブ支持体を作成する別な方法は、硬化中の物体の下に内部クロスハッチを持つ箱を作成することである。この方法では、クロスハッチ・ベクトルを作

成するためにすでに実施されたSLICEアルゴリズムがウェブ支持体を作成するために使用できる。この方法においては、前述のように、CAD/CAMシステムでウェブ支持体を設計する必要がなくなる。この箱は、それ自身の、SLIファイルにおかれた別個の、SLIファイルに作成でき、その後、スライスが終わってから物体の、SLIファイルと併合することができる。特に、ストレートウェブは、XまたはY方向に（両方向ではない）クロスハッチを描くことによって作成できる。十字形ウェブ支持体は、XおよびY方向にクロスハッチを描くことによって作成できる。三角形ウェブ支持体は、60または120° およびXまたはY方向のいずれかにクロスハッチを描くことによって実施される。さらに、クロスハッチの間隔は、必要な支持体に応じて異なるが、1/4インチから1インチ（6.35～25.4ミリ）と選択すべきである。

【0124】本発明を実施しているカリフォルニア州シルマーのスリー・デー・システムズ社（3D Systems, Inc., California）によって提供された商用システムの一つの例（SLA-1）を、後に実施の形態として詳述する。

【0125】この新規で改良された立体造形の方法および装置は、プラスチック物体を製造するために現在使用されている方法に優る多くの利点がある。この方法は、金型の図面および金型を製作する必要をなくす。設計者は、コンピュータおよび立体造形装置を用いて直接作業することができ、コンピュータの出力画面に表示された設計に満足すれば、直接に物体を製造して調査することができ、得られた情報により、カールおよび変形を低減し、分解能、強度および再現精度を高めるために特別に加工される物体を定義できる。設計を修正しなければならない場合もコンピュータを通じて容易に行うことができ、その後、新たに別の部品を作って変更が正しいことを確認することができる。相互に関連する設計パラメータを持つ複数の部分を要求する設計の場合、本発明の方法は、その部品の設計のすべてが容易に変更でき、全体の組立品を、必要な場合何度でも繰り返して製造し調査できるので、いっそう有効である。

【0126】設計が完了した後、部品の生産はただちに開始でき、設計から生産の間の数週間、数ヶ月が節約できる。最終生産速度および部品コストは、短時間運転生産の現在の射出成形のコストと同様で、労務費は射出成形に関するよりもずっと低くなるはずである。射出成形は、多数の同一部品が求められる場合にのみ経済的である。立体造形は、金型の必要がなくなり、生産のための設備時間が最小であるため、短時間運転生産に有効である。同様に、この技術を用いることにより、設計の変更や特注部品の供給が容易に行える。部品製造の容易さによって、立体造形は、現在は金属その他の材料の部品が使用されている多くの分野でのプラスチック部品の使用

を可能にする。さらに、費用のかかる金属その他の材料の部品の製造を決定するのに先立って、迅速かつ経済的に物体のプラスチック模型を製造することを可能にする。

【0127】本発明は、三次元のプラスチック物体などを、迅速に、信頼性をもって、正確に、経済的に設計加工できるCAD/CAMシステムのための技術に対して長期に存在する必要性を満足させる。

【0128】本発明の上述および他の目的および効果は、以下の実施例の詳細な説明によって、更に明らかとなろう。

【0129】（実施例）SLA-1立体造形装置は、CADシステムから直接、三次元の物体を作成する。長さ、幅、高さがそれぞれ9インチ（22.86センチ）までの作成された物体は、光硬化性プラスチックで作成されている。それらは、種々の用途に広く利用することができ、例えば、工業でのエンジニアリング、設計エンジニアリング、建築設計、医学、科学のような分野で使用されている。以下に、SLA-1立体造形装置の第一の実施例について詳しく説明する。

【0130】（第一の実施例）

#### 1. 立体造形プロセス

立体造形は、レーザー・ビームを動かして、液状プラスチックの連続層を固化することによって部品を作成する三次元印刷プロセスである。本方法によれば、設計者は、CADシステムでの設計ができ、精確なプラスチック・モデルを2、3時間で作成することができる。立体造形プロセスは、第12図に示すように、固体モデル設計、立体造形用モデルの準備、モデルの三角形への分割と転送用にデータの変形、データ・ファイルのSLA-1スライス・コンピュータへの転送、三角形ファイルの水平スライス、ベクトルの計算、ハッチングおよびぬりつぶし、物体の作成、後処理の8段階から構成されている。

【0131】固体モデル設計は、立体造形プロセスとは特に関係なく、CADシステムで、通常の方法で設計される。モデルのコピーが、立体造形処理用に作成される。

【0132】立体造形のモデル準備には、最適方向の選択、サポートの追加、SLA-1操作パラメータの選択がある。最適の方向をとることによって、（1）物体の液排水を可能にし、（2）支持のない表面の数が最少になり、（3）重要な表面を最適状態にし、（4）物体を樹脂容器に適合させることができる。支持は、離れた断面を固定するためとその他の目的のために追加しなければならない。支持のCADライブラリを本目的のため準備することができる。SLA-1操作パラメータには、モデル寸法と層厚さ（スライス）の選択が含まれている。

【0133】固体モデルの表面は、次いで三角形に分割

される。三角形は、ベクトル計算には、複雑さの最も少ない多角形である。BetaSLA-1の能力は、200,000個の三角形に近付いており、SLA-1の生産に関して計画されたさらに改良された点がある。三角形の数が多し程、表面の分解はより十分になり、したがって、CAD設計で形成される物体はより正確になる。

【0134】三角形の座標を表わすデータ点は、イーサネット通信でSLA-1に伝達される。SLA-1のソフトウェアは、選択した層の厚さで、三角形断面を水平に(X-Y面)スライスする。

【0135】SLA-1は次に、断面の輪郭、ハッチング、および水平面(表面)ベクトルを計算する。ハッチベクトルは、輪郭ベクトルの間の、クロスハッチングからなる。数種のタイプがある。高速で画かれ、大きな重なりのある表面ベクトルは、物体の水平表面の外側を形成する。上下の表面内の内部水平部分は、クロスハッチ・ベクトルによる以外はぬりつぶされない。

【0136】SLA-1は、光硬化性樹脂の表面を、ヘリウム、カドミウム・レーザーの紫外線を動かし、それがあつた部分の液を固化させることによって一度に1つの水平層の物体を形成する。樹脂に吸収されるので、レーザー光線は深く浸透せず、薄い層をつくることができる。各層は輪郭線、ハッチ、表面の順に描かれたベクトルから成る。

【0137】最初に画かれた層は、液面のすぐ下にある水平な台に付着する。この台はコンピュータ制御で台を降ろす昇降台に取り付けられている。1つの層を画いてから、台は数ミリメートル液の中に浸って、先に硬化した層を新しい液で覆う。ついで、薄い液の層を残して少しだけ上昇しこの薄い液の層から第2の層が作られる。液面が平らになるように、しばらく休止した後、次の層が描かれる。樹脂は付着性をもっているため、第2の層は、第1の層へ強固に付着する。このプロセスが、すべての層が描かれ、三次元物体の全体が形成されるまで繰り返される。通常、物体の下部の0.25インチ(6.35ミリ)程度は、望みの物体がその上につくられる支持構造である。光にあたらなかった樹脂は、容器の中に残って次の物体用に使用される。材料の浪費は非常に少ない。

【0138】後処理では、余分の樹脂を除くために、作成された物体を熱し、紫外線または加熱硬化をして重合を完全にし、支持を取り除く。さらにやすりでみがき、実用モデルに組立てるなどの処理も追加して行われる。

#### 【0139】2. 立体造形装置

SLA-1はユーザーのCADシステムと直接接合する完備した装置である。SLA-1は、第13a図～第13c図に示すように、スライス・コンピュータ端末装置、電子キャビネット組立品、光学系組立品、およびチャンバ組立品の4主要要素グループから構成されている。SLA-1のブロック図を第14図に示す。

#### 【0140】2.1 電子キャビネット組立品

電子キャビネット(第22a図、第22b図)には、プロセス・コンピュータ(ディスク駆動)、キーボード、モニター、電源、AC電力配電盤、および制御盤がある。コンピュータ組立品には、端末装置の制御用プラグイン回路盤、高速走査鏡および垂直(Z形の台)昇降機がある。レーザー用電源、ダイナミックミラー、昇降機モータは、キャビネットの下部に取り付けられている。制御盤(第16a図、第16b図)には、電源投入スイッチ/表示器、チャンバー灯スイッチ/表示器、レーザー投入表示器およびシャッター開表示器がある。故障診断およびレーザー性能情報を含む操作と保守パラメータはモニターに表示される。操作はキーボード、エントリで制御される。キーボードおよびディスク・ドライブのまわりの作業面は、掃除しやすく、且つ長期使用に耐えるようフォーマイ力でおおってある。

#### 【0141】2.2 光学系組立品

ヘリウム、カドミウム(HeCd)レーザーと光学系構成要素(第23a図～第23c図)は、電子キャビネットとチャンバー組立品の上に取り付けられている。レーザーと光学系板は、それぞれのカバーをはずせば使いやすくなっている。安全のために、カバーとめ具をはずすのに専用工具が必要で、カバーがはずされている時は、インターロック・スイッチが生きている。インターロックは、どちらかのカバーがはずれている時、レーザー光線を遮るためにソレノイド制御のシャッターを作動させる。光学系組立品の洗浄用具一式とインターロック短絡用具が光学系カバーの下にある(第19a図～第19e図)。洗浄用具は綿棒、専用の洗浄ガーゼ、光線回転鏡と光線拡大レンズ洗浄用材料である。インターロック・短絡用具は、使用中にインターロックをこころすために使用される。これは、光学系およびレーザーのカバーがはずれた状態で、レーザーの照射を必要とする、光学系の配列調整および実施操作を可能にする。シャッター組立品、2個の90°の光線回転鏡、光線拡大器、走査鏡組立品および光学窓は光学板の上に取り付けられている。回転ソレノイド作動シャッターはレーザーの出口に取り付けられ、安全インターロックが開いている時、光線を遮るために回転する。90°光線回転鏡はレーザー光線を次の光学系構成要素へ反射する。光線拡大器はレーザー光線を拡大して液面に集中する。高速走査鏡はレーザー光線が樹脂表面にベクトルを画くようにする。光学系の封入されたものと反応室の間の水晶窓は、レーザー光線を反応室へ通すが、それ以外は、2つの部分は隔離されている。

#### 【0142】2.3 チャンバー組立品

チャンバー組立品(第24図、第27図)には、環境制御されたチャンバーがあり、台、反応容器、昇降機および光線プロファイラを収納している。物体がつくられた室は、操作者の安全を考え、一様な操作条件を確保する

ように設計されている。室は約45℃（華氏140度）に熱してもよい。そして空気は循環され、ろ過される。上方からランプが反応容器と作業面を照らす。ガラスのアクセスドア上のインターロックは開いているときにレーザー光線を遮るようにシャッターを作動させる。反応容器はチャンバーの中、昇降機および台が配列されている誘導装置上に設置されている。部品は垂直軸昇降機あるいはz形の台に取り付けられた台の上に形成される。台は樹脂容器の中に浸され、物体が形成されていく間に、下の方へ調節して動かされる。形成された物体を取り外すために、台は容器の上の位置まで上げられる。ついで、台は昇降機から取りはずされ、後処理のためにチャンバーから取り外される。したたり落ちる樹脂を受けるために受け皿が準備されている。光線プロファイラは、反応容器の一方の側でレーザーの焦点距離のところに取り付けられている。走査鏡は、周期的に光線プロファイラ上へのレーザー光線に向くように指令され、プロファイラは光線の強度プロファイルを測定する。そのデータは、強度の輪郭線のあるプロファイルまたは全体的な（積分された）光線強度を表わす簡単な数として端末に表示される。この情報は、鏡を洗浄および心合わせすべきか、レーザーを使用すべきか、望みの厚さと幅のベクトルを出すパラメータ値などを決定するのに使用される。

#### 【0143】3. ソフトウエア

SLA-1のソフトウェア図を第15図に示す。立体造形装置を制御するのに必要なコンピュータは3つあり、それはCADシステム、スライスコンピュータおよびプロセスコンピュータである。どのCADシステムも三次元物体を設計するのに使用することができる。これは対称物のファイルと認められる。物体をつくるためには、ゆがみを防ぐために支持を設けなければならない。これは、CADによる物体設計に必要な支持を加え、CAD支持ファイルをつくることによって実行される。結果としてCADでつくられた2個以上のファイルは、イーサネットを通してスライスコンピュータに物理的に挿入される。立体造形装置は、一番下の層から始めて一度に1層の部品をつくる。スライスコンピュータは、CAD上

の物体を個々の水平なスライス（薄層）に分割する。スライスコンピュータは、また、どこにハッチベクトルができるかを計算する。これは各層がつくられるとき最大強度になるように行われる。Beta Sitesのスライスコンピュータは、それ自身のキーボードとモニターをもった別個のコンピュータである。生産モデルでは、スライスコンピュータは、SLA-1の電子キャビネットの中にあり、プロセスコンピュータとキーボードとモニターを共有することが予想される。操作者は各スライスの厚さを変更することができ、ユーザー・インターフェイス・プログラムと各スライスの他のパラメータを変えることができる。スライスコンピュータは、ゼニックス機械語を使用しており、イーサネット・データ・バスによってSLA-1プロセス・コンピュータに接続されている。スライスされたファイルは、ついで、イーサネットを通してプロセス・コンピュータに転送される。プロセス・コンピュータは、スライスされた物体と支持ファイルを層制御ファイルとベクトル・ファイルに併合する。操作者は、次に、層およびパラメータ・ファイルにおいて立体造形装置を運転するのに必要な制御を挿入する。（ベクトル・ファイルは、いつもは編集されていない）。操作者は、リベットを挿入することによって、物体の特定の容積を強くすることができる。このことは、スライスされたファイルを組合せる前に、必要なパラメータをクリティカル・ボリューム・ファイルに挿入することによって行われる。併合プログラムは、物体、支持、クリティカル・ボリューム・ファイルを総合して、その結果のデータを層制御ファイルに挿入する。操作者は、層制御ファイルを編集することができ、省略パラメータ・ファイルを変更することができる。省略パラメータ・ファイルは、部品を作る立体造形装置を操作するのに必要な制御を含んでいる。プロセス・コンピュータは、MSDOS機械語を使用しており、立体造形装置に直接接続されている。

#### 【0144】4. 性能仕様

ベータSLA-1の性能仕様を、表1-1に示した。

#### 【0145】

#### 【表1】

表 1-1 ベータ S L A-1 の性能仕様

| 特 性         | 仕 様                              |
|-------------|----------------------------------|
| 入力電力        |                                  |
| 電圧、周波数      | 115 V a c、60 H z                 |
| 電流ドレーン      | 15 アンペア                          |
| 機械的特性       |                                  |
| レーザー源       |                                  |
| タイプ         | ヘリウム・カドミウム                       |
| 公称電力        | 325 nm で 10 mW                   |
| 起動時間        | 15 分                             |
| (90% 電力まで)  |                                  |
| 予想寿命        | 4000 時間 (サービス・インターバル 1000 時間の場合) |
| 誘電ビーム回転鏡    |                                  |
| 公称反射率       | 325 nm で > 99%                   |
| 入射角範囲       | 0~45 度                           |
| ビーム拡大器      |                                  |
| 拡大係数        | 4                                |
| 調節可能軸       | Y、Z (ピッチ、ヨーイング)                  |
| 走査鏡         |                                  |
| 速度          |                                  |
| 最小          | 0.001 inch/sec<br>(0.025 mm/sec) |
| 最大          | 20 inch/sec<br>(51 cm/sec)       |
| 作図範囲        |                                  |
| 幅 (X 軸)     | 9 inch (23 cm)                   |
| 長さ (Y 軸)    | 9 inch (23 cm)                   |
| 昇降機 (Z 形の台) |                                  |
| 最大移動距離 (行程) | 14 inch (36 cm)                  |
| 最小ステップ      | 0.001 inch<br>(0.025 mm)         |
| 負荷容量        | 110 lbs (49.5 kg)                |

【0146】

【表 2】

| 特 性            | 仕 様                                     |
|----------------|-----------------------------------------|
| C A D インターフェース | イーサネット                                  |
| 樹脂特性           |                                         |
| 外観とにおい         | 明るい琥珀色の液体<br>弱いにおい                      |
| 蒸気密度           | 空気より重い                                  |
| 比重 (H2O=1)     | 1.18                                    |
| 引火点            | > 華氏 200 度 (93℃)                        |
| 消火方法           | 国家防火協会 B クラス<br>消火器 (炭酸ガス式、粉末式または泡式消火器) |
| 保管温度           | 華氏 +60~+80 度<br>(+15℃~+26℃)             |
| 物理的特性          |                                         |
| S L A-1        |                                         |
| 寸法 (最大)        |                                         |
| 高さ             | 64 inch (163 cm)                        |
| 幅              | 49 inch (124 cm)                        |
| 厚さ             | 27.5 inch (70 cm)                       |
| 出荷重量           | 600 lbs (272 kg)                        |
| 樹脂容器           |                                         |
| 寸法             |                                         |
| 高さ             | 10 inch (25 cm)                         |
| 幅              | 9 inch (23 cm)                          |
| 厚さ             | 9 inch (23 cm)                          |
| 運転条件           |                                         |
| 温度             | 華氏 50~104 度<br>(10℃~40℃)                |
| 相対湿度           | 0~90%                                   |

【0147】5. 材料および装置  
S L A-1 装置の操作をよくする材料および装置を表 3

-1 に示した。同等のものを使用してもよい。  
【0148】

【表3】

| 表 3-1 操作用の材料と装置  |              |                                 |
|------------------|--------------|---------------------------------|
| 名 称              | モデル/<br>部品No | 用 途                             |
| プリンター、<br>コンピュータ |              | コンピュータ・データ・永久<br>記録ファイルのプリントアウト |
| 顕微鏡              |              | 作業曲線測定                          |
| オープン、加熱          |              | 緑色部品の後硬化                        |
| オープン、<br>紫外線投入   |              | 緑色部位の後硬化                        |

## 【0149】6. SLA-1 物体用CAD設計

## 6. 1 SLA-1 物体用CAD設計法

SLA-1 装置で物体を作製する前にCADシステムでまず設計しなければならない。操作者はCADシステムを使用して部品を設計する方法を知っているものとする。CAD設計をSLA-1 装置に適合するようにするには、操作者は、物体ファイルと支援ファイルなどの2つ以上のファイルをCADシステムに準備するのが普通である。物体ファイルは、単にCAD物体である。支援ファイルは、SLA-1 装置で物体を作っている間、その形を保つことができるように支持構造を加えるのに必要である。

## 【0150】6. 2 部品設計のルール

SLA-1 装置用CAD設計を準備するには、操作者は、次のようにCAD物体ファイルを変更しなければならない。すなわち、第一に壁厚さは、0.020～0.150inchとするのが理想的である。第二に、CAD物体を次の条件になるような方向に回転する。条件とは、物体ができる時の気泡部分を最小となるように、また上向きのおよい表面を利用できかつ下向きの表面をできるだけ見えないように、また支持の設計が容易かつ最適となるように、さらにまた部品が作られるとき安定および強くなるようにすることである。第三に水平ギャップと穴がレーザ・line widthにより望まれるより大きくなるように部品を設計する。第四にすべての中実物体は完全に一つの容積を構成しなければならない。単一平面ではクロスハッチのアルゴリズムを混乱させる。

【0151】6. 3 SLA-1 用支援ファイル設計法  
支持構造は、土台と柱とウェブで構成され、それらは物体を適切に支持し、物体がSLA-1 装置で作られている間に曲がるのを防ぐ。支持は別の支援ファイルにおいてCADシステムで設計されなければならない。

## 【0152】6. 4 支持設計のルール

操作者は次のようにCAD支援ファイルを作らなければならない。すなわち、第一に昇降機パネルにのるCADで作られる物体の底部に構造を設計する。この台には、少なくとも0.65inch (16.51mm) の長さ (台の1/4inch (6.35mm) 孔の直径の2倍以上) 数本の水平な脚がなければならない。第二に部品の外側に各角と交差するように支持を設計する。そこは大きな応力が生ずる場所であるからである。第三に支持されていない

下向きの境界が、先に作られた支持の上になるように支持を配列する。第四に最良の応力抵抗のため、最小距離を隔てて支持を配置する。第五に強力な結合のため、少なくとも二つの垂直な二層が物体の中に重なりをもつよう設計する。

## 【0153】7. スライス操作

## 7. 1 ファイルのスライスの方法

スライスコンピュータ (Wyse PC 386) (第21a図、第21b図) は、ユーザーの制御の下で、物体と支援ファイルを個々のスライスに、自動的に分割する。ユーザーは各スライスの厚さを選択し、クロスハッチングの形と方法を決定しなければならない。

## 【0154】7. 2 スライスのルール

操作者は、CAD物体と支援ファイルを次のようにスライスしなければならない。すなわち第一に上向きの表面は1次元 (XまたはY) だけのもので、0.002inchのオフセットでなければならない。露出面は低くなければならない。第二にクロスハッチは通常、物体の端にできるだけ垂直に近い状態でなければならない。部品の端に平行なクロスハッチは生産時間を増加し応力を増加する。第三に表面をつくらないで支援ファイルをスライスする。

## 【0155】7. 3 ユーザー・インターフェースの動かし方

この手順はユーザー・インターフェース・プログラムを使用してスライス・パラメータを挿入し、スライス・プログラムを動かすためにスライス・コンピュータを操作する方法を示す。この手順は、CADファイルがスライス・コンピュータの中に設置されているものと仮定している。ステップの前の星印 (\*) は、これが、共通のキーボードを使用してスライス・コンピュータとプロセス・コンピュータとを操作している場合に行われるためにだけ必要な任意のステップであることを示している。

a. ENTERを押す。-MAIN MENUが表示される。

\*b. データ転送 (スライス) を選択して、ENTERを押す。-データ転送メニューが表示される。

\*c. TELNET、端末ユーティリティを選択し、ENTERを押す。

d. S promptが表示されたら、UI (user interface) とタイプして、ENTERを押す。-SLICE US

ER INTERFACEメニューが表示される。

e. オプション1 (DATABASEファイル名) を選択する。

f. Enter Data File Name; promptが表示されたら、データ・ファイル名、つづいて、Stl (例えばtest.stl) をタイプして、ENTERを押す。

g. Type File BinaryまたはASCII(B,A); Promptが表示されたら、b (binary) または (ASCII) を適用としてタイプし、ENTERを押す。

h. オプション2 (scale) を選択する。

i. Enter Scale Value: promptが表示されたら、scale value per CAD dimension unit) をタイプしてENTERを押す。(1000を選択した場合、1000.000が値の列に挿入される。これは1つのCAD dimension unitの1/1000である。)(例えばインチで設計された部品のCADの場合は、1000のScaleは各スライス、単位を1mil (1ミル=0.0254ミリ) とする)

j. オプション3 (Z spacing) を選択する。

k. Enter FixedまたはVariable spacing (F、VまたはQ) Value: promptが表示されたら、F (fixed) をタイプし、ENTERを押す。次にスライス・スケール単位 (オプション2より) (例えば20) で厚さをタイプし、ENTERを押す。(可変の厚さを選択する場合は、ソフトウェア・マニュアルを参照)。

l. オプション4 (X hatch spacing) を選択する。

m. Enter Hatch Spacing (hx) value: promptが表示されたら、スライス・スケール単位 (例えば、200 (5ハッチ/inch)) でX hatch spacingをタイプし、ENTERを押す。オプション6 (60/120度hatch spacing) を使用する場合は、オプション5 (Y hatch spacing) は使用しないことに注意する。

n. オプション5 (Y hatch spacing) を選択する。

o. Enter Hatch Spacing (hy) value: promptが表示されたら、スライス・スケール単位 (例えば、200) でY hatch spacingをタイプし、ENTERを押す。

p. オプション6 (60/120度hatch spacing) を選択する。

q. Enter Hatch Spacing (60/120) value: promptが表示されたら、スライス・スケール単位 (例えば、20) で60/120hatch spacingをタイプし、ENTERを押す。

r. オプション7 (X skin fill for near flat surface) を選択する。

s. Enter skin fill for near flat surface (hfx) Value: promptが表示されたら、X skin fill offsetをスライス・スケール単位 (例えば、2) でタイプし、ENTERを押す。

t. オプション8 (Y skin fill for near flat surface) を選択する。X skin fillが使用される時は、Yは

使用してはならない。逆もまた同じである。

u. Enter skin fill for near flat surface (hfy) Value; promptが表示されたら、Y skin fillをmilでタイプし、ENTERを押す。

v. オプション9 (minimum Surface Angle for scanned facets) を選択する。

w. Enter a Minimum Surface Angle promptが表示されたら、垂直からの望みの角 (例えば、60) を度でタイプし、ENTERを押す。

x. オプション10 (Minimum Hatch Intersect Angle) を選択する。

y. Enter a Minimum Intersect Angle Value: Promptが表示されたら、Intersect Angleを度で (例えば、20) タイプし、ENTERを押す。

z. オプション11 (Segment Output file Name) を選択する。

aa. Enter Segment File Name: promptが表示されたら、望みのoutput file name、次いで、sli(slice) (例えば、test.sli) をタイプし、ENTERを押す。

ab. すべてのスライス・パラメータが選択されてしまったから、S (Save) を選択し、ENTERを押す。

(これはパラメータを将来の使用と参考のためにセーブする)

ac. "Press(Enter) to Continue" promptが表示されたら、ENTERを押す。次に、d (DoSlice) を選択しENTERを押す。

ad. Slice Version to use (Default XY); promptが表示されたら、ENTERを押す。(プログラムは挿入されたスライス・パラメータを使用して、ファイルをスライスする。)

ae. スライスが完了したら、DATA TRANSFER MENUが表示される。

af. Q (Quit) とENTERを押す (スライスされたファイルは、プロセス・コンピュータに転送される状態になっている。)

## 【0156】8. SLA-1の操作

### 8.1 始動手順

a. POWER ONスイッチをONにする。(上) POWER ON表示灯の点灯を確認する。

b. OVEN LIGHTスイッチをONにする。(上) OVEN LIGHT表示灯の点灯と反応室のオーバーヘッド灯の点灯を確認する。SHUTTER OPENおよびLASER ON表示灯は操作中点灯する。SHUTTER OPEN表示灯は、レーザーシャッターが開いている時、点灯し、LASER ON表示灯は、レーザーが作動している時、点灯する。

c. プロセス・コンピュータが始動した時、MAIN MENUがモニタに表示される。"Power on sequence" を選択し、ENTERを押す。

d. POWER SEQUENCEメニューが表示される。続いて、レーザー、鏡および昇降機駆動機の電力を上げるためとレ

ーザー・シャッターを開けるために、ファンクション・キー1、2および3を押す。

e. レーザーの出力が安定して物体を作り始めるまで少なくとも15分は持つ。他の機能（ファイル準備、データ転送など）はレーザーの起動中に行える。

【0157】8. 2 スライス・コンピュータからプロセスコンピュータへのファイルの移し方

この手順は、スライスされた物体および支持ファイルを、SLA-1内でスライス・コンピュータからプロセスコンピュータ（Wyse PC 286）へ移す方法を説明する。

a. ENTERを押す。MAIN MENUが表示される。

b. オプション1（Data Transfer）を選択する。

c. （data transfer）promptが表示されたら、2（FTP）（file transfer program）をタイプし、ENTERを押す。

d. （ftp）promptが表示されたら、OPENをタイプし、ENTERを押す。 e. （to）promptが表示されたら、スライス・コンピュータのアドレスをタイプし、ENTERを押す。

f. Remote user promptが表示されたら、貴方の登録簿の名前をタイプして、ENTERを押す。

g. Password promptが表示されたらあなたのpasswordをタイプして、ENTERを押す。

h. （ftp）promptが表示されたら、GETをタイプし、ENTERを押す。

i. （remote-file）promptが表示されたら、name of disired fileと通常それに次いで、sli（例えば、test.sli）をタイプして、ENTERを押す。

j. （local-fill test.sli in defanet）promptと表示されたら、ENTERを押す。（名前を変えたいとするのでなければ）、（FTPルーチンがファイルをプロセス・コンピュータに転送する。それは転送が完了する時にpromptする。）

k. FTPから出るには、（ftp）promptが表示されたら、BYEをタイプし、ENTERを押す。（スライスされたファイルは、SLA-1プロセス・コンピュータに転送されている。）

1. MAIN MENU は、転送が完了した後に表示される。

【0158】8. 3 クリティカル・ボリウムの挿入法

この手順は、クリティカル・ボリウムのセットアップの方法を示す。これらのクリティカル・ボリウムは、強度を増加するために、クロスハッチベクトルの上のレーザー光線の多重パスであるリベットを挿入するため、あるいは、他の特別な処理のために使用することができる。（この手順は、CAD物体にクリティカル・ボリウムがない場合は省略することができる。）

a. CADコンピュータ上で、物体のCAD表示を呼び出す。

b. 長方形の固体の4つの底の角について、CAD空間でのX、Y、Z座標を確認する。（クリティカル・ボリウム）

c. プロセス・コンピュータで、オプション5（編集装置ファイル）を選択し、ENTERを押す。

d. 新しいファイルをつくるオプションを選択する。— Turbo Basic が表示される。

e. 矢印キーを使用してWriteを選択し、ENTERを押す。

f. New Name promptが表示されたら、クリティカル・ボリウムの名について、box（例えば、tast.box）を入力し、ENTERを押す。

g. 矢印キーを使用してEditを選択し、ENTERを押す。

h. C: Test Box enter:promptが表示されたら、下記を挿入する。

<type>, <base>, <height>, <x1>, <y1>, <x2>, <y2>, <x3>, <y3>, <x4>, <y4>（必ず各項の間にコンマを入れること。適切な構文が重要である。）

ここで<type>は、囲まれた範囲内でのクロス・ハッチを固定するための“XV”、またはクロス・ハッチを無視するための“XI”である。<base>はスライス・スケールに相対するboxのbaseであり、<height>はbox高さである。<x1>, <y1>はboxの第1座標である。<x2>, <y2>は第2座標、<x3>, <y3>は第3座標、<x4>, <y4>は第4座標である。

i. ESC（escape）キーを押す。

j. 矢印キーを使用してFileを選択し、ENTERを押す。

k. 矢印キーを使用してSareを選択し、ENTERを押す。

l. 矢印キーを使用してQuitを選択し、ENTERを押す（新しい<patr>.boxファイルがクリティカル・ボリウムを確認するためにつくられている。）。

【0159】8. 4 スライス・ファイルの組合せ方

この手順は、物体と支援のファイルをベクトルと層制御ファイルに組合せる方法を示す。

a. ENTERを押す。— MAIN MENUが表示される。

b. オプション2（MERGE）を選択し、ENTERを押す。

c. Slice File Name promptが表示されたら、組合されるファイルの名前（名前の部分として、SLIが含まれる）をタイプし、ENTERを押す。（適合するならば、必ずクリティカル・ボリウムを含めること）

d. Output File Name promptが表示されたら、出力ファイルの望み名前をタイプして、ENTERを押す。（“xxx” endingは不用である）

e. ENTERを押す、プロセス・コンピュータがファ

イル（一度に1スライス）を組み合わせるのを待つ（プログラムは、組合せが完了するとプロンプトする。）。

【0160】8. 5 物体を作るためのSLA-1の操作方法

これらの手順は、反応容器の中で実際に物体をつくるためのプロセス・コンピュータの使用法を示す。反応容器の準備、組合せベクトルおよび制御ファイルの変更、省略パラメータの準備、部品製作（スーパーバイザ）プログラムの活用が含まれている。

【0161】8. 5. 1 SLA-1物体の組立ルール  
SLA-1を物体をつくるように準備するために、操作者は操作者のチェックリストを実行し、層制御（. L）ファイル（SUPER . PRM）を編集し、省略パラメータを準備し、スーパーバイザ・プログラムを次のように作動させなければならない。すなわち第一に、第1支持層の速度を通常の層を画く速度の3倍遅い速度に設定する。このことは第1層を昇降機の台にしっかり付着させることができるように充分硬化する。第二に、進行中の部品に不必要な応力を与えないように浸す速度を遅くする。第三に、こわれやすい層、台に近い支持の最低の層、大面積の層の後、樹脂の大きな気泡部分のある範囲、浅い浸漬深さの場合（薄い層厚さ）の場合は、さらに長く浸す。第四に単一パスを使用し、先に作られた層に0.006～0.008インチ（0.15～0.20ミリ）の過硬化を与える作業曲線からの露出速度を選ぶ。第五にパートログ（第17図の例）の中の重要なパラメータとコメントを記録する。（ユーザーは特別の要求に対して、顧客のパート・ログをつくることをすすめる。）プリンタがあれば、重要パラメータは永久記録用にプリントする。

【0162】8. 5. 2 省略パラメータにファイルの準備方法

この手順は、物体作成アクセスを制御するための省略パラメータ（. PRM）を準備する方法を示す。

- a. ENTERを押す。-MAIN MENUが表示される。
- b. オプション5（編集システムファイル）を選択し、ENTERを押す。
- c. Load File Name Prompt が表示されたら、ファイル名（SUPER. PEMのみ挿入）を入力し、ENTERを押す。
- d. 矢印をEdit blockまで移動し、ENTERを押す。値を省略パラメータ（SUPER. PRM）ファイルに挿入することができる。（コードの定義は、ソフトウェア・マニュアルを参照）
- e. 編集ファイルをやめるには、
  1. Esc キーを押す。
  2. 矢印キーを使用して、Fileを選択しENTERを押す。
  3. 矢印キーを使用してSaveを選択し、ENTERを押す。

す。

4. Qキーを押す。-MAIN MENUが表示される。

【0163】8. 5. 5 物体をつくるスーパーバイザの動かし方

ここで準備作業は全部完了した。この手順は実際に部品を作る方法を説明する。 a. プロセスコンピュータで、ENTERを押す。-MAIN MENUが表示される。

b. オプション4（スーパーバイザ）を選択し、ENTERを押す。

c. Part Prefix promptが表示されたら、部品ファイルの名前をタイプして、ENTERを押す。これがレーザーに第1層のトレースを開始させる。操作者用制御盤のSHUTTER OPENおよびLASER ON表示灯が点灯するのを確認する。

d. 第1層の形を監視する。

1. 物体が昇降機の台の中心にあるか？
2. 第1層が台に固着するか？
3. そうでない場合は、運転を中止して、問題点を修正する。

【0164】8. 5. 6 SLA-1物体の後処理

この手順は、容器から仕上った物体を取り出し、液をきり、硬化および乾燥させて、支持を取り除く方法を示す。

a. 容器から上げて予備的に液をきる。

1. プロセス・コンピュータで、ENTERを押す。-MAIN MENUが表示される。
2. ユーティリティ・メニューを選択し、ENTERを押す。
3. Z-stage Mover を選択し、ENTERを押す。
4. 非常にゆっくりと、矢印キー↑を利用して昇降機が反応容器の上端から51 inchのところまで上昇させる。物体を急激に上げてはならない。さもないと、ゆがみが生じる可能性がある。
5. 余分の樹脂が部品からしたたり落ちるように約15分待つ。
- b. 物体と台の取りはずし
  1. 吸収性の敷き物を専用の液ぬき皿に敷く。
  2. 液ぬき皿を昇降機の台の下にすべり込ませ、容器の一方の側の棚上に置く。
  3. キーボードの矢印キー↓を入れたり切ったりして、昇降機の台を吸収性敷き物の上約1/4 inchのところまでおろす。
  4. 昇降機軸のノブの1個をCCW1回ひねる。これは昇降機軸の内側のねじのついた棒を昇降機台の一方の側のねじ穴からゆるめ、部分的に台をゆるめる。
  5. ステップ（d）を反対側の昇降機軸のノブについても行う。
  6. ステップ（d）および（e）を交互に行って、台が

軸からはなれて、1 inch何分の1か落ちて吸収性敷き物の上にのるようにする。

7. 必要ならば、キーボードの矢印キー↑で昇降機軸を上昇させる。

8. 液ぬき皿、台および取り付けられている物体を容器室から取り除く。できれば、硬化していない物体に横応力を与えないように台は水平に保っておく。

c. オープン液抜き

1. 昇降機の台と物体をオープンの中に入れる。

2. 温度を80℃～90℃に設定して、1時間待つ。

3. 上向きおよび下向きの表面に付着している余分の液状樹脂を綿棒で注意してふき取る。

d. 後硬化

1. 昇降機の台と部品を紫外線投光オープンに入れる。

2. 物体に紫外線を乾燥し粘りがなくなるまであてる。

3. 目の細い鋸を使用し、物体を台に取り付けている底部の支持を鋸で切ることによって、物体を昇降機の台からはずす。この手順の間、物体が応力や初期衝撃をうけないように保護する。

4. 次に進む前に「鋸くず」や支持のかけらをすべて掃除する。

5. 物体をさかさまにして、（またはこれができなければ、物体を横にして）ステップ1および2を繰り返す。

e. 台の交換

1. 物体をはずした後にまだ昇降機の台に付着している乾燥した樹脂をかき落とす。台のねじ穴に#10-32のタップでねじを切る必要があるかもしれない。2. 空の台を液抜き皿にのせる。

3. 液抜き皿を棚上のSLA-1容器室に入れ、容器の上にできるだけ中心におく。

4. キーボードの矢印キー↓を非常にゆっくりと入り切りして昇降機軸のねじを切った棒が台に非常に接近するまで下げる。軸のねじを破壊するので、軸が台または皿の方へ行かないようにする。

5. 皿と台を、台のねじ穴が、正確にねじ棒の下になるよう調節する。

6. キーボードの矢印キー↓をゆっくりと入り切りして、ねじ棒が静かにねじ穴に接触するようにする。

7. 昇降機軸のノブの1個をCEW? (前出) 1回ねじる。これにより昇降機軸内のねじ棒は回転し、盤のねじ穴とかみあう。

8. 反対側の昇降機軸のノブについても、ステップ7を繰り返す。

9. 台が液抜き皿からはなれ、昇降機軸の底にしっかりと接触するまで、ステップ7と8を繰り返す。

10. 盤を軸に固定するために、昇降機軸のノブを備える。内部のねじ棒を折ってしまうので締め過ぎないこと。

11. キーボードの矢印キー↑を入り切りして昇降機を上昇させる。

12. 液抜き皿を取り除く。

f. 支持の取りはずしと仕上げ

1. 横切りペンチで支持を注意しながら切りはなす。

2. 適当なやすりで荒い表面を注意しながら滑らかにする。

3. 要求通りに表面を仕上げる。

【0165】8. 5. 7 停止手順

a. OVEN LIGHTスイッチをOFF (下) にする。OVEN LIGHT表示灯が消灯するのを確認する。

b. POWER ONスイッチをOFF (下) にする。POWER ONおよびその他の表示灯が消灯するのを確認する。

8. 5. 8 作業曲線の作り方と使い方

液状プラスチックが固化されうる程度は、次の3要因で決定される。すなわち、(1) 使用される樹脂の種類、(2) レーザーの出力、(3) レーザーの焦点整合の程度。操作者は、作業曲線を作ることによって、これら3要因の変化を相殺するようにレーザーの作画速度を調節することができる。したがって、新しい樹脂材料を使用する毎に新しい作業曲線を準備しなければならない。そうしないと、パートログに示されているようにレーザー出力にかなりの損失を生ずる。作業曲線は、ステップの時間(レーザー作画速度)や省略パラメータと層制御ファイルの中のステップの大きさを変更するのに使用される。

a. キーボードの矢印キー↓を入り切りして、昇降機の台を樹脂面の1 inch下まで下降させる。作業曲線を作るのに使用されるバンジョー・パートは樹脂表面に自由に浮んで準備される。

b. プロセス・コンピュータで、ENTERを押す。MAIN MENUが表示される。

c. ユーティリティー・メニューを選択して、ENTERを押す。

d. Banjo を選択し、ENTERを押す。メニューにしたがって使用される最大ステップ時間(SP)を入力する。SLA-1はbanjo を容器中に準備する。

e. banjo 部品が完成した後、乾燥し硬化させる。

(8. 5. 6項)

f. 顕微鏡を使用して各ストリングの水平幅を測定する。

g. banjo 部品を横に切って顕微鏡を使用して各ストリングの厚さ(深さ)を測定する。

h. 作業曲線上に(第18図の例)選ばれたステップ時間(例えば、40、80、160、320および640)で高さと幅をプロットする。最低のステップ時間は最も薄いbanjo stringをつくり、最高のステップ時間は厚いbanjo stringをつくる。

i. 他のbanjo は、作業曲線の範囲を拡げるために、異なったステップ時間でつくることができる。

j. 両方の作業曲線を形成するために5個以上の点を結ぶ。

k. 作業曲線は、各スライスに対して、ステップ時間とステップの大きさを選択するのに使用することができる。

1. 選択したステップ時間とステップの大きさを省略パラメータ・ファイルに挿入する。(8. 5. 2項)

以下に、ここで使用した用語について簡単に説明する。

「60/120アングル・ハッチ」標準のXおよびYハッチングを捕捉するクロスハッチ型の1種。

【0166】「バンジョ (banjo)」部品の作成と測定の時、作業曲線用にライン高さおよびライン幅のデータを与える部品

「BASES (支持)」実際の物体が作成されている時に、構造支持を提供するCADによってできた構造。

(Websを参照)

「ビーム・プロファイル」レーザー光線エネルギーの空間的分布

「輪郭」部品のスライスされた層の壁を定義するベクトルのブロック。

【0167】「CAD (Computer aided desing.)」コンピュータ援用設計

「DENTERING」自動的に部品を空間の中心に位置させるスライス・ルーチン。これは、ただ1つのスライス・ファイルで物体が定義される場合にだけ行われる。ソフトウェア・マニュアル参照。

【0168】「CLIFF」BASICプログラムで主に使用されるソフトウェア・プログラム。データをSTereoに転送することによりDOSシェルからの直接の指令を使用して鏡を動かすのにも使用できる。

【0169】「クリティカル・エリア」組合せの前にテキスト・ファイル中で定義された座標をもつ物体内のエリア。このエリアはリベッティングなどの特別の属性をもつことができる。ソフトウェア・マニュアル参照。

【0170】「クロスハッチ」壁に対する構造的完全さを与える一般的内部ベクトル・タイプ。使用されるパターンはスライスの間に決められる。ソフトウェア・マニュアル参照。

【0171】「CURL」物体の不正確の原因になる物体作成中に時々遭遇する影響。

【0172】「浸漬加速」昇降機の浸漬速度を決める物体作成変数。必要であれば層毎に変更することができる。

【0173】「浸漬遅延」浸漬ルーチンの開始と次の層計算（およびレーザーの動き）の間の遅延を決める部品作成変数。層毎に変更することができる。

【0174】「浸漬深さ」浸漬中に昇降機が下方に移動する距離を決める物体作成変数。

【0175】「浸漬速度」昇降機の最大速度を決める部品作成変数。

【0176】「作画速度」レーザーの作画速度は、スーパーバイザの変数ステップ時間とステップの大きさによって決められる。これは、レーザーの厚さ、樹脂の種類、レーザーの出力によって変化する。使用される作画速度は、作業曲線の使用によってきまるのが典型的である。

【0177】「動的鏡」検流計ベクトル走査鏡で、SLA-1のソフトウェアで制御されている。レーザー光線の動きはこれらの鏡の回転によってきまる。

【0178】「昇降機」垂直に動く装置で、昇降機の台や部品がこれに取り付けられる。

【0179】「イーサネット」ファイル転送ソフトウェア・システム。大容量ファイルの移動を容易にする。

【0180】「フットプリント (足跡)」昇降機の台に直接付着している支持の底部。

【0181】「素地部品 (グリーン部品)」最終的に後硬化されていないレーザー硬化部品。

【0182】「ハッチ・スペース」スライス中に決まるクロスハッチングの間隔

「HeCd」ヘリウム・カドミウム

「Lファイル」merge generated 制御ファイルで、すべての層毎のベクトル・ブロック識別情報を含んでいる。個々の層パラメータはLファイルの中で変更できる。

【0183】「LASER」レーザー制御装置のソフトウェア。液状の光重合体を重合させるのに必要な光エネルギーを与える装置でもある。

【0184】「層厚さ」layer to layerの浸漬距離である。物体全体に対して1つの値であるか、または、物体を通して何回も変更される。(可変の層厚さ参照)

「平坦化」樹脂が浸漬によって分布された後、平坦な表面に落ちつく時間と温度によって決まるプロセス、平坦化する時間は、浸漬遅延変数によって決まる。

【0185】「ライン高さ」レーザーで硬化したプラスチック・ラインの垂直厚さ。作画速度とレーザー出力/焦点距離によって変化する。

【0186】「ライン幅」レーザーで硬化したプラスチック・ラインの幅。作画速度とレーザー出力/焦点距離によって変化する。

【0187】「組合せ」物体用の個々のスライスされたファイルを取り、それらを組合せるソフトウェア・プログラム。スーパーバイザが物体を作るのに使用するLおよびVファイルをつくる。

【0188】「MIA」最小交差角で、スライス中に層の境界に平行なハッチ・ベクトルを削除するのに使用される。ソフトウェア・マニュアル参照。

【0189】「モジュラス」全体のじん性を決める、材料の物理的特性。

【0190】「モノマー」化学上の種類で、一般に小さい分子量をもち、重合体をつくるための成形ブロックとして使用される。

【0191】「MSA」最小表面角でスライス中に使用

される。ソフトウェア・マニュアル参照。

【0192】「MSHA」鉱山安全および健康局  
「NIOSH」国家職業安全および健康協会  
「PHIGSフォーマット」三角形を使ってCAD表面を定義するソフトウェア・プログラム。

【0193】「光重合開始剤」レーザー・エネルギーを化学エネルギーに変換して、重合プロセスを開始させる薬剤。

【0194】「光重合体」エネルギー源として光を使って作られる重合体。

【0195】「後硬化」物体を硬化するのに使用されるプロセス。後硬化は、紫外線または熱によって行うことができる。

【0196】「ポット寿命」1ポットの化学薬品の予想有効寿命で、薬品の安全性その他の要因によって決まる。

【0197】「1次基」レーザー光線が重合開始剤に吸収された時に形成される初期の基の種類。1次基が重合プロセスを開始させる。

【0198】「ラジアル・クロスハッチ」クロスハッチの特殊なタイプで、一般に最上の全体強度と支持を与える。(クロスハッチ参照)

「ラジオメーター」レーザー出力の測定をする装置

「樹脂」液状光重合体

「RIVET」物体作成プロセスであって、ひずみに関係した誤りが起こりがちの重要な場所を使用することができる。

【0199】「目盛係数」XY空間を大きくしたり、小さくしたりするのに使用できるスーパーバイザの変数。垂直方向の寸法には影響しない。

【0200】「敏感性」ある個人が一定の薬品に繰り返し皮膚を接触させると生ずるエネルギー反応。

【0201】「皮膚(表面ぬり)」物体の水平(平坦)または水平(平坦)に近い部分のコーティング。

【0202】「SLA」stereolithography Apparatus 立体造形装置

「スライス(SLICE)」CADで設計した三次元の物体を、一連の二次元の層(薄片slices)に変換するソフトウェア。

【0203】「SMALLEY」CADで設計された応力除去(緩和)された構造。

【0204】「ステップ時間」レーザー作画速度を決めるのに役立つスーパーバイザの変数。ステップ時間を増加すれば、速度は遅くなる。(プラスチック・ラインの高さと幅が大きくなる。)

「ステレオ(STEREO)」レーザー制御装置ソフトウェアのメモリ常駐部分。

【0205】「STLファイル(STL FILE)」スライス用入力として使用されるPHIGSフォーマットCADファイル。

【0206】「スーパーバイザ(SUPERVISOR)」物体作成中に鏡を動かしたり、Z-ステージを上下に動かしたりするための変数やデータの経過を管理するソフトウェア。

【0207】「引張強さ」材料を引き伸ばすのに必要なエネルギーを規定する材料の特性

「TRAPPED VOLUME(気泡部分)」浸漬中に樹脂が流れ落ちない物体の部分。

【0208】「ユーザー・インターフェース」スライス・プログラムを制御し、実行するのに使用されるメニュー・駆動ソフトウェア。

【0209】「.Vファイル」すべての層毎にベクトル情報を含んでいるmerge generated file. ソフトウェア・マニュアル参照。

【0210】「可変層厚さ」強さまたは精度を改善するために、異なった浸漬深さや層厚さを使うことを可能にするプロセス・ツール(手段)。スライス内で制御される。

【0211】「ウェブ」CAD設計者によって設計された一種の支持構造で、必要に応じて強度を増したり、支持を追加したりすることができる。

【0212】「作業曲線」パンジョートップで与えられたライン高さおよびライン幅のデータを線状に画いたもの。レーザー出力とともに、作画速度情報を得るのに使用される。

【0213】立体造形装置(SLA)について第二の実施例を示す。

【0214】(第二の実施例)3Dシステムズ社の立体造形装置(SLA)は、CAD/CAM/CAEシステムで設計・記憶された三次元モデルを設計エンジニアが容易に製作することができる新しいCAP(コンピュータ援用プロトタイピング)製品である。SLAは、設計者のワークステーションと連係して、便利な、容易に設置できる、真に統合されたCAD/CAM/CAE環境を実現する。

【0215】第64図に、SLAを用いて製品を製造するために必要な手順の概要を示す。

【0216】SLAを用いて物体を製造するには、設計者はまず本システムを利用してその部品のモデルを入力する。

【0217】通常、この物体は、約0.1インチ(約2.54ミリ)の肉厚と、プラスチック製作材料へのCADモデルの正確な転移を保証するための支持構造を必要とする。この支持構造は、CAD設計者または、近い将来にはSLAユーザー自身によって付加することができる。

【0218】さらに、CADシステムに入力されるモデルは、製作中に特に注意を要する表面や構造上の特徴を有する場合がある。初めに、設計者は、手作業によりこれらの領域にフラグを立てるか、物体設計を修正することが求められる。ソフトウェアが進化するにつれて、こ

うした特殊なケースもその多くがしだいにSLAコントロールに組み込まれると思われる。潜在的な構造上の問題は、モデルの表面の領域も強調される点であろう。現在、これらの領域は、その後の処理用のSLAソフトウェアにそのまま渡される属性に割り当てられている。

【0219】モデルは、現在、CADシステムによって使用される内部フォーマットから、小平面化された表現に翻訳されなければならない。近い将来は、IGESワイヤフレーム表現に翻訳されるようになるだろう。しかし、現在、3Dシステムズ社によってサポートされているフォーマットは、小面化表現だけである。このデータ構造は、PHIGS (Programmers Hierarchical Interactive Graphics Standard プログラマー階層会話形図形処理規格) という図形処理規格にほぼ従っている。第65a図～第65b図は、この比較的冗長な規格のフォーマットを示している。以下の項目は、現在の小面表現の詳細を概略したものである。それ以上の詳細は間もなく発表されよう。

【0220】各小面の法線には、固体の表面から出発しなければならない単位法線が含まれる。例えば、0.1インチ(2.54ミリ)の肉厚を持つ球の場合、(通常、製作される)内面または壁を表す小面には、内側に向かう、それに対応して、外面には外側に向かう法線がある。

【0221】さらに、三角形の頂点は、右回転の原則に従って三角形の法線の方角を与えるように順序づけられる。法線がまず規定され、次に3頂点が、その後小面の属性が規定されることに注意すべきである。

【0222】内部的には、法線の*i, j, k*成分およびその9つの頂点の座標は、それぞれ、8ビットの指数および24ビットの仮数から成る、32ビット単精度浮動小数点数によって表示される。これは、8有効数字以下の仮数を持つ浮動小数点値となり、それにより、PHIGS規格の使用可能な精度に上限を与える。

【0223】より厳密な表面仕上りの要求のために、小面の数が100,000を超えることが考えられるので、小面のデータの圧縮形式が行われる。この圧縮データファイルは、法線成分および頂点座標が、Intel 80287 数学コプロセッサに互換可能な2進浮動小数点フォーマットであることを要求する(第66図参照)。

【0224】このフォーマットは、法線を規定するために3つの32ビット値を、三角形の頂点を規定するために合計9つの32ビット値を使用し、属性には、三角形小面当たり合計50バイトで、16ビットの符号のない整数を使用する。

【0225】属性に関する前記3について再び言えば、設計者によって識別されたモデルの属性は、小面レベルでSLAシステムにそのまま渡される点に注意しなければならない。大形のモデルの場合、SLAソフトウェアに対して数百の属性が完全に定義されることになる。

【0226】CADシステムからSLAへの小面データ

および関連属性の物理転送は、高速データリンクによって行われる。構内転送は、エクセラン(Excellan)イーサネットデータリンクによって行われる。このデータは、19.2K ボーのRS-232データリンクまたは、フロッピーディスクでも転送できるが、転送データ量が大量なので、高速データリンクのほうが望ましい。

【0227】この小面化データファイルは、この時SLAに常駐し、スライシングプログラムへの入力として使用される。モデルのスライスすなわち層は、通常、モデルの壁を強化するためのクロスハッチ、モデルの表面をつける外皮、小面属性によって識別された問題領域を与える特殊な種類の製作ベクトルを含む。

【0228】スライスされたモデルは、ここで、SLAスーパーバイザに転送される。このプログラムは、實際上モデルの製作に責任を持つ。スライスデータをSLAのレーザーに命令するミラーに送り、SLAエレベータを制御することによって、スーパーバイザはCADモデルを1度に1層製作することができる。スーパーバイザのその他の機能としては、SLAレーザーの特性を与え、レーザー速度をプラスチックの感光性に適合させ、困難な属性のフラグの立っている領域の製作を調整することがある。

【0229】CADプログラムは、以下に説明する特定のフォーマットのファイルを生成できなければならない。通常、このファイルは、極めて大きな規模(数十万バイト)のファイルであり、イーサネットなどの高速データリンクによってNEC 386 ベースの立体造形コンピュータに転送される。RS-232およびフロッピーディスクによる小規模ファイルの転送も可能ではあるが、勧められない。

【0230】SLICE入力フォーマットは、PHIGS (プログラマー階層会話形図形処理規格) という図形処理規格にほぼ従っており、いくつかの点で改善してある。第1に、すべての数値データは2進形式に圧縮でき、それにより記憶ファイルの大きさを大幅に低減し、立体造形コンピュータへのデータ転送時間を短縮する。第2に、特殊な部品製作属性のサポートによって、一定の特徴を小面に“付属する”ことができ、そのパートメーキングスーパーバイザにそのまま高速で渡される。SLICEフォーマットは、頂点の情報の負または0の値はサポートしない。

【0231】SLICEフォーマットに従うファイルは、拡張子“.STL”を持つ、すなわち、ファイル名の後に“.STL”を付けなければならない。

【0232】ファイルは、ASCIIまたは2進形式いずれかで記憶できる。ASCII形式の使用が勧められるが、現在、STLファイル作成ソフトウェアを開発しており、その後、2進形式のリリースに向けて転換する予定である。

【0233】ASCII形式STLファイルの例は以下の通りである。これは単純な四面体を定義するものであ

る。

#### 【0234】

```
solid solid_Tetra. 2
  facet normal -100
    outer loop
      vertex 000
      vertex 001
      vertex 010
    endloop
  endfacet
  facet normal 0-10
    outer loop
      vertex 000
      vertex 100
      vertex 010
    endloop
  endfacet
  facet normal 00-1
    outer loop
      vertex 000
      vertex 010
      vertex 110
      attribute 16
      attribute 9
      attribute 22
    endloop
  endfacet
  :
endsolid solid_Tetra. 2
```

2進構造と異なるASCII形式STLファイルの重要

(ファイル上部)

80バイト—部品名、注釈などを含む一般情報

4バイト

2ワード—小面のレコード数、各小面レコードは1三角形を定義する。

第1の小面のレコード：

6ワード—法線ベクトル

2ワード—i座標

2ワード—j座標

2ワード—k座標

18ワード—三角形の頂点

2ワード—x1

2ワード—y1 } 第1の頂点

2ワード—z1

2ワード—x2

2ワード—y2 } 第2の頂点

2ワード—z2

2ワード—x3

2ワード—y3 } 第3の頂点

2ワード—z3

1ワード—属性数

な構造は、数値データの型を識別するためのワードの使用である。小面の法線および頂点の情報は、浮動小数点とすることができ、43.332382912および1.304E+3のような数が受入れ可能である。負の数および0は頂点の情報については受け付けられない。数が科学技術的回転に関するものである場合、指数にはEまたはeしかサポートしていない(指数にDは使用できない)。小面の法線は単位ベクトルでなければならない。2つのデータフィールドの間には1以上のスペースを置かなければならない。

【0235】1ワードは16ビット、2バイトであると仮定している。2進形式STLファイルの正確なフォーマットは以下の通りである。

#### 【0236】

## &lt;特殊属性&gt;

このワードは0に設定しなければならない。

： ： ：

STL二進フォーマットは、構造の点でASCII形式に同様である。1つの小面のレコードの次に別のレコードが続き、各小面レコードは単位法線、三角形の3頂点そして選択的にいくつかの属性から成る。現在、まだ属性をサポートしていないので、属性カウントワードはゼロに設定しなければならない。

【0237】小面のレコード数および属性の各数についての2進フォーマットは、単に符号のない整数である。法線および三角形の頂点は、3バイトの仮数および1バイトの指数から成る、4バイトの8087実数フォーマット

|                |   |           |   |        |
|----------------|---|-----------|---|--------|
| CADシステム        | → | SLA-1     | → | 後硬化装置  |
| 1. CAD設計       |   | 4. スライス   |   | 9. 後工程 |
| 2. 配向および支持     |   | 5. ネットワーク |   |        |
| 3. CADインターフェース |   | 6. マージ    |   |        |
|                |   | 7. 準備     |   |        |
|                |   | 8. 製作     |   |        |

## CADシステム

CAD設計（ステップ1）においては、部品は立体造形に特定の指令なしで、CADシステム上に、固体もしくは表面モデルとして設計される。

【0241】配向および支持（ステップ2）においては、CADモデルは立体造形用に3Dスペース（CADシステム内で）において配向される。ベースおよび支持は部品の製造中、固定および支持されるよう設計される。

【0242】CADインターフェース（ステップ3）においては、CADモデルは立体造形用にフォーマットされているファイルを生成するためのインターフェースを通して、加工される。これらの・STLファイルはこのCAD設計におけるすべての表面の一般的表現である。立体造形装置

スライス（ステップ4）においては、3次元物体を表現する立体造形（・STL）ファイルがスライス・コンピューター上で横に断面され、ユーザーが定めた厚さの層を生成する。ネットワーク（ステップ5）においては、スライスしたファイルはスライス・コンピューターから、エターネットまたはフロッピーディスクを通して制御コンピューターに送られる。マージ（ステップ6）においては、SLA-1を運転するため、物体用にスライスしたファイル（即ち、支持体および物体自体用のすべてのファイル）を組み合わせ、再フォーマットする。

【0243】準備（ステップ7）においては、物体製造上のパラメーターは、その物体の幾何図形的配置および末端の使用法に必要とするよう、ユーザーによって設定される。

【0244】製作（ステップ8）においては、物体は、焦点の合ったレーザー光線が光硬化性樹脂の表面を水平

である。

【0238】以下のファイルTEST 0017.STL のリストおよび第67図を参照されたい。

【0239】立体造形装置について第三の実施例を示す。

【0240】（第三の実施例）

## 1. 立体造形プロセス

この立体造形システムは第33図に示す如く、3基のハードウェアシステムについて、主要な9段階から成っている。

に移動する時にひとつの層が形成され、その結果光が当たっている箇所の液体が固化する。最初（最下位）の層は、樹脂表面の丁度下にある水平の台に接着する。台はエレベーターに取付けてあり、コンピューター制御で、下降する。最初の層を描いた後、台は液体の中に少し浸り、その結果、薄いフィルムは次に形成することになる。第二の層から離れる。液体表面を同じ高さにするための一時停止の後、次の層を描く。樹脂には付着性があるので、第二の層は第一の層にしっかりと接着する。

【0245】このプロセスはすべての層が描かれて、3次元物体を形成するまで繰返される。レーザー光線にさらされなかった樹脂が次の部品製作用にタンクの中に残存する。原料のロスは僅かである。

## 【0246】後硬化装置

後プロセス（ステップ9）においては、物体は、過剰の樹脂を分離するため液排出を行い、紫外線硬化によって重合化プロセスを完了して、支持装置から分離する。サンディング（磨き）、工作モデルへの組立て、および塗装などのオプション仕上げも実施できる。

## 【0247】

2. 立体造形システム（第34a図、第34b図参照）  
立体造形装置

SLA-1の主たる構成要素は第35図に示す如く、制御コンピューター、レーザーおよび光学システム、プロセス・チャンバー（製作室）、制御パネル、スライス・コンピューターから構成されている。

【0248】制御コンピューターは、MSDOS基準の286コンピューター（単一のユーザーに対して単一のタスク）、モノクロームターミナル、40メガバイトハードディスク、36～38メガバイト用に使用可能なディスクスペース、エターネットインターフェースから構

成されている。ネットワークから製作まで、すべての立体造形プロセスは制御コンピューターで作動する。プログラムおよび運転のパラメーターは操作を容易にするため、メニューから選択される。

【0249】SLA-1のレーザーおよび光学システムはプロセスチャンバー（製作室）の上に直接、設置されている。これらの構成要素がコンピューター制御のもとに、液状樹脂の表面上にレーザー光線を発生、照射する。

【0250】ここで使用しているレーザーは、SLA-1ヘリウム・カドミウム（HeCd）を使用する多様式の紫外レーザーである。レーザー光パワーは可変で、名目上、波長325ナノメートルにおいて15ミリワットである。

【0251】第36図に示す如く、SLA-1の光学的システムは、シャッター組立部品、90°角ビーム転換鏡2個、ビームエキスパンダーから成り、更にX-Yダイナミックミラーが光学台の上に取付けられている。直径2インチ（50.8ミリ）の精密な光学窓によって、レーザー光線が、製作室の環境から光学的要素を隔離している間、その中に入る。

【0252】インターロック・スイッチが作動している時、ソレノイド始動のシャッターが稼働してレーザー光を閉鎖する。インターロック・スイッチはレーザー光および光源系カバーの除去と製作室ドアの開きを監視する。

【0253】90°角ビーム転換鏡は他の大部分の波長を吸収すると同時に、特に波長325ナノメートルにおいて高い反射能をもつよう塗装されている。第一ビーム転換鏡はレーザー装置からのビームをビームエキスパンダーの導入開口部へ反射する。第二転換鏡は放出側ビームエキスパンダー開口部からダイナミックミラーに、レーザー光を反射する。

【0254】部分的に修正されないレーザー光は遠くへ、僅かに発散する。立体造形においては、硬度に焦点の合ったビームが要求される。この場合、ビームは高いパワー密度を持ち、それによって、より大きい深さで、またはより速い速度で樹脂を硬化するからである。ビームエキスパンダーは発散レーザー・ビームを入射の直径の4倍にまで拡大し、更に樹脂の表面上の小点にビームを集中させるよう、焦点を合わせる。

【0255】高速度ダイナミックミラーは、コンピューター制御によってレーザー・ビームを屈折させ、樹脂表面上にベクトルをトレースする。ダイナミックミラーはビーム転換鏡と同様、325ナノメートルのビームを高度に反射すると共に他の大部分の波長のものを吸収する。

【0256】環境的にコントロールされた製作室はエレベーター、台、樹脂タンクおよびビーム走行装置を保有していて、ここで、立体造形の部品を製作する。

【0257】部屋は運転者の安全と運転のために統一された条件を確保するよう設計されている。空気は活性炭で濾過され、循環している。天井の光は樹脂タンクおよび作業表面を照明する。入口ドアのインターロックはシャッターを始動させて、ドアが開く時に、レーザーを遮断する。透明なアクリル樹脂製ドアは運転者の安全な観察のため、紫外線を遮断する。

【0258】エレベーターはコンピューターにより、部品を上げ下げする。台は部品を製作している間、これを支持している。

【0259】樹脂タンクは縦、横、高さとも9インチ（228.6ミリ）で、部屋の中、エレベーターおよび台と並べて誘導装置上に設置されている。オーバーフロー・システムが、一定の液体樹脂のレベルを保持するよう、過剰の樹脂を分離用の容器に送る。

【0260】ビーム走行器2基が製作室に配置され、1基が樹脂タンクのどちらか一方の側に取付けてある。ビーム走行器は、コンピュータ制御により、レーザー・パワーおよび強さを測定する。

【0261】SLA-1の制御パネルは動力用スイッチ、オープンライトスイッチ、レーザー運転指示器、シャッター指示器を保有している。

【0262】動力用スイッチは、レーザ装置の第一次動力用、製作室および制御コンピューターの電源用スイッチである。

【0263】オープンライトスイッチは、製作室の運転および停止時の天井光用のスイッチである。

【0264】レーザ運転指示器は、レーザー照射を示し、シャッター指示器は、レーザー照射時、シャッターが開いていることを示す指示器である。

【0265】スライスコンピューターは、UNIX基準の386コンピューター（マルチ・ユーザー、マルチ・タスク）、モノクローム・ターミナル、クロメガバイトのハードディスク、\_\_\_\_\_メガバイト用に使用可能なディスク・スペース、エサネット・インターフェースから構成されており、SLIファイル作成のため、横断面・STLファイルに使用される。

【0266】ポストキュア装置（PCA、第34b図参照）はSLA-1を使用して物体を硬化、製作するのに用いる、この装置は周囲が取り囲まれた、排気口付きの部屋の中で物体を紫外線照射する。PCAは縦、横、高さ何れも12インチ（304.8ミリ）まで測定することができる。主な構成要素は第37図に示す如くである。

【0267】リフレクター付の400ワットのメタルハライド・ランプ3個は、最適硬化条件に適するように室内に設置されている。ランプは750時間の定格寿命を保有している。回転盤は均一な硬化を行うため、物体を毎分1回転させる。物体を積載したり、下ろしたりするために前部およびトップにあるドアが2個設置されて

おり、ドアがインターロックされるとUVラップが切れ、開かれると回転する。また、安全に物体を監視できるようにUV光を遮断する窓が設けられている。さらに240CFM（毎分の硬化フィート数）可能な冷却および排気用ファンと、電源スイッチおよびタイマー付の制御パネルが設置されている。

【0268】3. 立体造形—開始より終了まで

### 3.1 CAD設計

表面：対象物は、取り囲まれた容積を明白に限定した境界の表面として表現されなければならない。即ち、モデルデータは対象物体の内部がいかなる固形材料であり、且つあってはならないかを規定しなければならない。すべての水平断面が物体の内部と外部を完全に分離する境界カーブからなることが必要である。

【0269】CAD解像度：カーブした表面（例えば球体、円筒）を持つ物体を形成している時、その曲面は多数の多角形または切り子面に近付いていることすなわちCAD解像度に留意しなければならない。表面がより多く、よりきっちりとなれば仕上り部品はよりスムーズな曲面になる。しかし、より多数の多角形または切り子面はスライスする時間およびその結果として、ファイルの量を増大させる。一般に許容し得る最低の解像度を使用することが好ましい。

【0270】壁厚：ウェブの最小の推奨の壁厚は0.02インチ（0.51ミリ）である。壁厚を0.02インチ（0.51ミリ）より小さくするには特殊な環境下でのみ達成できる。絶対的最小の壁厚はレーザー光線幅の2倍である。

### 【0271】3.2 配向および支持

CAD物体は立体造形用として、正のX、Y、Zの3軸空間内に完全に入らなければならない。また、物体とCAD起点との距離および支持構造の高さを最小限度となるように配向するものとする。

【0272】物体は効果的なドレイン（液の排出）のため、台の上、少なくとも0.25インチ（6.35ミリ）の位置に設置しなければならない。しかしながら、支持体が過高になると、製作に長くなり、また制作中に物体の重量が増加するためゆがみが生ずる。従って対象物の高さを最小限度にして、これによって製作すべき層の数を減らし、操作時間を減らす。また物体のドレインを最適にするよう、傾斜のある表面の数を最小にする。

【0273】これらの表面は重なった層を形成するので、表面は各層の厚さが階段の高さである“段付きの階段”の様相を呈する。なめらかさ、もしくは美感に重要な表面は、垂直に配向するか、または上向きおよび水平に配向することを確実にしなければならない。（垂直的および上向きの水平的表面は下向きの表面よりなめらかである）。

【0274】物体製作中の仕込み液量は最小限にする。

仕込み液が多すぎると、浸漬した後、液状樹脂を均一な高さに設定、平等化するために、必要とする時間が長くなり物体製作プロセスを遅らせる。

【0275】物体がレジン・タンク中で確実にフィットするようにする。物体が大き過ぎる場合は、いくつかの運転に分割して製作し、後処理中に再組立てを行う。

【0276】これらの各要因の重要性は部品の製作の目的によって決定される。

【0277】立体造形の対象物体はエレベーターの台上よりも、むしろ直接的に支持体の上で製作する。支持体を使用する主な理由は次の通りである。すなわち、第一に台から物体を分離しやすくするためである。これは物体を後工程中で分離しやすくする。

【0278】台がたとえ、それたり、不適切に設置されても物体の第1層が均一の厚さになる。

【0279】第二に樹脂が台を通して早く排出することができるようにするためである。このことは、物体が浸漬した後、樹脂の表面がより早く平等化するため、物体製作の必要な時間を短縮する。さらに、完成物体から過剰な樹脂を早く排出させて、後工程の時間を短縮する。

【0280】支持体としては、以下が共通タイプとして使用できる。

【0281】直線ウェブは、非常に薄い長方形、もしくははひれ状で通常、0.002インチ（0.051ミリ）より薄く、直線ウェブは単一の表面ではなく、容積によって限定されなければならない。

【0282】クロスウェブは、直角に交差する二つの直線ウェブでつくる。十字ウェブ支持体は直線支持体よりも強い。

【0283】円形ウェブは、物体に張力に接着する中空のチューブである。円形ウェブは直線および十字ウェブ支持体より重い重量を支持する。しかし、この支持体はより多くの三角形を必要とし、多くのメモリーを使用する。

【0284】三角形ウェブは、3本の直線ウェブで三角形を形成している。これら支持体は頂点を交差する直線ウェブと共同して使用できる。三角形ウェブは他のすべてのタイプの支持体よりも強力である。

【0285】以下に、CADモデルの配向と支持について実施例を示す。

### 【0286】実施例1

第7b図および第7a図に示すように、中実の球体の底部の近くでは層の輪郭ベクトルは後に続く各層毎に、直径が急速に増加する円から成り、他のベクトルが描かれるまで、多くの層の境界線は液体表面上で自由に浮いている。液体中の空気および対流の流れがそれらに漂流を起こさせ、位置を変えさせる。球体の赤道部まで延びる支持体を付加することによりこの問題を解消することができる。赤道より上の層の輪郭は、前に形成された層のクロスハッチ上に直接形成され、これにより追加の支持

体を必要としないで、しっかりと固定される。

#### 【0287】実施例2

第8a図～第8b図に示すような、一端のみが固定されたビームの第1層は、部品が浸漬している時に受ける液体の静的抵抗のために、永久的に変形することがある。更にその層は次の層が形成される時に上方にカールする。これら2つの問題は、支持体を追加することによって解消する。

#### 【0288】実施例3

ティーカップの取手の第1層（第9a図～第9b図に示す）は形成中、完全に本体から離れて付着しないため、部品が浸漬している時は漂流してしまうであろう。そこで支持体はエレベータ台、もしくはティーカップ本体に固定された面を提供し、その上に取手を製作することができるようにする。

【0289】製作用支持体で注意すべき点は、支持体は完全に正のCADスペース中に包含されなければならないということである。また底部の支持体は約0.040～0.060インチ（1.02～1.52ミリ）まで物体の底部の層に重ね合わせなければならない（典型的に2～3層）。さらに側面の支持体も、強力な支持構造を得るため、物体に重ね合わせねばならない。

【0290】一般に支持体は単一のCADファイルの如く、物体用ファイルと分離して、総合的に設計される。支持体は立体造形用に設計され、配向された後、物体に関連して位置決めされる。（物体および支持ファイルは併合され、立体造形プロセスの中で後に単一のファイルとして描かれる。）CADシステム中に内在する支持体のライブラリは、各物体に独特の支持体の設計の必要性を減らすことができる。いかなるケースでも、次のガイドラインに基づいて設計され、また物体に付属するものとする。

【0291】配置：支持体の配置は物体が製作できる強固な基礎を提供するために必要とする位置に置くものとする。支持体は上記実施例で説明したように他の表面を固定し、強化するのに付加されなければならない。出来得れば、美感または滑らかさを必要とする機能的理由のため、物体の表面上に支持体を置くことは避けるべきである。物体を後硬化し、支持体を分離した後、物体の尾根部は通常、物体の表面上に残る。（しかしながら、尾根部はカットし、サンドリングもしくは研磨し、掃除することができる）。支持体は、エレベータの台と同様に、物体の強い断面に取り付けることができる。

【0292】配置間隔：典型的な支持体の配置間隔は0.1～0.8インチ（2.54～20.32ミリ）離れている。通常は、支持体を充分接近した間隔に配置すれば、大きなたわみ、またはカールは発生しない。しかし、より多くの支持体を描くことは物体の作成プロセスを遅らせる。

【0293】配向：支持体の配向は第8b図に示す如

く、層のゆがみを防ぐために十字ウェブ支持体を使用する。もし、直線ウェブ支持体を物体用に互いに並列に配置すると、第8a図の如く、物体の重みが、製作中、ウェブを横に曲げてしまう。そして次の層が僅かに、前の層に対してずれてしまう。

【0294】高さ：最適の液排出およびレベリングを確実にするため、物体をエレベータ台の上方少なくとも0.25インチ（6.35ミリ）の所に保持する。曲げ、またはゆがみの防止と描く時間を最小限にするため、支持体は必要以上に高くしてはいけぬ。もし、高い支持体が必要な場合は追加補強のため、十字、円形もしくは三角形のウェブを使用するものとする。

【0295】幅：支持体は、エレベータ台に接触する部分で、少なくともその幅が0.65インチ（16.51ミリ）なければならない。さもないと、それらは台の排出口を通して垂れ下がり、流出してしまう。しかし、走査時間を最小にするため、支持体は必要最小限の幅に抑えるようにしなければならない。斜め支持体の始めと終りは第11図に示す如くバットレスのように設計され、取外しが困難となるような物体のコーナにまで入る程には伸ばしてはならない。

【0296】厚さ：支持体は最小限度の厚さ（ウェブ支持体は1ミル（0.0254ミリ）の厚さ）に設計するものとする。通常、レーザで描く線の太さは10～20ミル（0.25～0.51ミリ）であるので、実際の支持体はやや、CAD設計よりも厚くなる。支持体がCAD容量なしで、単一の表面の如く設計されることは許されない。

【0297】接着：物体が支持体にしっかりと接着することを確実にするため、物体が垂直的に0.040～0.060インチ（1.02～1.52ミリ）（典型的に2～3層）重ね合うよう支持体を設計する。

#### 【0298】3.3 CADインターフェース

多くのCADおよび固体モデルシステムは三角形のセットとして物体の表面を表現する。三角形は計算法にとって最もシンプルな多角形である。十分に使えば、ほぼすべての表面を近似することが可能である。

【0299】三角形を除いて、最も表現し易い幾何模様は長方形である。最も難かしいのは曲線である。第40図に示す如く、2個の三角形を後向きに合わせることで長方形ができる。一方、カーブした表面は多数の三角形を使うことによつてのみ、近似することができる。SLA-1は非常に正確な円およびカーブした表面を作るため、立体造形（立体リソグラフィ）ファイル（・STL）当り、14,000個の三角形を作成することができる。

【0300】第41図に示す如く、立体造形用に、CAD三角形はフラット（水平）、近フラットおよび急勾配（垂直的もしくは近垂直的）に分類される。単純化した自動車の屋根はフラットな三角形で構成されている。前

部、側部および背部は急勾配の三角形である。

【0301】3.4 STLフォーマットファイル  
STLファイルはスライス入力用として、外方向に向けた（固体から離れて）単位法線を持った三角形の切子面から構成されることが必要である。このフォーマットは各頂点についてX、Y、Z座標を規定し、また各三角形用の単位法線を規定する。SDTL生成用に使用されるインターフェースはCADベンダーによって供給される。STLファイルはASCII、または2進フォーマットの何れかに入ることができる。バイナリーは配置および実行上の検討に適している。ASCIIはインターフェースのデバッグを容易にするので時々使用される。

【0302】3.5 SLICE  
3次元立体リソグラフィ（.STL）ファイルをスライスして断面体にし、第43図に示すように、3次元物体を作成するために、積み重ねられた層のX-Y平面上的の断面体からなるスライス（.SLI）ファイルを作成する。

【0303】スライス・コンピュータからUNIXに直接ログオンするか、またはREMOTE USERを介してコントロール・コンピュータからリモート・モードでUNIXにログオンする。UNIXのプロンプト(\$)のところで、SLICEを実行させる。

【0304】次のステップは、標準のオプションを変更し、エキストラ・パラメータを必要に応じて入力する。これらのオプションは、スライス動作を制御し、また後の立体リソグラフィのプロセスにおける部品製作に強い影響を及ぼす。これらのオプションは、同一のまたは類似の部品のプログラム走行に使用されるように、ディスク上のオプション・ファイル（.UII）中にセーブすることができる。

【0305】最後のステップは、Sliceオプションに従って、STLファイルをスライスし、Slice（.SLI）ファイルを作成することである。

【0306】層境界線、クロスハッチおよび外皮（第43図を参照）  
層境界線ベクトルは表面境界を定義する。クロスハッチ・ベクトルは内部においてSLICEによって作成され、層境界線（壁）同士間において、液体領域を部分的に固形化し強化する。クロスハッチの間隔および用いられるタイプは、SLICEの走行に先だって選択される（第47図を参照）。水平線（頂部および底部）表面は、外皮のタイプを形成する一連の緊密におかれた平行なベクトルによってカバーされる。外皮間の層は一般的には、更に強度を高めるためにクロスハッチされる。（第47図を参照）

Layer thickness は、SLICEのパラメータであり、これによってユーザは層の厚さを選択したり変更することができ、これで部品の垂直方向の分解能を決める。Use thinner layersは、垂直方向（Z）軸の精度および分

解能を向上させるためのものである。垂直方向の寸法の精度および分解能は、1つの層の厚さに制限される。傾斜している（ほとんど平坦であるが）表面は、階段ステップとして現れるより小さな水平表面および垂直表面に近似される。選択された層の厚さによって、個々のステップの高さが決まる。層輪郭線同士間の間隙が外皮充填される。他の領域は、必要とあればクロスハッチしてもよい。平坦に近い領域において層の厚さを減少させると、個々のステップの高さが低くなるので、その結果、表面がより滑らかになる。物体を強化し、また場合によっては部分を製作するに必要とされる時間を減少させるために、より厚い層を使用することが可能である。しかし、レーザは、より厚い層を描くためには樹脂表面上をより遅い速度でトレースしなければならないので、より厚くより少ない層を描くことによって節約された時間は、減少した走査速度（描く速度）によって部分的に相殺される。

【0307】SLICEは、さまざまな2点ベクトルのためにベクトル・ブロックを作成する。ブロック識別子は、以下に示すニーモニック規則に従う。

【0308】

【表4】

| ブロック・ニーモニック | 内容           |
|-------------|--------------|
| LB          | 層輪郭線         |
| LH          | 層ハッチ         |
| FUB         | 平坦アップ輪郭線     |
| FUF         | 平坦アップ外皮充填    |
| FDB         | 平坦ダウン輪郭線     |
| DFD         | 平坦ダウン外皮充填    |
| NFUB        | 近似平坦アップ外皮輪郭線 |
| NFUF        | 近似平坦アップ外皮充填  |
| NFDB        | 近似平坦ダウン外皮輪郭線 |
| NDFD        | 近似平坦ダウン外皮ハッチ |
| NDFD        | 近似平坦ダウン外皮充填  |

【0309】Slice resolutionは、CAD空間からの.STLファイルを、個々のCAD装置に含まれるスライス装置の数を指定することによってSlice空間に変換する。

【0310】ここでSlice Resolutionとは1つのCAD単位当りのスライス単位の数である。

【0311】スライス・メイン・メニュー（表は省略）  
「Alter」は、標準のスライス・パラメータを変更する。

【0312】「Extra」は、Alterメニューにリストアップされていないエキストラ・パラメータを選択する。これらのエキストラ・パラメータ部品製作のために、垂直軸すなわち（デフォルト）Z軸に沿ったスライス部分、-X X軸に沿ったスライス部分、-Y Y軸に沿ったスライス部分を現行的に指定する。

【0313】「Save」は、スクリーン上に表示されたオプション、現行のオプション・ファイル中の、可変層厚テーブルおよびエキストラ・パラメータをセーブする。

【0314】「DoSlice」は、現行のオプションを用いてSLICEを走行させる。

【0315】「Quit」は、SLICEを止める。QUITは、オプション・ファイルをセーブしない（SAVEを最初に使用すること）。

【0316】Alter メニュー（表は省略）

「DATABASE File Name」は、スライスされる.STLファイルを指定し、そのファイルがASCII構成であるか2進法構成であるか指定する。ファイル名のみを入力する。.SLIの拡張が想定される。

【0317】「Resolution」は、CAD単位をより小さいスライス単位に分割し、実質的には3次元のグリッド（格子）を作成する。従って、CADモデルがインチ単位（1インチ=25.4ミリ）で設計されており、スライス分解能が1000にセットされている場合には、部分の1インチ（25.4ミリ）ずつが、1000のスライス単位に分割され、その個々が0.001インチ（0.0254ミリ）の長さとなる。なお、以下の点に注意すべきである。すなわち、第一に分解能の値を大きく取ると、三角形の歪が少なくなり、クロスハッチがエラーする確率が減少すること、第二に、単一の部分（全てが支持体ファイルまたは実体ファイル）から成る全てのファイルは、同一の分解能でスライスしなければならないこと、第三に、CADモデルの最大のX、YまたはZの座標によって、スライス分解能の最大許容値は決定されること（（最大座標）\* スライス分解能<65,535）、丸めた数を使用すること（例：1000、2000、5000）である。

【0318】「Layer Thickness」は、垂直方向のスライス厚をCAD単位で定義する（層の肉厚は、後にCAD単位とスライス単位の双方で表示されるが、CAD単位で入力される）。層の肉厚は、ファイル全体にわたって（例えば、同一の層肉厚を割り当てられた全ての層、または、異なった層肉厚を持ったさまざまな一群の層）固定させてもよい。標準値は、0.002インチから0.030インチ（0.051~0.76ミリ）の範囲にあり、Fineタイプで0.005インチ（0.13ミリ）、Mediumタイプで0.010インチ（0.25ミリ）、Coarseタイプで0.020インチ（0.51ミリ）である。例えば、0.01インチ（0.25ミリ）の肉厚の層より成る、インチ単位（1インチ=25.4ミリ）で設計された部品がほしい場合には、.01と入力する。スライス単位での層の肉厚は、画面上SLICE

UNITSというヘッディングの下に自動的に表示される。使用可能な層の最大数は16384（これは8.0インチ（203.2ミリ）の部分上の0.0005インチ（0.013ミリ）の肉厚の層に対応する）である。

【0319】「Hatch Spacing」は、オプション(4)、オプション(5)、およびオプション(6)によって、X軸に平行に又はY軸に平行にさらに又はX軸に対して60度および120度にそれぞれ引かれた隣接するハッチ・ベクト

ル同士間の直角方向の間隔がCAD単位で指定される。但し、以下の点に注意すべきである。すなわち、ハッチ間隔の標準的な値は、0.05インチから0.10インチ（1.27~2.54ミリ）であること、ウェブ支持体に対してはゼロを用いること（ウェブ支持体は、背面形垂直表面として設計されるので、クロスハッチは必要ない。ゼロを入力すると、クロスハッチは生成されない。）、XとYのクロスハッチは通常は、矩形のグリッドを形成するために一緒に使用されることである。なお、60/120のクロスハッチが最も頻繁に用いられるが、その理由はXとYのクロスハッチだけの場合より更に厳密な構造が製作されるからである。

【0320】「Fill Spacing」は、オプション(7)およびオプション(8)によって、それぞれX軸またはY軸に平行に引かれた外皮ベクトル同士間の垂直方向の間隔をCAD単位で指定する。なお、以下の点に注意すべきである。すなわち充填間隔の標準値は、0.001インチから0.004インチ（0.025~0.10ミリ）であること、XとYの充填の双方を同時には決して用いないこと（さもないと応力が生じ表面が変形する恐れがあること。）、支持体に対しては、ゼロを用いることである。

【0321】「Output Filename」は、スライス出力ファイルに割り当てられるファイル名(filename)である。

【0322】「Quit」によって、Slice Main Menuに移る。

【0323】手順(Lab 2 - Slice) スライスの開始前に、まず.STLファイルをスライス・コンピュータに転送し、UNIXにログオンする。

ステップ1) UNIXのプロンプトの所で、SLICEを実行させ、次に実体ファイル名を入力する。

\$slice ^ cam part ENTER <----

ステップ2)（表は省略）

Slice Main Menu 上でAを押すと、標準オプションを変更できる。

ステップ3)（表は省略）

Alter Menu上では、次のオプションを更新または変更する。

【0324】

【表5】

| DATABASEのファイル名    | cam part |
|-------------------|----------|
| 分解能               | ascii    |
| 層の肉厚              | 5000     |
|                   | 固定       |
|                   | .010     |
| Xハッチの間隔           | .050     |
| 60/120度のハッチ間隔     | .050     |
| X外皮の充填間隔          | .003     |
| 走査されたファセットの最小表面角度 | 50       |

【0325】Qを押して、Slice Main Menuに戻る。

ステップ4) Eを押して、エキストラ・パラメータをセットし、-yを入力する。ステップ5) Sを押して、オ

プシオン・ファイルをcam part.UIIとしてセーブする。  
ステップ6) (表は省略)

Slice Main Menu 上で、Dを押してcam partファイルを  
スライスする。

ステップ7) (表は省略)

SLICEが終了したら、ENTER<---を押してSlice  
Main Menuに戻る。

ステップ8) Alter Menu上で、次のオプションを更新す  
る。

【0326】

【表6】

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| DATABASEファイル名 | cam base,<br>ascii |
| 分解能           | 5000               |
| 層肉厚           | 固定<br>.010         |

【0327】ハッチ、外皮充填およびMSA値（オプシ  
ョン4からオプション9）をゼロにセットする。

ステップ10) Eを押して、エクストラ・パラメータを  
yにセットする。

ステップ11) Sを押して、オプション・ファイルをcam  
base.UIIとしてセーブする。

ステップ12) Slice Main Menu 上で、Dを押してcam ba  
seファイルをスライスする。

ステップ13) Slice Main Menu 上で、Qを押してSLI  
CEを終了させる。これによって、UNIXプロンプト  
に戻る。

Slice Main Menu (表は省略)

「Load」は、別のファイルをロードする。直前に画面  
上にリストされていたオプションは自動的にセーブさ  
れない (SAVEコマンドを用いることが必要である)。

【0328】「Write」は、オプションを別の物体のオ  
プション・ファイル中に書き込む。

【0329】「Copy」は、直前にセーブされた物体のオ  
プション・ファイルを現行のオプション・ファイル中に  
コピーする。COPYによって、以前の走行中に入力され  
たものと類似の、再入力しなければならないオプション  
がセーブされる。

【0330】Alter Menu Variable Layer Thickness  
(可変層肉厚) (表は省略)

Variable Layer Thicknessによって、ファイル中の層  
(範囲)のセットを層の肉厚が個別に指定されるよう  
に作成できる。より薄い層肉厚が傾斜表面の階段ステ  
ップの出現を最小にしたり、あるいは臨界垂直寸法およ  
び詳細の精度を向上させる目的のために通常は用いられ  
る。より厚い層も、支持されていない領域を強化し  
たりまたはより強固で堅い層を制作するために、時々  
用いられる。

【0331】Layer Thickness (表は省略)

「A」は、新しいZ Level を表に追加する。Z Level  
は、指定された肉厚でスライス動作を開始する、垂直方

向の寸法を指定する。開始寸法および肉厚は双方ともC  
AD単位で入力される。スライス動作はこの間隔で、別  
のZ Level が定義されるまで継続する。最初の (最も低  
い) Z Level は、スライスされる実体の底部でまたはそ  
れより低いところから開始しなければならない。「D」  
は、表からZ Level を削除する。「S」は、表をセーブ  
し、Alter Menuに戻る。「Q」は、表をセーブすること  
なく、Alter Menuに戻る。「H」は、このリストアップ  
に類似したhelpメッセージをプリントアウトする。

【0332】MSA

SLICEのパラメータMSA (走査されたファセット  
の最小の表面の角度) は、三角形の分類が近似平坦から  
急勾配に変化する角度を定義する。第44図に示すよう  
に、近似平坦三角形の角度は、ゼロ度以上であるが、M  
SA以下である。急勾配三角形の角度はMSAより大き  
いが、90度以下である。但し、傾斜角度がMSA未満で  
ある三角形は、近似平坦であると分類される。これらの  
三角形の場合、SLICEは隣接する層上の層境界線同  
士間の間隙を充填するために、近似平坦外皮を形成す  
る。MSAがあまりに大きすぎると、SLICEが必要  
以上の外皮ベクトルを生成し、走行時間およびファイル  
容量を増大させる。MSAがあまりに小さいと、仕上げ  
られた部分中に間隙が生じ、その結果、液体が物体の壁  
から排水される。MSAの正確さは、用いられる層の肉  
厚によって異なるが、次の値が好ましい。

【0333】

【表7】

| 層の肉厚  | MSA |
|-------|-----|
| 0.005 | 40  |
| 0.010 | 50  |
| 0.015 | 55  |
| 0.020 | 60  |

【0334】なお、ウェブ支持体に対してはゼロを用い  
る。

【0335】MIA

MIAは、部分製作問題を引き起こしかねない特定のハ  
ッチ・ベクトルを取り除くことができるオプションであ  
る。

【0336】手順 (Lab 3-Slice)

可変層肉厚

ステップ1) (表は省略)

Alter Menu上で3を押して、LAYER THICKNESS を選択  
する。

ステップ2) Vを押して、可変肉厚を選択する。(表は  
省略)

ステップ3) 必要に応じて、Z Level を追加したり削除  
したりする。

Command? A ^ 1.00 ^ .010 ENTER <-----

Command? A ^ 2.60 ^ .005 ENTER <-----

但し、最初のZ Level は、部分の底部または以下で開始  
しなければならない。

ステップ4) Sを押して、Layer Thickness テーブルをセーブする。(表は省略)

ステップ5) Qを押して、Alter Menuに戻る。

ステップ6) 他の標準オプションを、必要に応じてXハッチ間隔を.050, MSAを55に変更する。

ステップ7) Eを押して、エキストラ・パラメータをyにセットする。

ステップ8) Sを押して、オプション・ファイルをspike p.UIIとしてセーブする。

ステップ9) Slice Main Menu 上でDを押して、spike p ファイルをスライスする。

ステップ10) 繰り返しパラメータをセットし、spike p ファイルをスライスする。

### 【0337】3. 6 コントロールコンピュータ

全ての立体リソグラフィプロセスのMERGEからBUILDに至るステップは、コントロール・コンピュータ上で走行される。コントロール・コンピュータは、スライス・ファイルの送信およびマージから、部分を製作するためのエレベータおよびダイナミック・ミラーの制御に至る全ての機能が包含している。

【0338】プログラムおよび動作パラメータは、個々の動作ごとにメニューから選択される。トップダウン階層はMain Menu から始まり、サブメニュー、データ入力画面、更にステータス/情報画面にまで継続している。キーボード上でオプション番号を押すことによってメニューからオプションを選択するか、またはテン・キー上でアップ・アローおよびダウン・アローを使用してポインタを位置決めするかして、次にENTER <--- を押す。

【0339】SLA-1メニュー階層を、第45図および次の図に図示する。メニューの1つ1つには、次に高いメニューに戻るために、exit オプションまたはquit オプションが含まれている。Main Menu からのexit オプションによって、SLA-1のOSからMS-DOSに移行する。

### 【0340】3. 7 ユーティリティ

ユーティリティのメニュー・オプションは、部品製作プロセスの全般にわたって使用される。その機能にはSLA-1ハードウェアのオン/オフ、レーザ・ビームの強度および焦点の測定、部品製作の前後におけるエレベータ・プロットフォームの移動、バンジョートップから想定された硬化深さおよび線幅のデータの入力、テキスト・ファイルの編集、試験部品製作、ユーティリティ・メニュー(表は省略)が含まれる。

### 【0341】電力シーケンサ(表は省略)

コントロール・コンピュータのキーボードから直接に、レーザ、ダイナミック・ミラーおよびエレベータ・ドライバをオン/オフし、更にレーザ・シャッタを開閉する。このコンポーネントの現行のステータスは、画面の底部にリストアップされる。

### 【0342】ビーム解析(表は省略)

レーザ・ビームの強度および焦点を測定し、現場の技術者がレーザを校正できるようにする。

【0343】Beam Powerは、レーザ・ビームを、プロセス・チャンバ中に取り付けられている2つのビーム・プロファイラに当て、次にレーザ・パワーの平均値を計算する。現行のレーザ・パワーは、硬化深さを計算するためにPrepare MenuのオプションMATERIAL MANAGERを走行させる時に必要とされる。

### 【0344】エレベータ移動(表は省略)

Elevator Moverによって、コントロール・コンピュータのテン・キー上でアップ・アローおよびダウン・アローを使用して、エレベータ・プラットフォームを位置決めすることができる。エレベータの動作を停止させるには、スペース・バーを押す。

【0345】Dを選択すると、エレベータ・プラットフォームが、指定されたインチ単位(1インチ=25.4ミリ)の距離だけ移動される。正の値を指定すると、プラットフォームは下方に移動し、負の値を指定すると上方に移動する。

【0346】Tを指定すると、画面の底部に表示されているパラメータ情報が、オン/オフにトグルされる。

### 【0347】手順(Lab 2 - Utilities)

#### Power Sequencer

ステップ1) (表は省略)

Utility Menu上で、1を押して、POWER SEQUENCER を選択する。

ステップ2) (表は省略)

Power Sequencer Menu上で、適当な数字キーを押す。画面の底部に表示されているステータスは、自動的に更新される。

#### Beam Analysis

ステップ1) (表は省略)

Utility Menu上で2を押して、BEAM ANALYSIS を選択する。

ステップ2) Beam Analysis Menu上で1を押して、DISPLAY PROFILE を選択し、または4を押して、BEAM POWER を選択する。

#### Display Profile

プロファイルを再度チェックして、次にENTER <--- を押して、Beam Analysis Menuに戻る。

#### Beam Power

センサ#1は、平均読取り値8.08mW(フィルタリングなし、7.99mW)、センサ#2は、平均読取り値7.73mW(フィルタリングなし、7.65mW)で、1から3を押して、センサ# を選択し、終了するにはQを押す。電力の読取り値が測定されたら、平均値を書き込み、次にQを押してBeam Analysis Menuに戻る。

#### Elevator Mover

ステップ1) (表は省略)

ステップ2) (表は省略)

テン・キー上でアップ・アローおよびダウン・アローを押して、それぞれエレベータ・プラットフォームを上昇させたり下降させたりし、更にスペース・バーを押してエレベータの連動を停止させ、又はDを押して、エレベータが移動する距離(インチ単位)を指定する(正の値は、エレベータを下降させる)。「Edit a File」は、テキスト・ファイルを編集する。「Make Test Parts」は、バンジョートップを制作する。「Material Manager」(表は省略)「Load Material Data」は、材料(.MAT)ファイルを一覧アップし、ロードされるファイルを促す。「View Material Data」は、材料データを画面上に表示する。「Input New Material Data」は、バンジョートップから測定した材料データを入力する。これらのデータには、ステップの周期(SP)の値、個々のバンジョートップ列の線高さ、個々のバンジョートップ列からの最小および最大線幅測定値が含まれる。INPUT NEW MATERIAL DATA は次のワーキング曲線を計算し、勾配および曲線のY軸と交わる点を画面上に表示する(なお、バンジョートップ、ワーキング曲線および関連の主題の更なる説明については、5.3を参照のこと。)

【0348】手順(Lab 3 - Utilities)

Material Manager

ステップ1) (表は省略)

Utility Menu上で4を押して、MATERIAL MANAGERを選択する。

ステップ2) (表は省略)

Material Manager Menu 上で、適切なオプション番号を押す。

ステップ3) Load Material Data (表は省略)

材料(.MAT)のファイル名を入力する。

読み取られるデータ・ファイルの名前: test.mat ENTER <---

材料を再度チェックし、次にENTER <---- を押す。

Input New Material Data (表は省略)

Utility MenuオプションのMAKE TEST PARTS を実行させてバンジョートップを作成し、次にバンジョートップを測定して、材料ファイル用のデータを生成する。材料データのファイル名を入力する。

.MATの接尾辞を含める。

材料データ・ファイルの名前: test.mat

ENTER <----

BEAM POWERからの平均のレーザ・パワーの読取り値を入力する。(表は省略)

材料試験レーザ・パワーの読取り値(mW)を入力する:

ENTER <---- (表は省略)

バンジョートップから測定されたデータ対の番号を入力する: How Many StepPeriod/Line Height Data Pairs?

3

Enter <--- (表は省略)

バンジョートップからの測定されたステップ周期(SP)、線高さ(LH)ならびに最小および最大の線幅(WMIN, WMAX)のデータを入力する。WMINおよびWMAXのデータが測定されなかった場合には、ゼロを入力する。

【0349】3. 9 マージ

MERGEは部品(支持体および物体ファイル)の全てのSliceファイルを結合し、層(.L)、ベクトル(.V)および範囲(.R)のファイルを第48図に示すように生成する。「Layer (file.L) file」は、個々の層中のベクトル・ブロックのタイプを定義する。「Vector (file.V)」は、個々の層を引くために、BUILD によって使用されたベクトル・データを含む。「Range (file.R) File」は、BUILD のために範囲、ドロー・パラメータおよびデIPPING・パラメータを指定する。これが、部品製作パラメータを追加するためにPrepare オプションを用いて修正され得るファイルである。

Merge Information Screen (表は省略)

MERGE 情報画面は、ファイル情報を入力するのに使用される。この画面は、MERGE が走行している時の個々の層肉厚範囲の開始および終了のZ Level値、現在マージされているZ Level、走行が完了したら、処理された範囲の総数および個々の範囲におけるマージされた層の数の情報を表示する。

【0350】手順(Lab 2 - Merge)

開始する前にNetwork MenuオプションのFTP を実行させて、必要な全てのSliceファイルをコントロール・コンピュータの作業ディレクトリに転送する。

ステップ1) (表は省略)

Main Menu 上で、MERGE 2を選択し、またはポイントを位置させて、ENTER <--- を押す。

ステップ2) マージされるファイルを入力する。

スライス・ファイル名: cam part=cam base

ENTER <----

ステップ3) 層、ベクトルおよび範囲のファイルのファイル名を入力するか、または ENTER <--- を押して、ファイル名のデフォルトを選択する。

出力ファイル名の接頭辞

[CAM PART]:cam ENTER <----

ステップ4) プロンプトに対し、ENTER <---を押して、肉厚のデフォルト値を選択する。

Layer thickness in mils [10]? ENTER <---

ステップ5) (表は省略)

画面を見て、MERGE がいつ完了するか判断する。

(レビジョン3.0 未満のスライス・ファイルは、Z方向の間隔を促すことがある。)

マージのオプション

/Zは、1つのファイルの別のファイルに対する垂直位置を調整する。このオプションは、物体を垂直方向に整合させるのに用いる。調整されるファイルのあとに続いてオフセット値をスライス単位で入力する。

Slice File Names: cam part ^cam base/Z100

／Xは、1つのファイルの別のファイルに対するX方向の位置を調整する。／Yは、1つのファイルの別のファイルに対するY方向の位置を調整する。

### 【0351】3. 11 PREPARE (準備)

PREPAREメニューのオプションは、レーザ走査速度、エレベータの浸漬時間などの物体製作パラメータを指定するほか、レンジ(.R) ファイルを編集するために使用する。

【0352】層の重なり、すなわち、層間の良好な結合は、通常、各層に0.006 インチ(0.15ミリ)の過硬化を与えることによって得られる(0.020 インチ(0.51ミリ)厚の層に用いる硬化深さは0.026 インチ(0.66ミリ)となる)。ディップディレイ、すなわち物体浸漬後、樹脂液面が平静になるのに要する時間量は、物体の形状その他の多くの要因に応じて異なる。

【0353】SS (ステップサイズ) - SLA-1は、連続した動きでベクトルを描いているようにしか見えないが、実際には、ダイナミックミラーは、短い遅延を伴う不連続のステップでビームを移動させている。ステップサイズは、ミラービット単位での移動の大きさである。

【0354】一般に、輪郭線およびクロスハッチベクトルのステップサイズは2 (許容最小値) に設定される。外皮充填ベクトルのステップサイズは、通常、16に設定される。

【0355】SP (ステップピリオド) は、各レーザステップの後の遅延の長さである。SPが大きくなるにつれて、走査速度は遅くなり、従って硬化プラスチックの深さが大きくなる。

【0356】ZW (ディップディレイ) は、浸漬後、樹脂液面が平静になるためのレベリング時間を指定する。一般に、ZWは、支持体の場合、30~60秒に設定される。通常の部品製作については、45~120秒に設定する。

### 【0357】レンジ

レンジは、CAD単位またはスライス単位で入力された上方および下方寸法によって定義された1群の1以上の水平スライス層である。1群の層について1つの物体製作パラメータ値が指定される必要がある時は、レンジが生成される。例えば、支持体層について30秒のディップディレイが要求され、残りの全部の層について60秒が使用される場合、2つのレンジが定義されなければならない。第1のレンジは30のZWを持つ物体の層を含み、第2のレンジは60のZWによる全層を含む。レンジが多く使用される別な例は、層の硬化深さが変化する場合である。第1の少数の支持体層から成るレンジは、残りの層について指定される硬化深さよりも大きな硬化深さによって作成される。PREPAREメニューのオプションは、必要なレンジを生成するために使用する。

### 【0358】

PREPAREメニュー (画面の表示は省略)

PARAMETERS MANAGERメニュー (画面の表示は省略)

PARAMETERS MANAGERは、部品製作パラメータを追加または修正するために使用する。

#### 1. Z-pitch (Zピッチ)

このパラメータは、垂直寸法での物体の拡張を制御する。

#### 2. XY-Only Scale Factor (XY専用スケールファクタ)

XY専用スケールファクタは、スライス単位の距離を樹脂液面上のレーザビームの移動量に変換する。

【0359】ダイナミックミラーの特徴は、レーザビームが、ミラードライバに送信される3556ミラービットごとについて (または1mmごとに140ビット)、樹脂液面上を1インチ(25.4ミリ)移動することである。3556はスライス分解能に使用するには不便な数なので、換算係数が使用される。

【0360】例えば、分解能1000でインチ単位(1インチ=25.4ミリ)で設計されたCADファイルをスライスする場合、物体の各インチは、3556の代わりに、1000スライス単位によって表現される。従って、V. ファイルのすべてのベクトルは、ファクタ1000/3556=0.3556では短すぎるので、これを修正せずに用いた場合、最終部品は小さすぎてしまうことになる。BUILD は、V. ファイルのすべてのベクトル座標にXY専用スケールファクタを掛ける。従って、このパラメータは、ベクトルをそれぞれの適切な長さにスケールし直すために3556/1000=3.556 に設定しなければならない。一般に、以下の式が適用される。

【0361】XY専用スケールファクタ=3556ミラービット/インチ当たりスライス単位数

XY専用スケールファクタによって部品の大きさを作り直すこともできることに留意する。例えば、上記の物体の水平方向の寸法を10%大きくするには、以下のスケールファクタを使用する。

$$3.556 * 1.10 = 3.912$$

水平方向の寸法を50%小さくするには、以下のスケールファクタを使用する。

$$3.556 * 0.50 = 1.778$$

#### 3. Maximum Vector Count (最大ベクトルカウント)

このパラメータは、部品製作のために転送開始前にダイナミックミラーのバッファにロードされる最大ベクトル数を指定する。

#### 4/5. Minimum/Maximum Viewport Coordinates (最小/最大ビューポート座標)

BUILDビューポート座標は、BUILDステータス画面に表示される樹脂タンクのウィンドウ表示の最小および最大座標を(ミラービットで)指定する。座標限界は、(0, 0) から(65535, 65535)である。

【0362】例えば、カムを製作中にそれを表示させて見たい場合、以下のようにビューポート座標を使用する。(このカムは直径約1インチ(25.4ミリ)である。)

$$\begin{aligned} (X_{min}, Y_{min}) &= \text{樹脂タンク中心} - 1/2 \times \text{部品幅} \\ &= 32767 - 0.5 \times 3556 \\ &= 30989 \\ (X_{max}, Y_{max}) &= \text{樹脂タンク中心} + 1/2 \times \text{部品幅} \\ &= 32767 + 0.5 \times 3556 \\ &= 30989 \end{aligned}$$

X-Yオフセットについて計算された値は物体の中心についてのものなので、物体全体を表示させるにはオフセットから十分なミラービットを引かなければならないことに注意する。最大オフセットには物体幅の1/2以上の同様の数を加算しなければならない。

【0363】9×9インチ(228.6×228.6ミリ)の作業表面全体を表示させるには、以下を入力する。

$$\begin{aligned} \text{Xオフセット} &= \text{樹脂タンク中心} - (\text{CAD中心} \times 3556) \\ &= 32767 - (2.3 \times 3556) \\ &= 24588 \\ \text{Yオフセット} &= \text{樹脂タンク中心} - (\text{CAD中心} \times 3556) \\ &= 32767 - (4.1 \times 3556) \\ &= 18187 \end{aligned}$$

多物体位置決め座標はまた、同一の実行において物体の多数の複製を作る場合にも使用される。例えば、上述の例で用いた部品の4個の複製を作りたい場合、その4の物体それぞれの中心を表す4組の座標(X1/Y1、X2/Y2、X3/Y3およびX4/Y4)を計算することになる。

【0366】この物体の4個の複製全部を、樹脂タンクの中心付近に集めて、それぞれを、X、Y両寸法について2インチ(50.8ミリ)ずつ分離させたい場合には、まず上述の例のようにタンクの中心座標を計算した後、各物体間の希望の距離の1/2に等しいミラービットを減算および加算する。

$$\begin{aligned} \text{分離} &= 2 \text{インチ} / 2 = 3556 \text{ビット} \\ X1 &= X_c + 3556 = 24588 + 3556 = 28144 \\ Y1 &= Y_c + 3556 = 18187 + 3556 = 21743 \\ X2 &= X_c - 3556 = 21032 \\ Y2 &= Y_c - 3556 = 14631 \\ X3 &= X_c + 3556 = 28144 \\ Y3 &= Y_c - 3556 = 14631 \\ X4 &= X_c - 3556 = 21032 \\ Y4 &= Y_c + 3556 = 21743 \end{aligned}$$

#### 7. Build Options Line (製作オプション行)

これらのパラメータは、BUILDビューポートの配向を定義する。

【0367】U. Update Build Parameters On Disk (ディスク上製作パラメータ更新)

このコマンドは、他のすべてのPARAMETERS MANAGER項目

$$\begin{aligned} (X_{min}, Y_{min}) &= 32767 - 4.5 \times 3556 \\ &= 16765 \\ (X_{max}, Y_{max}) &= 32767 + 4.5 \times 3556 \\ &= 48769 \end{aligned}$$

#### 6. Multiple Part Positioning (多物体位置決め)

これらのパラメータは、エレベータプラットフォームの物体の位置決め、および、BUILDの同一の実行において多数の部品を製作するために使用する。

【0364】物体を樹脂タンク中心に位置決めするのに要する座標を計算するには、CAD空間での物体の中心の座標、タンクの中心の座標(これはほぼ(32767, 32767)である。必要に応じて、正確な座標が得られる。)を知る必要がある。

【0365】例えば、部品のX、Y中心が(2.3インチ(58.42ミリ)、4.1インチ(104.14ミリ))で、タンクの中心が(32767, 32767)の場合

を製作(.prm)ファイルのディスクにセーブする。

【0368】RANGE MANAGER メニュー(画面の表示は省略)

RANGE MANAGER は、レンジの追加または削除、ステップピリオド(レーザ走査速度)の計算、ディップディレイを修正するためのファイル編集、レンジ(.R)ファイルのセーブの目的に使用する。

【0369】RANGE MANAGER メニューには、レンジ(.R)ファイル名、レンジが追加された場合に割り当てられるレンジ番号、CAD単位およびスライス単位での開始および終了レンジ寸法(図示した画面では、スライス分解能は5000、従ってCAD寸法は0.73インチ(18.54ミリ)(部品底部)および1.37インチ(34.8ミリ)(部品最上部)で、スライス単位では3650および6850に相当する。)、CAD単位およびスライス単位での層厚さ、各レンジの層の総数、.Rファイルを修正およびセーブするためのコマンドが表示される。

【0370】RANGE MANAGER のコマンド

[RANGE MANAGER メニューに表示されるコマンドは以下の通りである。]

|                   |         |
|-------------------|---------|
| A (add range)     | —レンジ追加  |
| D (delete range)  | —レンジ削除  |
| E (edit range)    | —レンジ編集  |
| V (verify blocks) | —ブロック確認 |
| R (make a report) | —レポート作成 |
| C (calc SPs)      | —SP計算   |

X (exit)                      ー出口  
S (save changes on disk)    ー変更のディスクセーブ

「A」はレンジをテンポラリレンジファイルに追加する。ただし、Rファイルは、Sコマンドを使用するまで変更されない。開始レンジ層は、スライス単位またはCAD単位いずれかで入力できる。ブレークポイントはそのレンジの第1層である。「D」は画面からレンジを削除する。2レンジ以上残されている場合、そのレンジは、次の上位のレンジが存在すれば、それに結合される（例えば、削除されたレンジ2のデータは、レンジ3に結合され、レンジ3がなければレンジ1に結合される）。「E」は指定のレンジの各ベクトルブロックを（編集するために）リストアップする。このコマンドは主として、浸漬パラメータをレンジに追加するために使用する。（画面の表示は省略）

「V」はテンポラリRファイルで編集するために各レンジに含まれているベクトルブロックだけがリストアップ

R (read material data)  
S (save new range commands)  
P (change power rating)  
E (edit cure depth/step)  
V (view material data)  
Q (quit program)  
X (exit)

「R」は材料データ(.MAT)ファイルから線高さおよび線幅データを読取る。作業ディレクトリの.MATファイルが便利のように画面にリストアップされる。「P」は画面に示されたレーザパワーの読みを、ユーティリティのBEAM ANALYSISによって測定された最新の読みに変更する。「E」は画面に示された硬化深さおよび見積りステップピリオドを編集する。「V」は材料データ(.MAT)ファイルから材料データを表示する。「Q」はCALC SP機能を終了し、メインメニューに復帰する。PREPAREメニューのオプションによって入力されたいずれの変更もセーブはされない。「S」はレーザ走査パラメータSPおよびSSをテンポラリレンジファイルの適切なベクトルブロックに追加する。パラメータは、ファイルの全ブロック、境界線ベクトルおよびクロスハッチベクトルブロックだけ、または充填ベクトルブロックだけに追加することができる。さらに、特定のマージセットだけを更新するために選択できる（マージセットは、MERGEに入力されたスライスファイルの一つだけからのベクトルブロックから構成される。マージセットは、各ベクトルブロックに付加された数（LB2など）によって識別される）。この更新コマンドは、.Rファイルを更新するものではなく、テンポラリレンジファイルだけを更新する点に注意する。.Rファイルをディスクにセーブするには、RANGE MANAGER メニューのSコマンドを使用する。（画面の表示は省略）

されていることを、層(.L)ファイルによって確認するためのものである。ステップピリオド、ステップサイズその他の部品製作パラメータを制御するために編集されるのは、これらのブロックである。このベクトルブロックおよびレンジは、そのファイルがSコマンドによってセーブされるまで、ディスクの.Rファイルには書き込まれない。「R」は各レンジのベクトルブロックを、画面上に表示、または、オプションのプリンタポートを通じてハードコピーとして印刷させる。（画面の表示は省略）

「X」はRANGE MANAGER を出て、PREPARE メインメニューに復帰する。.Rファイルはこのコマンドによってセーブされない。「S」はRANGE MANAGER によって入力された全情報を含め、.Rファイルをディスクに永久的にセーブする。「C」はステップピリオドを計算し、硬化深さ／ステップピリオド情報をテンポラリレンジファイルに入力する。CALC SP コマンドは以下の通りである。（画面の表示は省略）

ー材料データ読取り  
ー新レンジコマンドのセーブ  
ーパワー定格変更  
ー硬化深さ／ステップピリオド編集  
ー材料データ表示  
ープログラム終了  
ー出口

X++CALC SP を出て、RANGE MANAGER メニューに復帰する。

#### 【0371】手順（実習 2-PREPARE）

PARAMETERS MANAGER

ステップ1) メインメニューで、4を押してPREPARE を選択する。

ステップ2) プロンプトに対して、部品ファイル名プレフィックスを入力する。Part Prefix: cam ENTERキー（画面の表示は省略）

ステップ3) PREPARE メインメニューで、1を押してPARAMETERS MANAGERを選択する。

ステップ4) XY専用スケールファクタを0.7112 (3556/5000) に設定する。

ステップ5) Xオフセットを17000 (32767-(4.5\*3556)) に設定する。

ステップ6) Yオフセットを17000 に設定する。

ステップ7) (オプション) 2個の部品を作成するために、(X1, Y1)を(15000, 15000)に、(X2, Y2)を(15000, 25000)に設定する。

ステップ8) ビューポート座標を、Xmin、Ymin=5000、5000に、Xmax、Ymax=35000、35000に設定する。

ステップ9) Uを押してファイルをディスクに更新する。

RANGE MANAGER

開始前に、ユーティリティのBEAM ANALYSIS を実行して

現在のレーザパワーを測定し、センサ1および2の読みの平均を記録する。ステップ1) PREPARE メインメニューで、2を押してRANGE MANAGER を選択する。(画面の表示は省略)

レンジの追加

ステップ1) RANGE MANAGER メニューで、レンジを追加するためにAを押す。(画面の表示は省略)

ステップ2) スライス単位でレンジの寸法を追加するにはZを、CAD単位で寸法を入力するにはCを押す。

レンジの追加

Z層を入力するためにZを押す。

... Number: 2 ENTERキー

ステップ3) スライス単位でレンジの開始を入力する。

Z層単位でブレイクポイントを入力する。

: 3750 ENTERキー

ステップ4) レンジが正しく追加されたかを画面で確認する。(画面の表示は省略)

ステップ5) 4950で始まる別のレンジを追加する。

ステップ6) 6000で始まる第4のレンジを追加する。

レンジの削除

ステップ1) RANGE MANAGER メニューで、レンジを削除するためにDを押す。(画面の表示は省略)

ステップ2) 削除するレンジ番号を入力する

Delete what range: 3 ENTERキー

ステップ3) そのレンジが削除されたかを画面で確認する(画面の表示は省略)。

【0372】レンジの確認

ステップ1) RANGE MANAGER メニューで、ブロックを確認するためにVを押す。(画面の表示は省略)

ステップ2) 警告メッセージに対してyを入力する。

確認は... コマンド

Continue? y ENTERキー

報告

ステップ1) RANGE MANAGER メニューで、報告のためにRを押す。(画面の表示は省略)

ステップ2) 画面で報告を見るにはVを、プリンタで報告を印刷するにはPキーを押す。プリンタオプションを選択した場合、報告は画面に表示されない。

ステップ3) ENTER キーを押して継続する。(画面の表示は省略)

ステップピリオドの計算

ステップ1) RANGE MANAGER メニューで、ステップピリオドの計算のためにCを押す。(画面の表示は省略)

ステップ2) CALC SP メニューで、レーザパワーの読みを変更するためにPを押す。(画面の表示は省略)

ステップ3) BEAM ANALYSIS にもとづいて平均レーザパワーを入力する。

新しいレーザパワーの読み(mW): \_\_\_\_ ENTERキー

ステップ4) CALC SP メニューで、硬化深さ/ステップピリオドデータを編集するためにEを押す。

ステップ5) レンジ番号および新しい硬化深さを続けてcを入力して、プラットフォームに(支持体の最初の2層を含む)“加熱した”第1のレンジを付着させるのに必要な硬化深さを入力する。

c1,35 ENTERキー

ここで、注意すべき点は、選択する硬化深さは、層間の適切な結合のために層厚さよりも6ミル(0.15ミリ)以上大きくなければならない。支持体の初めの数層の硬化深さは、プラットフォームへの強力な結合のためにさらに深くしなければならない。この場合、必要な硬化深さは35ミル(0.89ミリ)である。

ステップ6) レンジ2および3の境界線およびクロスハッチベクトル全部について16の硬化深さを入力する。

c2,16 ENTERキー

c3,16 ENTERキー

ステップ7) CALC SP メニューで、変更を確認する。

(画面の表示は省略)

ステップ8) CALC SP メニューで、レンジをセーブするためにSキーを押す。

ステップ9) 更新するベクトルブロック群を指定するか、ENTERキーを押して[ ]で示されたデフォルト群を選択する。

Use which block group [1]? ENTERキー(画面の表示は省略)

ステップ10) 更新するマージセットを指定するか、ENTERキーを押して[ ]で示されたデフォルトを選択する。

Update which merge-sets [all]? ENTERキー

ステップ11) Eキーを押してから26ミル(0.66ミリ)

(これは選択した20ミル(0.51ミリ)の層厚さよりも6ミル(0.15ミリ)大きい)の硬化深さを入力して、外皮ベクトルの硬化深さの編集を開始する。

c2,26 ENTERキー

ステップ12) 得られたステップピリオド(90)を2で割り、Eキーを押してから、レンジ2および3の外皮充填SPとしてその値を入力する。

S2, 45 ENTERキー

S3, 45 ENTERキー

ステップ13) ファイルをセーブするためにSを押す。

ステップ14) プロンプトに対して、外皮充填ブロック(ブロック群2)の更新を指定する。

Use which block group [1]? 2 ENTERキー

ステップ15) プロンプトに対して、全マージセットを更新するためにENTERキーを押す。

Update which merge sets [all]? ENTERキー

ステップ16) CALC SP メニューで、CALC SP 機能を出るためにXを押す。

ステップ17) RANGE MANAGER メニューで、ディップディレイを追加するようにレンジを編集するためにEを押す。

ステップ18) プロンプトに対して、レンジ1を編集するために1を押す。

Edit what range? 1 ENTERキー

ステップ19) プロンプトに対して、#BTMレコードに30秒のディップディレイを追加する。

Enter commands for #BTM:

ZW 30 ENTERキー

ステップ20) 30秒のディップディレイを追加するためにレンジ2を編集する。

ステップ21) 120秒のディップディレイを追加するためにレンジ3を編集する。 ステップ22) RANGE MANAGER メニューで、この.RファイルをディスクにセーブするためにSを押す(画面の表示は省略)。

【0373】LAYER MANAGER メニュー(画面の表示は省略)

LAYER MANAGER は、主として、.Lファイルの中で特定のベクトルファイルブロックを見つけるために使用する。その他の編集および更新機能は将来の機能となる。LAYER MANAGER 画面には、ファイル名、.Rファイルの指定レンジ数、スライス単位での開始および終了レンジ寸法、スライス単位での層厚さ、レンジの層の総数、オペレーティングコマンドが表示される。

LAYER MANAGER のコマンド

F-.Lファイルの特定のベクトルブロックを見つけ、その層数をリストアップする。例えば、マージセット3がZ空間で開始する位置を判定したい場合、ブロックを見つけるためにFを押してから、プロンプトに対して、L3およびALLと入力する。LAYER MANAGER は、ベクトルブロックL3を含む全部のスライス層を画面にリストアップする。これは、PREPARE メニューを出て、特定のベクトルブロックの位置を知るためにVIEWを実行する場合に比べて、高速で便利な方法である。

STATISTICS (画面の表示は省略)

STATISTICSは、層、レンジおよびベクトルファイルの情報をリストアップする。情報にはバイトでのファイルサイズ、ファイルが作成された時間およびデータ、ディスクの空きスペースが含まれる。

【0374】手順(実習3-PREPARE)

STATISTICS

ステップ1) PREPARE メインメニューで、4を押してSTATISTICSを選択する。

(画面の表示は省略)

ステップ2) ENTER キーを押して継続する(画面の表示は省略)。

【0375】3. 12 BUILD (製作)

BUILDは、ベクトル(.V)ファイルおよびレンジ(.R)ファイルを読み取り、適切なコマンドおよびパラメータをダイナミックミラーおよびエレベータドライバに送信して、部品製作プロセスを監視する。BUILDの機能には樹脂タンクの液面にベクトルをトレースする

ためにレーザビームを屈折させること、適切な硬化深さを保証するためにレーザパスの速度を制御すること、層間の浸漬シーケンス(浸漬、引上げおよびレベリング)を制御することが含まれる。

BUILD オプション画面(画面の表示は省略)

この画面は、部品ファイル名の入力および部品製作情報の表示のために使用する。画面に表示される各項目はOptions (PREPARE メニューオプションのPARAMETERS MANAGERを参照)、XY-Scale - XY専用スケールファクタ、#Part-製作する複製物体数、X、Y-多物体位置決め座標、Part Directory Listing-作業ディレクトリのファイル、Part Filename - 製作する部品である。

【0376】BUILDステータス画面(第52図参照)

この画面は、物体製作中の現在のステータス情報を表示する。画面の各項目は、製作中の物体の名前を示すPart、レンジコントロールを指定する(デフォルト)Control、BUILDの現在の動作を示すAction、ディップディレイの残り秒数を表示するTime、BUILDの開始および終了時間およびデータを表示するStart/EndTimes、物体開始および終了層番号および、現在描かれている層を表示するStart/On/End Layer、現在処理中のベクトルブロックのニモニックを示すBlock、樹脂タンクの平面図および部品断面を示すViewport(樹脂液面上で描かれる通りにベクトルが画面上でトレースされる。)Actionに表示されるのは、Loading(レーザビームの位置決めのためのデータがバッファにロード中である場合)、Leveling(BUILDが浸漬を行っているか、または、浸漬後樹脂液面が安定するのを待機している場合)、Drawing(ベクトルが樹脂タンク液面上をトレース中である場合)、Analysing(BUILDがレーザミラーのずれを分析補正中である場合)である。

【0377】手順(実習2-BUILD)

開始前に、ELEVATOR MOVERを用いて、エレベータプラットフォームを樹脂液面のやや下に位置させ、プラットフォームサポートロッドによって排液された樹脂があふれ容器に流入できるようにタンク前面にある樹脂放出弁を開け、プラットフォームの上面が樹脂液面のやや上に出るまでエレベータを上げ、プロセスチャンバのドアを閉じる。LASER ONおよびSHUTTER OPENインジケータがオンになっていることを確かめ、必要な場合、POWER SEQUENCE Rを用いてレーザをオンまたはシャッターを閉じる。

ステップ1) メインメニューで、BUILDを選択する。5を押すか、または、ポインタをBUILDの位置に合わせENTERキーを押す。(画面表示は省略)

ステップ2) 表示されたファイルにもとづいて物体ファイル名を入力する。(画面表示は省略)

Part Filename: cam ENTERキー

ステップ3) (第53図参照)

定期的にステータス画面および物体をチェックして最初

の数層がエレベータプラットフォームに接着していること、物体が樹脂タンクの中心にあること、異なる層厚さの値を持つ層が相互に接着していることを確認する。物体製作上の何らかの問題があった場合は、スペースバーを押してBUILDをアボートする。これによってメインメニューに復帰する。

#### 【0378】キーボードコマンド

BUILDは、レベリング動作中、以下の3つのキーボードコマンドを受け付ける。「P」は他の任意のキーが押されるまでBUILDを休止させる。レベリング時間はゼロまでカウントダウンが続けられる。画面最下行のコマンド行に休止メッセージが表示される。「C」は残りのレベリング時間を無効にし、ただちに次の層を開始して、物体製作プロセスを継続する。「S」は指定されたZレベルまでスキップする。そのZレベル以上の第1の層が描かれる。このコマンドは、下位から上位へのZレベル方向でのみ働く。

#### 【0379】コマンド行のオプション

「/LOFF」はダイナミックミラードライバをオフにする。物体を製作せずにBUILDを実行するために/ZOFFとともに使用する。「/ZOFF」はエレベータドライバをオフにする。物体を製作せずにBUILDを実行するために/LOFFとともに使用する。「/START」は部品製作の開始Zレベルを指定する。下位の全ての層はスキップされる。物体製作プロセスの中間部で製作を開始するために使用する。例えば、Zレベル5000でサンプル物体の製作を開始するには、以下のように入力する。

Part Filename: cam/start 5000 ENTERキー

「/STOP」は物体製作の終了Zレベルを指定する。上位のすべての層はスキップされる。物体の断面を製作するために/STARTとともに使用する。例えば、Zレベル5000~5500のすべての層を製作するには、以下のように入力する。

Part Filename: cam/start 5000/stop 5500 ENTERキー

最後の層が描かれた後は、エレベータは浸漬されない。/LOFFおよび/ZOFFコマンドは、通常、物体がビューポート内に収まるかどうかを確認するために/STARTおよび/STOPとともに使用される。例えば、以下のように入力する。

Part Filename: cam/zoff/loff/start 5000/stop 5500 ENTERキー

ミラーは層を描かず、エレベータも移動しない。物体がビューポートに適切に表示されれば、物体を製作するためにいずれのコマンド行オプションも付けずにBUILDを再スタートする。適切に表示されない場合は、PARAMETERS MANAGERを用いてビューポート座標を編集する。

#### 【0380】3. 13 後処理

後処理には、未処理の立体造形物体の硬化および仕上げが含まれる。未処理物体は、使用樹脂および選択された

クロスハッチの形式を含む、いくつかのファクタに応じた正確な組成を持つ半硬質プラスチックと液体から構成される。

【0381】主な後処理のステップは余剰樹脂の樹脂タンクへの排液、コーナーその他の物体細部から樹脂を除去するための吸い取り、物体の未硬化部分を固化させるための紫外線硬化、支持体の除去、選択的な仕上げ：サンダー仕上げ、サンドブラスト仕上げ、塗装である。

【0382】物体から樹脂タンクに液状樹脂を排出して戻す。排液時間は通常30分から24時間の範囲である。ただし、空気への露出が長くなればなるほど物体構造を弱くし、紫外線硬化の妨げになる可能性があることに注意する必要がある。加熱炉はプロセスを促進させるが、物体の寸法精度に悪影響を及ぼす場合もある。

【0383】未処理物体を傾けたりその他の取扱いには十分注意する。紫外線硬化の前は、層は容易に剥離や変形を生じる可能性がある。コーナーや物体細部の周辺に残された余剰樹脂を除去する。

【0384】硬質プラスチック物体を製作するために重合プロセスを終了させる。完全な硬化を確保するために表面粘着性を試験する。一般的な手順は、物体がプラットフォームに付着している間に、全露光表面を硬化させてから、プラットフォームから除去し、残りの全表面を硬化させる。

【0385】空気中で行う硬化は最も一般的な硬化方法である。構造健全性を維持するために、12時間以内の空気暴露によって物体を硬化させる。空気硬化の短所は、過熱によって物体が黄変または変形する可能性がある。

【0386】物体を水中に浸漬することによって硬化時間を著しく短縮することができる。水は紫外線を吸収せず、物体を冷却し、熱変形を最低限に抑えるための“放熱器”として作用するからである。気泡は、ふくれを生じる原因となるので、すべて除去する。短時間の急速な硬化（5分程度）が良好に作用する。

【0387】剪断またはサンダー仕上げによって部品から支持体を除去する。

#### 【0388】手順（実習 2—後処理）

排液

ステップ1）メインメニューで、UTILITIESを選択する。6を押すか、または、ポインタをUTILITIESの位置に合わせENTERキーを押す。（画面表示は省略）

ステップ2）ユーティリティメニューで、3を押してELEVATOR MOVERを選択する。（画面表示は省略）

ステップ3）数値キーボードの上向き矢印キーを用いて、エレベータをゆっくり3インチ（76.2ミリ）上昇させる。（部品の変形を防ぐためにゆっくり行う。）

ステップ4）余剰樹脂が樹脂タンクに排出されるまで約30分待つ。

チャンバからの物体およびプラットフォームの取り出し  
ステップ1）ドレントレーにドレンパッドを敷く。

ステップ2) ドレントレーを樹脂タンクの上部(エレベータプラットホームの下)に置く。プラットホームをエレベータロッドから取り外す際に、エレベータをドレントレーの中に動かさないようにする。エレベータを損傷させる原因となるからである。

ステップ3) 下向き矢印キーを操作して、エレベータプラットホームがドレンパッドの上約1/4インチ(6.35ミリ)に位置するまでエレベータを下げる。ステップ4) エレベータシャフトノブを交互に1回転ずつ左回りにまわす。これによりシャフトのねじ端がプラットホームから外れる。プラットホームがシャフトから外れてドレンパッド上に落ちるまでこのステップを繰り返す。

ステップ5) ドレントレーの乾燥したプラットホームの取り外しのために必要に応じて、上向き矢印キーを操作して、エレベータシャフトを上げる。

ステップ6) プロセスチャンバから、ドレントレーおよび部品の付いたエレベータプラットホームを取り出す。部品の損傷を防ぐためにプラットホームの位置を保つ。

#### 【0389】吸い取り

ステップ1) ドレントレーおよび部品の付いたエレベータプラットホームを作業平面に置く。

ステップ2) 綿棒を用いて、完全に排液されなかった隅、細部その他の部分の余剰樹脂をていねいに除去する。必要に応じて、時間をかけ、繰り返す。

#### 【0390】ポストキュア

以下のステップにおいては必ず手袋を着用する。

ステップ1) ドレントレーおよび物体の付いたエレベータプラットホームをPCA(ポストキュア装置)に入れる。このとき、ドレンパッドその他の易燃性材料をPCA内に入れないようにする。

ステップ2) 紫外線ランプに暴露される全表面が粘着性を持たなくなるまで、部品をポストキュアする。硬化時間は短くする(5~10分)。

ステップ3) 細目の歯ののこぎりで、プラットホームに接続している付近の支持体を慎重に切る。

ステップ4) 切断後、のこ屑や破片などを取り除くために物体を清掃する。残留物を正しく処分する。

ステップ5) 必要な場合、未硬化表面をPCAの紫外線ランプに暴露させるために物体を裏返す(または横に立てる)。

ステップ6) 全表面が粘着性を持たなくなるまで部品をポストキュアする。数回の個別の実行を要する場合もある。

#### 【0391】プラットホームの交換

ステップ1) プラットホームから樹脂残留物をこすり落とす。プラットホームのねじ孔を#10-32タップでタップを立てる。

ステップ2) プラットホームのねじ孔がロッドのねじ端と整列するように、プラットホームをエレベータロッド

の下に保持する。

ステップ3) シャフトノブを交互に1回転ずつ右回りにまわす。プラットホームがエレベータシャフトに確実に取り付けられるまでこのステップを繰り返す。

#### 【0392】支持体の除去および仕上げ

ステップ1) やすり、研削工具、耳取りカッタその他適切な工具によって支持体を慎重に切り落とす。

ステップ2) やすりで表面を平滑にする。

ステップ3) 必要に応じて、物体にサンダー仕上げ、サンドブラスト仕上げ、塗装などを行う。

#### 【0393】PCAの操作

ステップ1) プラットホームに結合されたままの部品を、第54a図に示すように、炉の中央に置く。最大数の表面の均一な(できる限り90°に近く)露光が得られるようにランプを向ける。

ステップ2) タイマを10~20分に設定する。

ステップ3) タイマが終了した後、MAIN POWERスイッチをOFFにする。

ステップ4) 炉から物体およびプラットホームを取り出し、プラットホームから部品を外す。未硬化表面が変形しないように注意する。

ステップ5) 第54b図に示すように、残りの表面の大部分が露光するようにターンテーブル上の物体の向きを変える。

ステップ6) ステップ2および3を繰り返す。

ステップ7) 第54c図に示すように、残りの全表面が硬化する最良の位置に部品およびランプを向け直す。これは数回の実行を要する場合もある。

#### 【0394】3. 14 部品製作チェックリスト

以下は、立体造形部品の製作のステップを踏んだチェックリストである。開始は立体造形に関係なく行われるCAD設計である。必要なすべてのハードウェアおよびソフトウェアが設置され運用可能であることを前提としている。

##### 1. CAD設計

\_\_\_物体が閉鎖体積を定義していることを確認する。

\_\_\_必要なCAD分解能を選択する

##### 2. 部品の配向

\_\_\_部品は、できる限り原点に近く、完全に正のCAD空間に位置決めする

\_\_\_以下の目的で配向を最適化する

部品が樹脂タンク内に適合する

無支持表面の数が最小になる

垂直面および上向き水平面が最大になる

傾斜表面が最小になる

排液が最適になる

閉じ込められる液体量が最小になる

##### 3. 支持体の設計および配向

\_\_\_支持体の設計

配置

間隔

配向

高さ

幅

厚さ

\_\_\_ 支持体の2～3層を物体に重ねる

#### 4. CADインタフェース

\_\_\_ 立体造形ファイルを作成する

\_\_\_ .STLファイルをスライスコンピュータに転送する

#### 5. スライス

\_\_\_ 標準オプションの変更

DATABASEファイル名

分解能

層厚さ

クロスハッチベクトル間隔

外皮充填ベクトル間隔

走査小面の最小表面角度

クロスハッチ最小交差角

出力エクストラパラメータ

\_\_\_ エクストラパラメータを指定する

\_\_\_ オプションファイルをセーブする

\_\_\_ ファイルをスライスするためにDoSlice を実行する

\_\_\_ すべての物体および支持体ファイルをスライスするために繰り返す

#### 6. スライスファイルの制御コンピュータへの転送

\_\_\_ メインメニューからNETWORK を選択する

\_\_\_ FTPを実行する

\_\_\_ GETまたはMGETファイル

\_\_\_ 転送を確認するために制御コンピュータの作業ディレクトリをチェックする

#### 7. マージ

\_\_\_ メインメニューからMERGE を選択する

\_\_\_ 入出力ファイル名を入力する

\_\_\_ 入力されたファイル名およびシーケンスを記録する

\_\_\_ 完全な実行を確認するためにMERGE 画面をチェックする

#### 8. レーザパワーの測定

\_\_\_ メインメニューからUTILITIES を選択する

\_\_\_ BEAM ANALYSIS を実行する

\_\_\_ 両方のセンサの読みからの平均パワーを記録する

#### 9. PARAMETERS MANAGER

\_\_\_ XY専用スケールファクタを計算し入力する

\_\_\_ 最小／最大ビューポート座標を計算し入力する

\_\_\_ 多物体位置決め座標を計算し入力する

#### 10. レンジファイルの作成

\_\_\_ レンジを追加する

\_\_\_ ブロックを確認する

\_\_\_ ステップピリオドを計算するために硬化深さを編集する

\_\_\_ 浸漬パラメータを編集する

\_\_\_ レンジファイルをセーブする

#### 11. システムのチェック

\_\_\_ 樹脂タンクに樹脂を満たす

\_\_\_ あふれ弁を開ける

\_\_\_ レーザおよびシャッタの状態インジケータをチェックする

\_\_\_ ELEVATOR MOVERによりエレベータプラットフォームを位置決めする

#### 12. 部品の製作

\_\_\_ メインメニューからBUILDを選択する

\_\_\_ 最初の数層のプラットフォームへの付着およびタンク内の適正位置をチェックする

#### 13. 後処理

\_\_\_ 物体を引き上げ、余剰樹脂をタンクに排出させる

\_\_\_ 残りの樹脂を吸い取りにより除去する

\_\_\_ プラットホームで部品を紫外線硬化させる

\_\_\_ 硬化後、物体をプラットフォームから外す

\_\_\_ 部品から支持体を取り除く

\_\_\_ (オプション) 再仕上げる

\_\_\_ 清掃およびプラットフォームを再設置する

#### 14. (オプション) 立体造形およびスライスファイルの表示

\_\_\_ .STLファイルを表示させる場合は、FTPによってファイルを転送する

\_\_\_ メインメニューからVIEWを選択する

\_\_\_ ファイル名を入力し、表示するパラメータを指定する。

#### 【0395】4. 物体製作上の問題とその対策

以下に、一般的な物体製作上の問題とその対策を要約して述べる。

#### 【0396】

#### 【表8】

| プロセス段階  | 問 題                                 | 対 策                                                                                                           |
|---------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CAD設計   | CADモデルが閉鎖体積にならない。立体造形ファイルがスライスされない。 | 水平断面が、物体の内側と外側を完全に分離する閉曲線で構成されるように、モデルを設計し直す。                                                                 |
| 配向および支持 | 全物体が正のCAD空間にない。立体造形ファイルがスライスされない。   | 物体を正のXYZ空間に変換する。できる限り原点に近く位置決めする。                                                                             |
|         | 物体製作時に液状樹脂が閉じ込められる。これは部品製作を遅くする。    | 物体が製作されるにつれて排液するように部品の向きを変える。これができない場合は、物体を分割し、その分割した部分を個別に製作した後、後処理において組み立てる。別の方法は、必要に応じて、表面に排液孔を付け加えることである。 |
|         | ブラットホームの孔からの支持体の垂れ下がり。              | 支持体がブラットホームに接する部分の幅が0.65インチ(16.51ミリ)以上になるように支持体を設計し直す。                                                        |
|         | 物体が支持体に適切に結合しなかった。                  | 支持体が、2、3層厚さ分垂直に物体に重なり合うように(通常、40~60ミル(1.02~1.52ミリ))設計し直す。この重なりあいの物体および支持体の層は同一か、または均等に分割可能な層厚さでなければならない。      |

【0397】

【表9】

|              |                                             |                                                                                                        |
|--------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| スライス         | 物体が垂直の傾斜をもって製作されるような層のゆがみ。物体の層の垂れ下がりまたはカール。 | 直交、円筒または三角形ウェブ支持体を追加する。支持体をさらに追加する。支持体は一般に0.1~0.8インチ(2.54~20.32ミリ)の間隔を開ける                              |
|              | 物体の浸漬の際に物体の一部がずれた。                          | ずれる部分を固定するために支持体を追加する。                                                                                 |
|              | 間違った軸に沿ってスライスされたファイル。物体がフラットホームに直接製作される。    | スライスを実行し直し、垂直CAD軸に一致するようにスライス垂直軸(エクストパラメータ)を変更する。                                                      |
|              | 層厚さに間違った単位を使用した(ミルではなくインチ)。                 | 正しい層厚さでSLICEを再実行する。                                                                                    |
|              | スライス分解能が低すぎる三角形がつぶれて部品の変形を生じる。              | 高い分解能でSLICEを再実行する。                                                                                     |
| ネットワークおよびマージ | 近平坦表面が粗すぎる(階段状の外観になる)。                      | 近平坦領域をより薄肉の層でSLICEを再実行するか、完成部品をペーパー仕上げする。                                                              |
|              | 物体の近平坦表面に隙間がある。                             | SLICEを再実行し、MSA(走査小面の最小表面角度)を大きくする。ただし、MSAを大きくしすぎると、SLICEが必要以上に多数の外皮ベクトルを生成し、実行時間およびファイルサイズを増大させる原因となる。 |
|              | ディスクスペースの不足。                                | 古くなったファイルを削除または保存する。                                                                                   |

【0398】

【表10】

|      |                                             |                                                                                                                                                                                                                      |
|------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ブリベア | 不適切な層間結合による層の分離またはカール。                      | はじめに、CALC SP を実行した場合に現在のレーザーパワーが使用されたかどうかを確認する。使用されていない場合は、ユーティリティのBEAM ANALYSIS を実行し、レーザーパワーを測定した後、RANGE MANAGER のオプションであるCALC SP を再実行してステップピリオドを計算し直す。現在のレーザーパワーが使用された場合は、6 ミル(0.15ミリ)の超過深さを保証するためにCALC SP を再実行する。 |
|      | 支持体の最初の層がフラットホームに接着しなかった。                   | RANGE MANAGER のオプションであるCALC SP を用いて、そのステップピリオドを推奨値の3倍に高める、さらに／または、エレベータフラットホームの開始高さを調整する。                                                                                                                            |
|      | 水平表面のふくれ。                                   | RANGE MANAGER を用いてディップディレイ(パラメータZW)を大きくするか、または、物体がフラットホーム上0.25インチ以上に位置するように物体の高さを増大させる。の縁をあふれ出る十分な時間がなかった余剰樹脂上に新しい層が作成された場合に、表面はふくれを生じやすい。                                                                           |
|      | 最終物体がCADモデルと同一の寸法でない。                       | PARAMETERS MANAGERを用いてXY専用スケールファクタを訂正し、BUILD を再実行する。                                                                                                                                                                 |
|      | 物体がBUILD ビューポート上にまったく示されない、または、部分的にしか示されない。 | PARAMETERS MANAGERを用いて新しいビューポート座標を入力し、BUILD を再実行する。                                                                                                                                                                  |

#### 【0399】5. 立体造形の化学

立体造形は、液状樹脂モノマーが紫外線暴露によって固体重合体に転化する光重合と呼ばれるプロセスによって行われる。重合が生じる程度、すなわち材料の硬化度は、吸収された全光エネルギーにもとづいて異なる。

【0400】液状樹脂の重合はまったく新しい技術ではなく、すでに20年以上にわたって紫外線インク、塗料、ワニス、プリント回路などの用途で用いられている。しかし、光エネルギー源としてのレーザーの利用は、主として基礎学術研究計画に端を発して使用されている近年の革新技術である。

#### 【0401】感光性重合体

立体造形で使用される感光性重合体は、2種の基礎材料から構成されている。第1は、レーザーエネルギーを吸収し、重合プロセスを開始させる反応性ラジカル種を形成する光重合開始剤である。光重合開始剤はまた、ラジカル源への暴露によって重合するアクリル官能化モノマーおよびオリゴマーも含む。

【0402】重合体には熱に敏感な熱硬化性材料もあり、最終物体の熱硬化ができる。全体的に、紫外線硬化

性重合体は、レーザーによる硬化後に加熱された場合、容易に重合しないが、液状では、過熱された場合、管理できずに重合を生じる。

【0403】感光性重合体の前述の検討および、光重合プロセスについての以下の検討は、立体造形をより十分に理解するために必要な基本的な概要を与えているにすぎない。これらの両主題に関する詳細な情報は、以下の参考文献に述べられている。(“UV Curing”, vols. 1 & 2, Editor, S. Peter Pappas, Science and Technology Marketing Corp., Norwalk, Connecticut (1980).)

#### 光重合プロセス

光重合プロセスの一連の事象は以下の通りである。すなわち、光重合開始剤の分子(PI)はレーザーから紫外線を吸収し、励起状態(一重項状態1P1\*)に転化される。この短期間・高エネルギー種は、第56図に示すように、すぐに低エネルギー励起状態(三重項状態3P1\*)に弛緩する。

【0404】励起された3P1\*分子は、使用する光重合開始剤に応じた生成反応および数によって、一次ラジカル

(R) と呼ばれる 1 以上 (一般には 1) の種の生成を触媒する。

【0405】

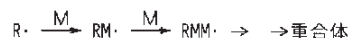
【数 1】



【0406】一次ラジカルはアクリル単量体 (M) と反応し、新しいラジカル種 (RM $\cdot$ ) を形成する。この反応が何度も繰り返され重合体鎖を形成する連鎖生長反応 (重合) が開始される。

【0407】

【数 2】



【0408】重合体は、固体として明白になるまで急速に分子量を増加させる。光エネルギーが取り除かれた場合は、反応はただちに停止する。反応は、利用できるモノマーの濃度が減少するにつれて減速し、最終的に停止する。紫外線レーザーが感光性重合体の液面に当てられて形成される固体重合体の全寸法は、レーザービームの強度および露光期間によって制御される。露光を長くすれば、または、レーザーエネルギーを増大させれば、固体領域の深さおよび幅は増大する。

【0409】液体および固体として Desolite SLR 800 の物理的性質は、以下のように要約される。

【0410】液体での性質は、粘度 (ブルックフィールド cps, 25℃時) は 1350 センチポアズ、固形分 (反応性物質) は 99% 超で揮発性は低い。

【0411】固体での性質は抽出物 (MEK (メチルエチルケトン) 溶剤による) は 5% 未満、引張り弾性率は 140 kpsi、引張り強さは 6.7 kpsi、破断点引張り伸びは ~7% である。

【0412】SLR 800 樹脂を用いて作成したプラスチック物体は、紫外線ポストキュア後、やや脆い傾向がある。それでも、後硬化後の物体は、十分注意すれば、ペーパー仕上げ、サンドブラスト仕上げおよびドリル加工を行うことができる。

【0413】完成物体の表面は、ペーパー仕上げ後、希釈樹脂 (MEK (メチルエチルケトン) の 1 : 1 混合液) の塗布および紫外線硬化を行うことにより、ガラス状の仕上がりまで平滑にすることができる。物体の欠陥 (割れ、欠け、孔さびなど) は、通常、同様の樹脂/紫外線硬化技術によって除去できる。完成物体は、アクリル樹脂に代表される接着性を示しており、従って部品を結合するためには標準のエポキシ系接着剤が使用できる。これまでわかっている最善の接着剤の一つは、紫外線硬化を行っての樹脂自体である。

【0414】第 5 7 図に示すように、比較的小さな温度変化も、液状樹脂の粘度に大きな変化をもたらす。温度が上昇するにつれて粘度は低下し、逆に温度が低下すれば粘度は増大する。粘度が高くなり、従って粘度が低下すれば、浸漬においてより早く安定し、後処理において

より早く排出され、薄い液体を生じる。

【0415】これは、高プロセス温度は製作中に物体の構造保全性を低下させ、液状樹脂の管理不能な重合を生じる可能性があることを除けば、好ましい選択項目と思われる。

【0416】6. ビュレット、バンジョー トップおよび作業曲線ビュレット

感光性重合体の液面に当てられた紫外線レーザービームは、液体の小さな弾丸状体積を凝固硬化させる。この特質は以下のように説明できる。大きな値が高強度を示す第 5 8 図にみられるように、レーザービームの強度分布は、ビームの中心を最大として、各点で異なる。液体は、それぞれがレーザー光の一部 (1/2 など) を吸収し、その残りを下位のシートに透過させ、極めて薄い平面シートから構成されると考えられる。レーザービームが垂直に 1 秒間液体を照射した場合、この間、X 単位の光が最上位のシートを照らし、X/2 単位がそのシートによって吸収され、残りの X/2 は 2 番目のシートの点にまで透過され、X/4 は 3 番目のシートの点にまで透過される、というようになる。光が多く吸収されればそれだけ重合が生じるので、最上位のシートが最も堅くなり、シートが周囲の液体と固さが変わらない程度までエネルギーを吸収しなくなるまで、順次続いていく。固体プラスチックが液体から引き出されると、この最後のシートは、固体プラスチックに対するその接着力が下位の液体に対する接着力を下回るようになるので、液面に残される。

【0417】硬化プラスチックの深さは、X の増減によって変化し、また、(強度分布によって示されたように) ビーム最前部が均一ではないので、レーザービームの幅によっても異なる。従って、ビームの中心は、最も高強度の領域であるので最深部まで硬化し、周辺領域になるにつれて硬化する深さは小さくなる。(ポストキュア後に) 得られる最大の固体の深さは、硬化深さとして知られる。ビュレット形状の発生には第 2 のファクタも役割を果たす。固体プラスチックの屈折率は液体の屈折率に比べてわずかに高いので、レーザー光は、液体が固体に変化するにつれて変化しながら中心に向かって屈折される。一定の角度で、光は界面からと同様に反射されることもある。この特性は、第 5 9 図に図示するように、ビームの強度が唯一の検討事項である場合よりも、ビュレットに狭い形状を与える傾向がある。

【0418】ビュレットは、立体造形の構成単位であり、連続するビュレットの重なりが線を形成し、線の重なりが表面を形成する。前述のように、ビュレットの形状は、大部分、ビームプロファイルおよび光学効果によって決定される。従って、その全寸法は、レーザーエネルギーの液体への入射量 (この量は露光量として知られる) によって決定される。露光量は、レーザー強度とステッピングピリオド (線を形成する際にレーザーの移動間の 10 マ

イクロ秒増分の数を指定する作業パラメータ)との積に比例する。従って、ステップピリオドは、レーザが一定の位置に焦点を合わせている時間および次の位置に移動するために要する短い推移時間の尺度である。実際には、レーザ強度は調整されないで、露光量はステップピリオド値の選択によって制御される。

【0419】SLA-1によって製造された実際のビュレットから得られた測定値は、ビュレットの寸法を変化させることに加え、大きなステップピリオド値(5~4000の範囲が利用できる)もビュレットの形状に影響する。各種ステップピリオド値でのサンプルビュレットの形状および相対寸法を第60図に示す。

【0420】第61図に示すように、ビュレットは重なり合って線を形成する。ビュレットの形成間でレーザが移動する距離が、ステップサイズとして知られるパラメータである。ステップサイズがビュレットの最大直径(ビュレットの最上部のさしわたしで測定)以下であれば、ビュレットは重なり合い、連続線が形成される。選択するステップサイズに応じて、描かれた線の経路に沿った液体の多数の点が、1ステップピリオドよりも多くの間露光を受ける。こうした点は、下図に示すように、周囲の点よりも大きく硬化される。

【0421】線の厚さは、それを形成するビュレットの累積硬化深さである。連続層での線が相互に接合結合するようにさせる場合、上位の線の厚さは、層間の分離(スライス厚さ)よりも大きくしなければならず、それによって層は垂直に重なる。

【0422】最上部の層が形成されている間、その下の層は液面に十分に近く、光を吸収し、より硬化するので、層間の結合が生じる。従って、下位の層と新しく形成された最上部の層との間に化学結合が形成される。

【0423】強力な層間結合および、それに伴う十分な重なりが、強力な部品を製作するために必要である。同様に重要なことであるが、重なりが大きすぎると層がカールする原因となる。通常、層厚さ5~30ミル(0.13~0.76ミリ)の場合、6~8ミル(0.15~0.20ミリ)の重なりで良好な結果が得られる。

【0424】適切な重なりを得るには、ステップピリオドの値によってどのような硬化深さを生じるかを知る必要がある。また、異なるステップピリオド値で作成される線の幅も知る必要がある。これは特に、薄肉の垂直壁を製作する場合、または、傾斜(近平坦)表面が隙間を避けるために外皮充填する必要が出てくる角度を判定しようとする場合に要する。作業曲線からこうした情報が得られる。

【0425】定義された作業曲線

作業曲線は、線高さ(硬化深さ)および線幅をステップピリオド値の関数として示すグラフである。第62図に示すように、これらの関係は、線形関係ではなく、対数関係となっている。すなわち、ステップピリオドに値X

を掛けると、得られる線高さまたは幅は、X倍の大きさにはならず、相当少なくなる。作業曲線は、ステップピリオドの対数を線高さまたは幅に対してプロットすると、それらの点は直線に関して多少降下するようになることを示している。従って、線は、線高さまたは幅をステップピリオド値に近似的に相関させる一次方程式を得るために各点に一致させることができる。

【0426】いくつかの変項が作業曲線の傾きおよび交点に影響する。レーザの紫外線に対する感度は、樹脂によって異なる。レーザのパワーもまた、SLA個々によって異なり、さらに同一のSLAでさえ日によって変化する。最後に、レーザが液面に焦点を結ぶ度合い(すなわち、光学装置が正しくアライメントが行われているか、また、それらが清浄にされているかどうか)も作業曲線に影響を与える。

【0427】作業曲線のデータの取得

使用する特定の樹脂およびレーザに関する、各種ステップピリオド値での線高さおよび幅のデータは、バンジョートップとして知られる小型単層部品を作成し測定することによって得られる。バンジョートップは液面で作成され、エレベータプラットフォームには取り付けられない。第63図に示すように、バンジョートップは、異なるステップピリオドおよび固定ステップサイズ2を用いて形成された5本の糸(線)を持っている。

【0428】バンジョートップが排液され硬化された後、これらの糸の高さおよび幅を測定する。一般に、広範なステップピリオドについて評価するために、一般的な1ステップピリオドによって2つのバンジョートップを製作する。SLA-1は5~4000のステップピリオドが可能である。通常、1つのバンジョートップはステップピリオド2560、1280、640、320および160によって、第2のバンジョートップはステップピリオド160、80、40、20および10によって製作する。

【0429】バンジョートップの糸の測定

ユーティリティメニューのMAKE TEST PARTオプションを用いてバンジョートップを形成する。バンジョートップの糸の高さおよび幅の測定は以下の通りである。

【0430】ステップ1)バンジョートップを上面を上向きにして測定用顕微鏡または他の非接触測定装置のステージに置く。

ステップ2)測定する第1の糸をステージ移動軸に対して垂直に、また、糸の中心が視野の中心付近になるように向ける。

ステップ3)糸の一端に沿ってクロスヘアが中心になるようにステージを動かす。位置決めねじのあそびの作用を最小限に押さえるために測定値が1方向だけから得られる位置にステージを常に動かすように注意する。

ステップ4)ステージ移動を測定するカウンタをゼロに設定、またはステージ位置を記録する。

ステップ5)クロスヘアが糸の反対の端に中心を合わせ

るまでステージを移動させ、その値を記録する。  
ステップ6) ステップ2～5を繰り返して残りの糸の幅を測定する。すべての線幅データをステップピリオド値に対する表に編集する。

ステップ7) 第1のバンジョートップの短端を固定し、ステップ2～5を繰り返して線高さを測定する。測定後、次の糸を出すために各糸を切除する。

ステップ8) 残りの各糸についてステップ7を繰り返す。すべての線高さデータをステップピリオド値に対する表に編集する。バンジョートップから測定されたデータは、ユーティリティメニューのMATERIAL MANAGERを用いて入力する。プログラムはその後、最小2乗法によって直線をデータ点に合わせ、各直線の傾きおよびY切片を計算する。作業曲線からの傾きおよびY切片によってステップピリオドに対する線高さおよび幅に関する式が作成できる。これらの式は以下の通りである。

(1) 高さ=傾き  $\log SP + Y$ 切片、または、

$$SP = 10 \text{ (高さ} - Y \text{切片)} / \text{傾き}$$

(2) 幅=傾き  $\log SP + Y$ 切片、または、

$$SP = 10 \text{ (幅} - Y \text{切片)} / \text{傾き}$$

このような式がMATERIA MANAGERによってどのように使用されるかの例として、20ミル(0.51ミリ)の層厚さについての正しいステップピリオドを示す。層間の適切な付着を保証するために、26ミル(0.66ミリ)の硬化深さが必要であることに留意する。高さの曲線の傾きを13.76、Y切片を-6.50とする。式(1)の第2形式を用いると、正しいステップピリオドは次のようになる。

$$SP = 10^{[(26.00 - 6.50) / 13.76]}$$

$$= 10^{2.36}$$

$$= 230$$

式(2)の第1形式を用いて、ステップピリオド230での線幅を計算することもできる。幅の曲線の傾きを6.52、Y切片を2.91とすれば、線幅は次のようになる。

$$\text{幅} = 6.52 \log 230 + 2.91$$

$$= 6.52(2.36) + 2.91$$

$$= 18.3 \text{ (ミル)} \text{ (0.46ミリ)}$$

線幅は、外皮が層境界線間の隙間を充填するのに要する表面角度を知る必要があることから、平坦に近い表面を設計する際に特に考慮を要する。

【0431】線幅が特に考慮を要する別の場合は、外皮ベクトルについてステップピリオドを計算する場合である。外皮ベクトルは、1～4ミル(0.0254～0.10ミリ)の間隔で分離され、大幅に重なり合う。(例えば、2ミル(0.051ミリ)の外皮充填間隔を用いた場合、幅8ミル(0.20ミリ)の線の幅の範囲内で、4の重なり合う露光が生じる。)従って、希望の外皮厚さを得るには、この厚さの単一の線について使用するステップピリオドは、ベクトル間隔を充填するために線幅の比によって低減しなければならない。前記の例では、2ミル(0.051ミリ)の間隔にういて  $8 / 2 = 4$  となる。

【0432】通常、作業曲線は、樹脂の種類によってレーザーおよび光学装置を特徴づけるために一度だけ作成すればよいものである。しかし、レーザーパワーの変動のために、部品を製作する前に現在のパワーを測定する必要がある。レーザーパワーを変更した場合、プリペアメニューのオプションであるRANGE MANAGERを使用して、.Rレンジファイルのステップピリオド値を更新する。

【0433】以下に、ここで使用した用語について簡単に説明する。

【0434】「60/120 Hatch vector (60/120° ハッチベクトル)」X軸に対して60° および120° で描かれるクロスハッチベクトル。

【0435】「BANJOTOP (バンジョートップ)」それぞれ異なるステップピリオド値で描かれる5列の線による浮遊単層物体。作業曲線のための硬化深さおよび線幅データを与える。

【0436】「BEAM ANALYSIS (ビーム分析)」レーザーのパワーおよび強度を測定するためにプロセスチャンバに設置されたビームプロファイラにレーザービームの焦点を合わせるユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0437】「BEAM EXPANDER (ビームエキスパンダ)」レーザービームを拡大し、ビームが樹脂液面上に小さな高エネルギースポットに収束するように焦点を合わせる、光学プレートに取り付けられたレンズ集合体。

【0438】「BEAM PROFILE (ビームプロフィール)」レーザービームエネルギーの空間分布を表すドットまたは数のパターン。レーザーを調整または交換すべきかどうか、または、光学装置を清掃すべきかどうかを判定するために使用される。

【0439】「BEAM PROFILER (ビームプロファイラ)」レーザーのパワーおよび強度を測定する装置(放射計)。2基のビームプロファイラがプロセスチャンバの樹脂タンクの片側に設置されている。

【0440】「BEAM-TURNING MIRRORS (ビーム反射鏡)」光学プレートに設置され、325nm 紫外光を反射し、他の全波長を透過させるように特殊コートされた鏡。レーザー出口からのレーザービームをビームエキスパンダの入口開口に反射させ、その後ビームエキスパンダの出口開口からダイナミックミラーに反射させる。

【0441】「BUILD (製作)」立体造形物体の製作を監視し、ダイナミックミラーおよびエレベータを制御するメインメニューのオプションの1つ。

【0442】「BULLET (ビュレット)」光硬化性樹脂の液面での静止したレーザービームによって製作される固体プラスチックの特徴的な形状

「CAD」コンピュータ援用設計[Computer-Aided Design]。

【0443】「CAD RESOLUTION (CAD 分解能)」CADシステム内での表面の内部近似。

【0444】「CIRCULAR WEB SUPPORT (円筒ウェブ支持体)」大型・重量物体を支持できる中空管構造。

【0445】「CONTROL COMPUTER (制御コンピュータ)」SLA-1キャビネット内に設置された、立体造形物体の製作を制御するためのコンピュータ。

【0446】「CROSS WEB SUPPORT (直交ウェブ支持体)」直角で交差する2のストレートウェブ支持体。

【0447】「CROSSHATCH (クロスハッチ)」スライシングにおいて生成される、物体表面を強化するための層境界線間に描かれるベクトル。

【0448】「CURE DEPTH (硬化深さ)」樹脂の硬化した線の厚さまたは深さ。いずれの線の硬化深さも、その線の走査に使用されたステップピリオドおよびステップサイズの値によって決まる。

【0449】「CURL (カール)」特徴的な種類の変形 (層のカール)。

【0450】「DIP DELAY (ディップディレイ)」次の層を描くために浸漬の開始と第1の層の移動との間の時間を定義する物体製作パラメータ。樹脂液面が平らになるようにさせるための遅延。

【0451】「DRAWING SPEED (描く速度)」固体プラスチックの線および表面を形成するために樹脂液面上をレーザがトレースする速度、すなわち走査速度。指定の層厚さおよびレーザのパワーに応じて異なる。

【0452】「DYNAMIC MIRRORS (ダイナミックミラー)」レーザビームを樹脂液面の任意の点に向けるための検流計制御走査鏡。

【0453】「EDIT A FILE (ファイル編集)」テキストファイルを修正するために用いるユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0454】「ELEVATOR (エレベータ)」プラットフォームおよび部品を垂直 (Z) 軸方向に上下させる構成機器。

【0455】「ELEVATOR MOVER (エレベータ移動)」制御コンピュータの数値キーパッドの上向き矢印キー (↑) および下向き矢印キー (↓) によってエレベータプラットフォームを位置決めするために用いるユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0456】「ELEVATOR PLATFORM (エレベータプラットフォーム)」SLA-1によって製作される物体をエレベータに取り付け支持するための穴あきのアルミニウム製の台。

【0457】「ENTRAPPED VOLUME (閉じこめられた樹脂量)」浸漬中に液状樹脂が排出できない物体の容積。

【0458】「ETHERNET (イーサネット [Ethernet])」デジタル・イクイップメント社、インテル社およびゼロックス社によって共同開発された高速コンピュータ間通信システム。スライスコンピュータと制御コンピュータとの間のファイル転送に用いられる。

【0459】「EXPOSURE (露光量)」レーザの強度とス

テップピリオドとの積。

【0460】「FILL (充填)」立体造形部品の水平面 (外皮) を構成する平行ベクトルを重なり合わせるこ

と。

【0461】「FLAT TRIANGLE (平坦三角形)」水平な立体造形 (.STL) ファイルの三角形。

【0462】「FTP (ファイル転送プログラム [File Transfer Program])」スライスコンピュータと制御コンピュータ間でファイルを転送するためのネットワークメニューのオプションの1つ。

【0463】「GREEN PART (未処理物体)」紫外線ポストキュア前の立体造形物体。

【0464】「HATCH SPACING (ハッチスペーシング)」クロスハッチ間の垂直間隔をCAD単位で指定するためのSLICEパラメータ。

【0465】「LASER (レーザ)」光硬化性樹脂を重合させるために必要な光エネルギーを発生する装置。SLA-1のヘリウム・カドミウムレーザは、波長325nm時、15mWの公称パワーを持つ。

【0466】「LAYER FILE (層 (.L) ファイル)」部品の各層のベクトルブロックの形式を定義するMERGEの出力ファイルの1つ。

【0467】「LAYER BORDER (LB) VECTOR (層境界線 (LB) ベクトル)」層の周囲を定義するベクトル。必要な場合、層境界線の間にクロスハッチベクトルおよび充填ベクトルが描かれる。

【0468】「LAYER MANAGER (レイヤー管理)」特定のレンジまたは層 (.L) ファイル全体の中でベクトルブロックを見つけるために用いるプリベアメニューのオプションの1つ。

【0469】「LAYER THICKNESS (層厚さ)」プラスチックの硬化した1層の厚さおよび、固定または可変層厚さを指定するために用いるSLICEパラメータ。1層または1群の層について変化させたり、部品全体について1つの値に設定することができる。

【0470】「LEVELING (レベリング)」部品浸漬後、樹脂液面が安定し平らになる過程。レベリングを考慮した時間は、部品製作パラメータZW (ディップディレイ) によって定義される。

【0471】「LINE (線)」ビュレットを重なり合わせるにより生じる硬化プラスチックの直線。

【0472】「LINE HEIGHT (線高さ)」レーザによって硬化した樹脂の線の深さ。露光量に応じて変えられ、ステップピリオドの選択によって制御される。

【0473】「LINE WIDTH (線幅)」レーザによって硬化した樹脂の線の横幅。露光量に応じて変えられる。

【0474】「MATERIAL (.MAT) FILE (材料 (.MAT) ファイル)」バンジョートップから測定された硬化深さおよび線幅を内容とするファイル。

【0475】「MAKE TEST PARTS (試験部品製作)」バ

ンジョートップを作成するために用いるユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0476】「MATERIAL MANAGER (材料管理)」バンジョートップにもとづいて新しい材料のデータを入力するために用いるユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0477】「MERGE」層(.L)、レンジ(.R)およびベクトル(.V)ファイルを作成するために物体および支持体のすべてのスライス(.SLI)ファイルを統合する、メインメニューのオプションの1つ。

【0478】「MIA (MINIMUM HATCH INTERSECT ANGLE) MIA (最小ハッチ交差角[Minimum Hatch Intersect Angle])」クロスハッチと層境界線ベクトルとの間で考慮される最小角度を定義するSLICEパラメータ。

【0479】「MONOMER (モノマー)」重合体の構成単位である低分子量化学種。

【0480】「MSA (MINIMUM SURFACE ANGLE) MSA (最小表面角[Minimum Surface Angle])」三角形が急傾斜よりも平坦に近いと分類される水平面からの角度を定義するSLICEパラメータ。近平坦三角形は外皮充填できるが、急傾斜三角形はできない。

【0481】「MSDS」材料安全データシート[Material Safety Data Sheet]

「MS-DOS [MicroSoft Disk Operating System]」制御コンピュータで用いられるオペレーティングシステム。

【0482】「MULTIPLE PART POSITIONING COORDINATE S (多部品位置決め座標)」同じBUILDの実行で、プラットフォームの物体を位置決めし、および/または、多数の物体を製作するために用いるBUILDパラメータ。

【0483】「NEAR-FLAT TRIANGLE (近平坦三角形)」ゼロより大きく、MSA以下の角度での立体造形(.STL)ファイルの三角形。

【0484】「OPTICAL WINDOW (光学窓)」光学プレートをチャンバ環境から絶縁しながら、レーザ光がプロセスチャンバに入るようにするための、ダイナミックミラー直下にある水晶窓。

【0485】「OPTICS PLATE (光学プレート)」精密なアライメントでレーザおよび光学構成機器を支えるための、プロセスチャンバ上にあるアルミニウム製プレート。

【0486】「PARAMETERS MANAGER (パラメータ管理)」部品製作パラメータを追加するために.Rファイルの編集に用いるプリバアメニューのオプションの1つ。

【0487】「PCA」ポストキュア装置[Post Curing Apparatus]。

【0488】「PCA PHOTINITIATOR (光重合開始剤)」光エネルギーを化学エネルギーに変換し、光重合(固化)プロセスを開始させる、感光性重合体中の化学物質。

【0489】「PHOTOPOLYMER (感光性重合体)」光エネ

ルギーに暴露された時に重合する、光重合開始剤、モノマーおよびオリゴマーから成る化学物質。

【0490】「PHOTOPOLYMERIZATION (光重合)」光エネルギーがモノマーまたはオリゴマー物質を重合体に転換させるプロセス。

【0491】「POST CURING APPARATUS (ポストキュア装置)」未処理の立体造形物体を硬化させるために使用する紫外線装置。

【0492】「POST PROCESS (後処理)」立体造形部品を硬化させ仕上げるためのプロセス。

【0493】「POWER SEQUENCER (電源シーケンス)」SLA-1のハードウェアを制御コンピュータのキーボードから直接電源の入切を行うために用いる、ユーティリティメニューのオプションの1つ。

【0494】「PREPARE (準備)」部品製作パラメータを指定し、レンジ(.R)ファイルを編集するために用いる、メインメニューのオプションの1つ。

【0495】「PROCESS CHAMBER (プロセスチャンバ)」樹脂タンク、エレベータおよびビームプロファイラが設置されている室。

【0496】「RANGE (レンジ)」CAD単位またはSLICE単位いずれかで、上部および下部寸法によって定義された1以上の水平スライス層の集合。物体製作パラメータ値が変更された場合は、新しいレンジを生成しなければならない。

【0497】「RANGE (.R) FILE (レンジ(.R)ファイル)」レンジによって部品製作パラメータを指定するために用いるMERGEの出力ファイル。

【0498】「RANGE MANAGER (レンジ管理)」レンジの追加または削除、ステップピリオドの計算、ディップディレイを修正するためにレンジの編集、レンジ(.R)ファイルの更新に用いる、プリバアメニューのオプションの1つ。

【0499】「REMOTE USER (リモートユーザ)」制御コンピュータのキーボードからスライスコンピュータをリモートで操作するために用いる、ネットワークメニューのオプションの1つ。

【0500】「RESIN (樹脂)」立体造形で使用する感光性重合体化学物質の別称。

【0501】「RESIN VAT (樹脂タンク)」その中で物体が形成される樹脂の容器。

【0502】「SENSITIZATION (過敏)」一般に反復する皮膚接触によって生じる光硬化性樹脂に対するアレルギー反応。

【0503】「SHUTTERS (シャッター)」連動スイッチが作動した時にレーザビームをシャ断する電磁式羽板。

【0504】「SKIN (SKIN FILL) (外皮(外皮充填))」水平表面を充填または作成するために描かれる薄い重なり合う線。

【0505】「SLA」

立体造形装置[Stereo Lithography Apparatus]。

【0506】「SLICE (スライス)」立体造形 (.STL) ファイルを断面に分け、ベクトルデータを生成するための、スライスコンピュータで走行するプログラム。

【0507】「SLICE FILE (スライス (.STL) ファイル)」部品の製作に使用されるベクトルデータを内容とするSLICE の出力ファイル。

【0508】「SLICE COMPUTER (スライスコンピュータ)」SLICE の実行に用いられるコンピュータ。UNIXのもとで作動し、イーサネットを介して制御コンピュータと結合されている。

【0509】「SLICE RESOLUTION (SLICE 分解能)」測定各CAD単位に割り当てられるSLICE単位数を指定するSLICEパラメータ。

【0510】「STEEP TRIANGLE (急傾斜三角形)」垂直または垂直に近い立体造形 (.STL) ファイルの三角形。

【0511】「STEP PERIOD (ステップピリオド)」各レーザステップの後の遅延の長さを定義する部品製作パラメータ。

【0512】「STEP SIZE (ステップサイズ)」硬化プラスチックのビュレットの形成間にレーザが作る、ステップの大きさをミラービットで定義する物体製作パラメータ。

【0513】「STEREOLITHOGRAPHY (立体造形)」光硬化性樹脂の連続層を固化させることによりプラスチック物体を形成する三次元の造形方法。

【0514】「STEREOLITHOGRAPHY (.STL) FILE (立体造形 (.STL) ファイル)」SLICEに入力される多面体のCADファイル。

【0515】「VIEW (ビュー)」制御コンピュータ画面上で立体造形 (.STL) およびスライス (.SLI) ファイルを表示するために用いるメインメニューのオプションの1つ。

【0516】「VIEWPORT COORDINATES (ビューポート座標)」BUILD ステータス画面でビューポートの寸法をミラービットで定義する最小および最大座標。

【0517】「WEB (ウェブ)」作成および除去の容易さのために立体造形での使用が推奨される支持体形式。

【0518】「WORKING CURVE (作業曲線)」特定の樹脂による物体製作パラメータを定義するためにSLA-1および光学装置を特徴づける(特定のレーザパワーでのステップピリオドに対する線高さおよび線幅の)プロット。作業曲線を作るために用いられるデータは、バンジョートップから得られる。

【0519】「XY-ONLY SCALE FACTOR (XY専用スケールファクタ)」ベクトルデータをSLICE 単位からミラービットに変換する部品製作パラメータ。X方向およびY方向の寸法で大小部品をスライスするために使用できる。垂直(Z方向)寸法には影響しない。

【0520】「STRAIGHT WEB SUPPORT (ストレートウェ

ブ支持体)」最低6層によって定義された薄肉の長方形またはひれ状構造。

【0521】「SUPPORTS (支持体)」エレベータプラットフォーム上で物体を支持し、物体が製作される強固な基礎を与え、層部分を接着支持するためにCADシステムで設計された構造物。MERGEによって物体ファイルと結合されるまで、個別のファイルで処理することができる。

【0522】「TEM」  
TEM モード[Transverse Electromagnetic Mode]。

【0523】「TESSELLATE (多面分割)」三角形その他の多角形によるCAD表面の表現。

【0524】「TRIANGULAR WEB SUPPORT (三角形ウェブ支持体)」三角形の支持構造物。

【0525】「UNIX」スライスコンピュータで使用されるマルチタスク・マルチユーザオペレーティングシステム。

【0526】「VECTOR (ベクトル)」始点および終点座標によって表現される有向線分。

【0527】「VECTOR (.V) (ベクトル (.V) ファイル)」全マージファイルについての層ごとのベクトルデータを内容とするMERGE の出力ファイル

「VECTOR BLOCK (ベクトルブロック)」類似ブロック(層境界線、クロスハッチまたは充填)の集合。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施のための立体造形システムの全体ブロック図

【図2】本発明の立体造形を実施する際に用いられる基本概念を示すフローチャート

【図3】本発明の立体造形を実施する際に用いられる別の基本概念を示すフローチャート

【図4】本発明の実施に適切なシステムの略立面断面図およびブロック図の組合せ

【図5】本発明の実施のためのシステムの別の実施例の立面断面図

【図6】立体造形システムの全体のデータの流れ、データ操作およびデータ管理をより詳細に示すソフトウェア・アークテクチャのフローチャート

【図7a】、

【図7b】支持体が、クロスハッチ・ベクトルで描かれるまで、層輪郭線をどのように正しい位置に固定するかを示す図

【図8a】、

【図8b】支持体が片持ばりおよび類似の構造の変形およびカールをどのように防止するかを示す図

【図9a】、

【図9b】物体が製作されている間に一時的に無支持となる層部分をどのように付着するかを示す図

【図10a】、

【図10b】垂直ウェブ支持体が層の歪をどのように防止するかを示す図

【図11】斜め支持体の使用を示す図  
 【図12】立体造形製法の重要な各段階を示す図  
 【図13a】～  
 【図13c】立体造形システムの主要な構成要素を示す図  
 【図14】立体造形システムのブロック図  
 【図15】立体造形システムのソフトウェア図  
 【図16a】，  
 【図16b】制御盤のスイッチおよび指示器を示す図  
 【図17】見本の部品記録を示す図  
 【図18】見本の作業曲線を示す図  
 【図19a】～  
 【図19e】光学装置の推奨清浄技術を示す図  
 【図20】エアフィルタの交換を示す図  
 【図21a】，  
 【図21b】SLICEコンピュータの構成要素を示す図  
 【図22a】，  
 【図22b】電子装置キャビネットの構成要素を示す図  
 【図23a】～  
 【図23c】光学装置の構成要素を示す図  
 【図24】チャンバの構成要素を示す図  
 【図25a】，  
 【図25b】レーザ・レゾネータの配列を示す図  
 【図26a】，  
 【図26b】光学装置の配列を示す図  
 【図27】チャンバの配列を示す図  
 【図28】SLA-1立体造形システムを示す図  
 【図29a】，  
 【図29b】電子装置キャビネットの集成装置を示す図  
 【図30】光学装置の集成装置を示す図  
 【図31a】，  
 【図31b】チャンバの集成装置を示す図  
 【図32】SLA-1の配線図を示す図  
 【図33】立体造形製法を示す図  
 【図34a】，  
 【図34b】SLA-1レーザ・ポストキュア装置を示す図  
 【図35】SLA-1の主要構成要素を示す図  
 【図36】SLA-1レーザ光学装置を示す図  
 【図37】ポストキュア装置を示す図  
 【図38a】，  
 【図38b】レーザ警告・安全情報ラベルの位置を示す図  
 【図39】試験物体を示す図  
 【図40】曲面がその近似化のためにどのように多数の三角形を要求するかを示す図  
 【図41】いずれかの(CAD)物体が、平坦な三角形、平坦に近い三角形および鋭角三角形によってどのように完全に描けるかを示す図

【図42】SLICE断面三次元「ステレオリソグラフィ」(.STL)が、どのようにして「スライス」(.SLI)をファイル生成するかを示す図  
 【図43】層境界線間の領域がクロスハッチされるか充填外皮されるかを、三角形の形式がどのようにして決定するかを示す図  
 【図44】三角形の分類が平坦に近いから急傾斜まで変化する角度が、SLICEパラメータMSAによってどのようにして定義されるかを示す図  
 【図45】SLA-1メニュー・システムを示す図  
 【図46】NETWORKがイーサネットを介して制御コンピュータとスライス・コンピュータとの間でどのようにしてファイルを転送するかを示す図  
 【図47】TERMINAL UTILITYが使用者に対して制御コンピュータからSLICEをどのようにして遠隔操作を可能にするかを示す図  
 【図48】MERGEがどのようにして部品(支持体および物体のファイル)の全部を結合し、レイヤー・ファイル(.L)、ベクトル・ファイル(.V)およびレンジ・ファイル(.R)を生成するかを示す図  
 【図49】VIEWが、STLファイルおよび.SLIファイルをどのようにして制御コンピュータ画面に表示するかを示す図  
 【図50】.STLファイルの図示を示す図  
 【図51】.SLIファイルの図示を示す図  
 【図52】BUILD状態画面を示す図  
 【図53】別の態様のBUILD状態画面を示す図  
 【図54a】～  
 【図54c】オペレーションの各段階でのPCAを示す図  
 【図55】SLA-1のヘリウム・カドミウム・レーザを示す図  
 【図56】光重合開始剤分子の励起および緩和を示す図  
 【図57】温度の小さな変化がどのようにして粘度の大きな変化をもたらすかを示す図  
 【図58】ビームの中心付近の最大値を示す強度分布を示す図  
 【図59】屈折率の変化がどのようにして銃弾形状を促進するかを示す図  
 【図60】ステップ期間値がどのようにして銃弾の全体寸法を決定するかを示す図  
 【図61】ステップの大きさが銃弾の最大径未満または以下である場合に、ある点がどのようにしてより重度に硬化されるかを示す図  
 【図62】作業曲線を示す図  
 【図63】バンジョーの頭部を示す図  
 【図64】SLAで物体を製造するために必要な手順の外観を示す図  
 【図65a】，  
 【図65b】PHIGS図形処理標準に従った物体の切

り子面表現を示す図

【図66】インテル80287 (Intel 80287) 数値双対プロセッサとの互換性がある二進浮動小数点形式を示す図

【図67】TEST 0017. STLファイルによっ

て表現される箱を示す図

【図68a】,

【図68b】試験物体の仕様を示す図

【図69a】,

【図69b】前記試験物体の空間配置を示す図

【図1】

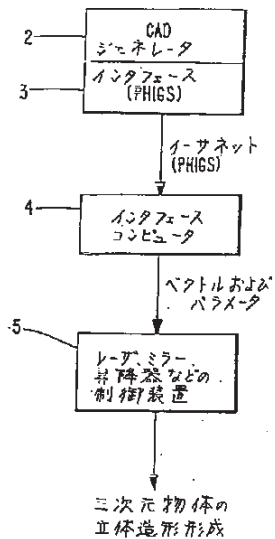


FIG. 1.

【図2】

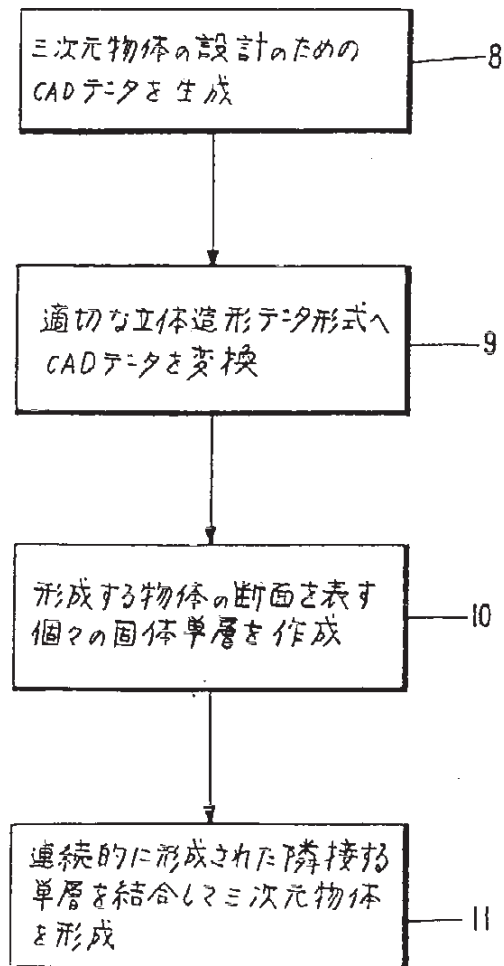


FIG. 2

【図3】

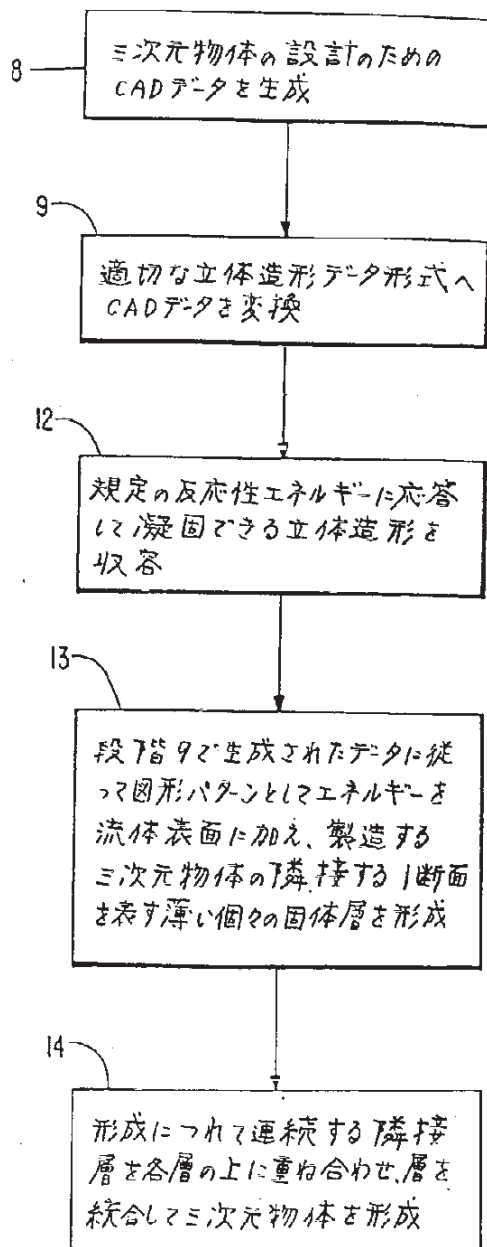
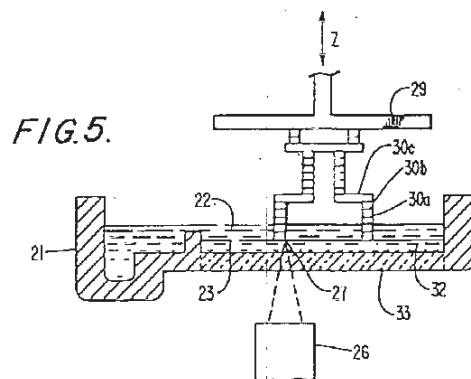
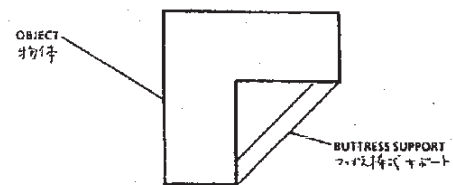


FIG. 3.

【図5】



【図11】



斜め支持部は、取付けにくく、内角には残り難い。角から取り除くことが困難である。  
 DIAGONAL SUPPORTS SHOULD NOT EXTEND INTO INTERIOR CORNERS FROM WHICH THEY WILL BE DIFFICULT TO REMOVE

FIG. 11

【図18】

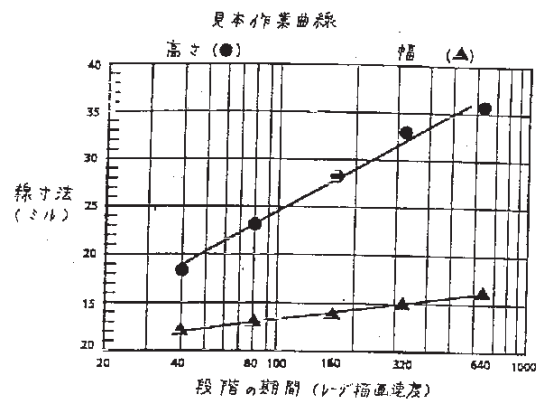
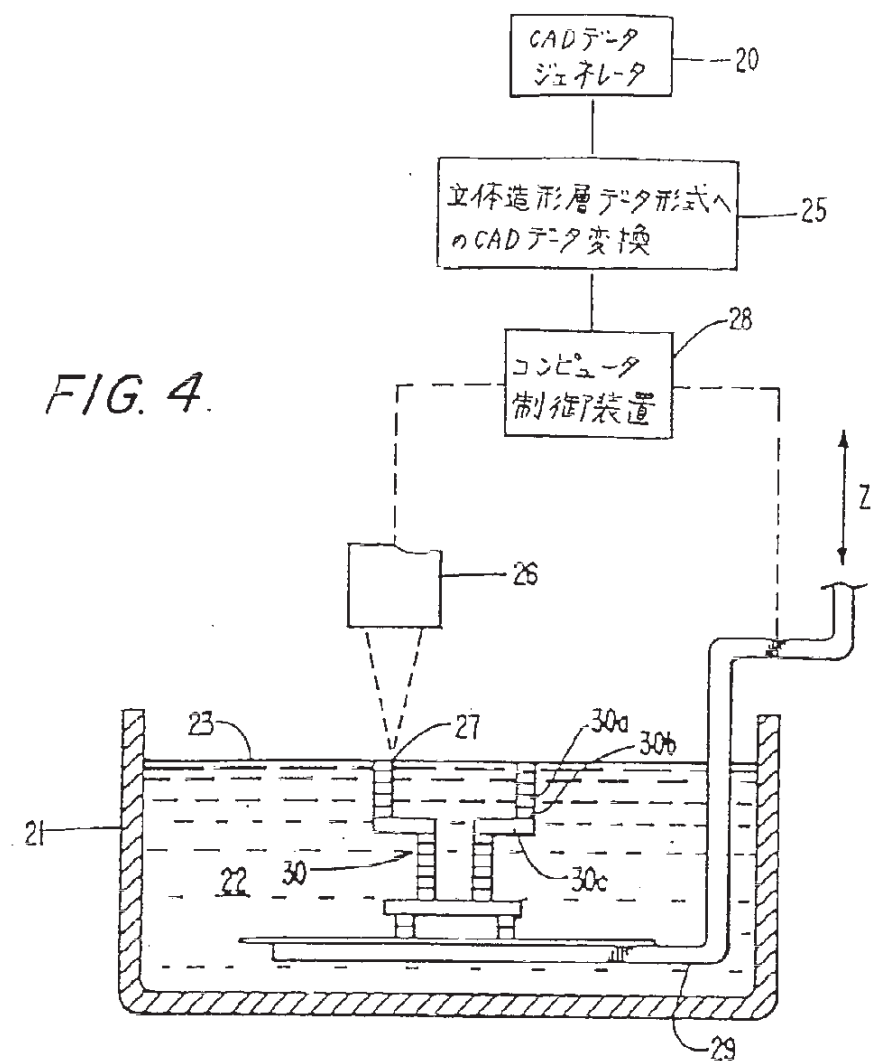


FIG. 18.

【図4】



【図6】

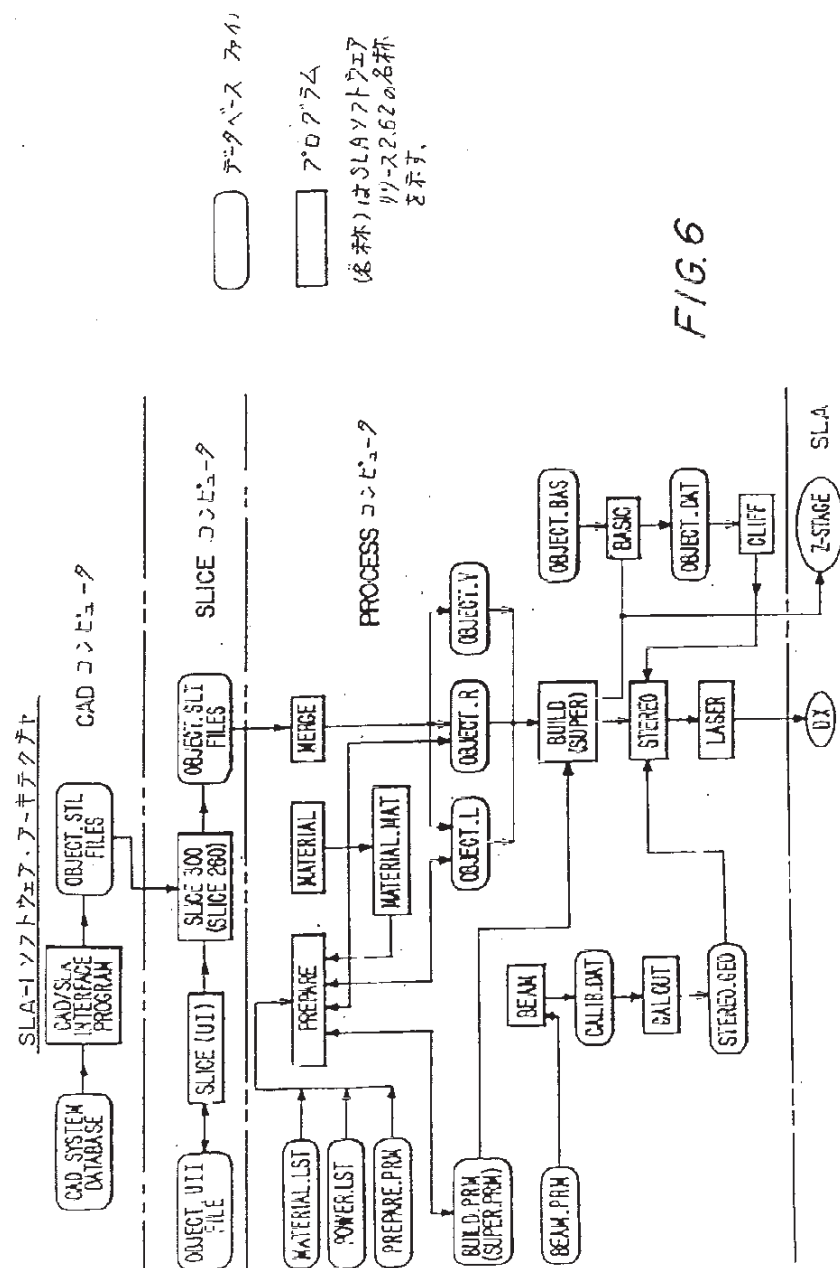
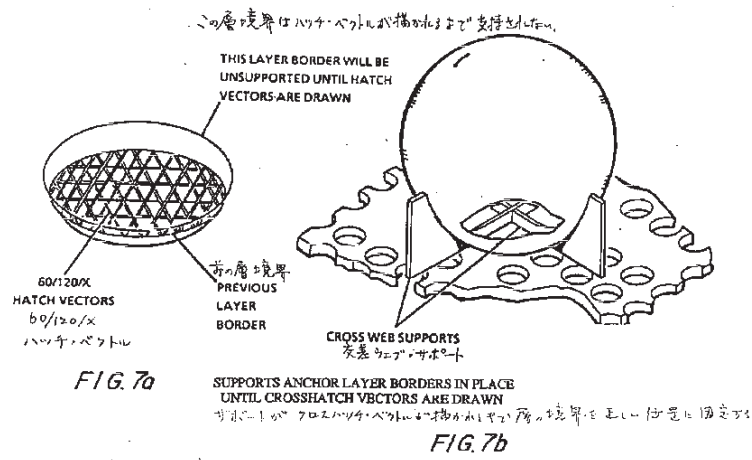
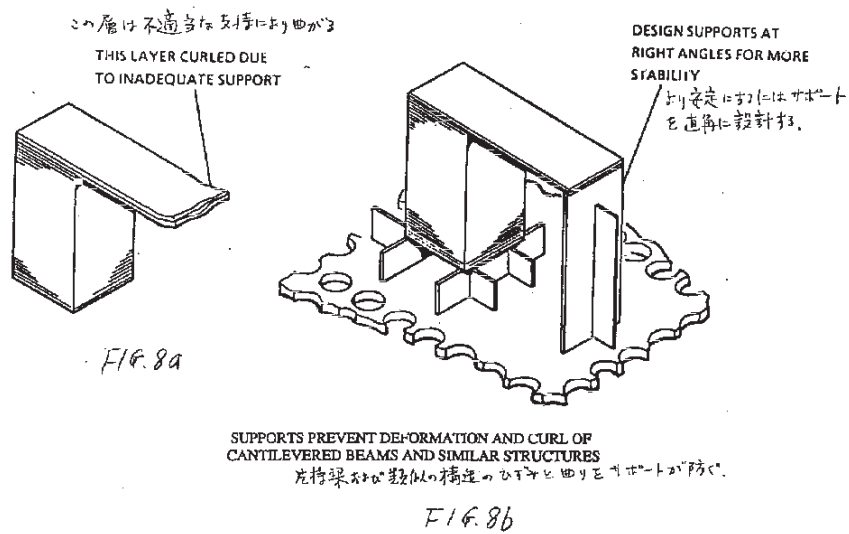


FIG. 6

【図7a, 7b】



【図8a, 8b】



【図9a, 9b】

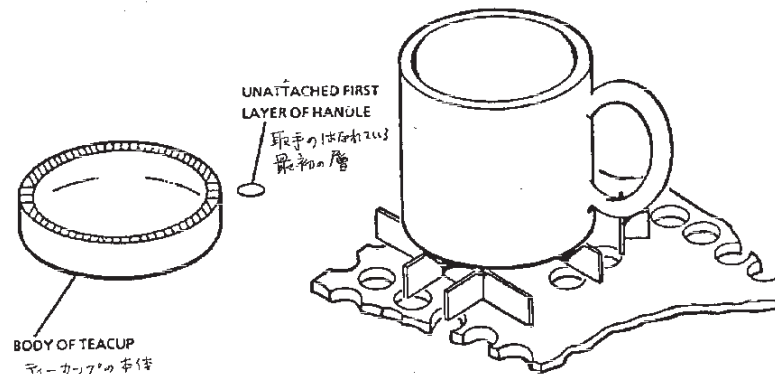
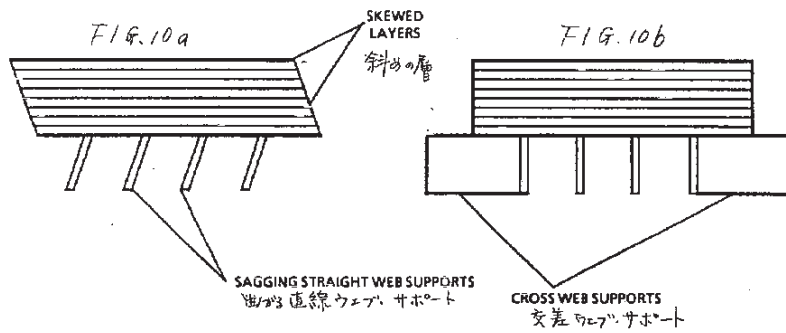


FIG. 9a

SUPPORTS ANCHOR UNATTACHED LAYER SECTIONS  
サポートがはなれている層断面を固定する。

FIG. 9b

【図10a, 10b】



CROSS WEB SUPPORTS PREVENT LAYER SKEWING  
交差ウェブ・サポートは層が斜めになるのを防ぐ

【図12】

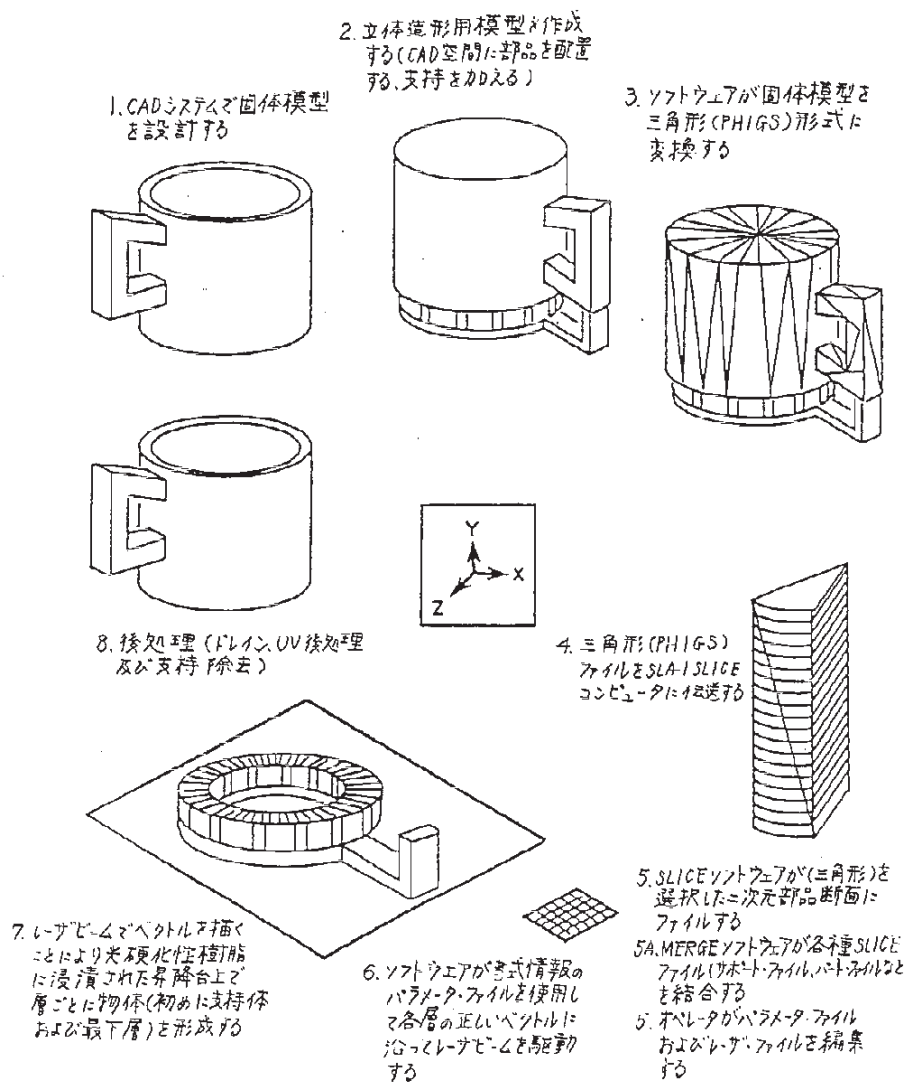
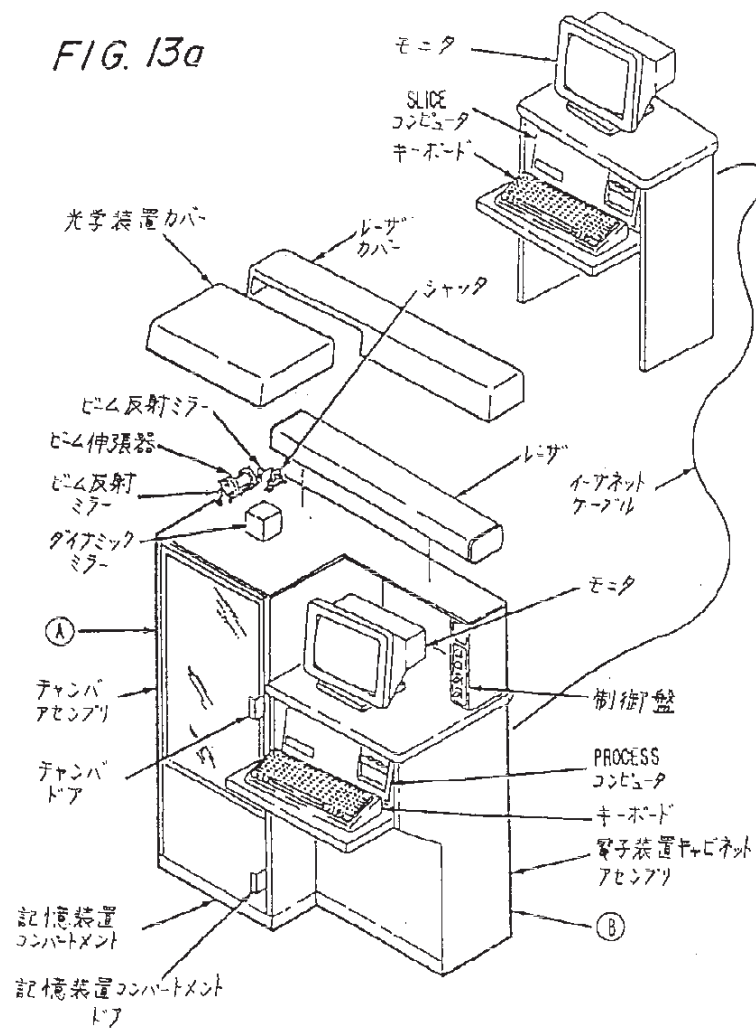


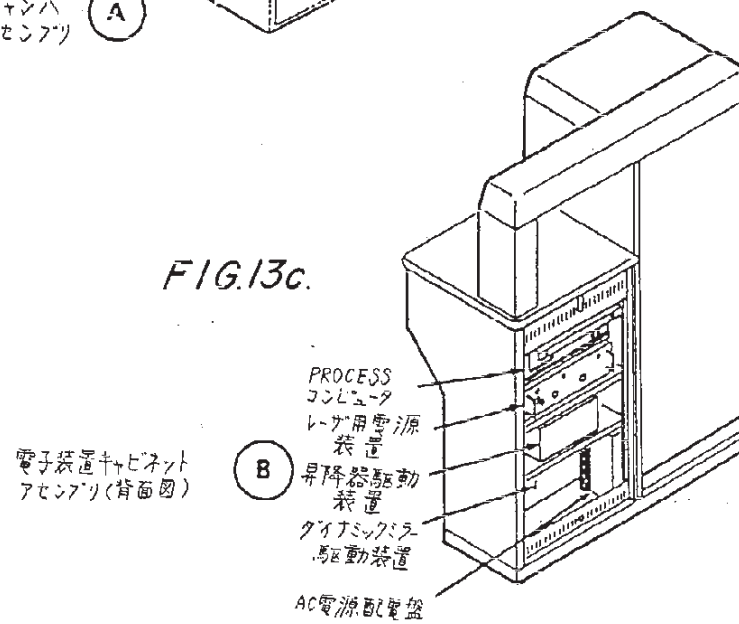
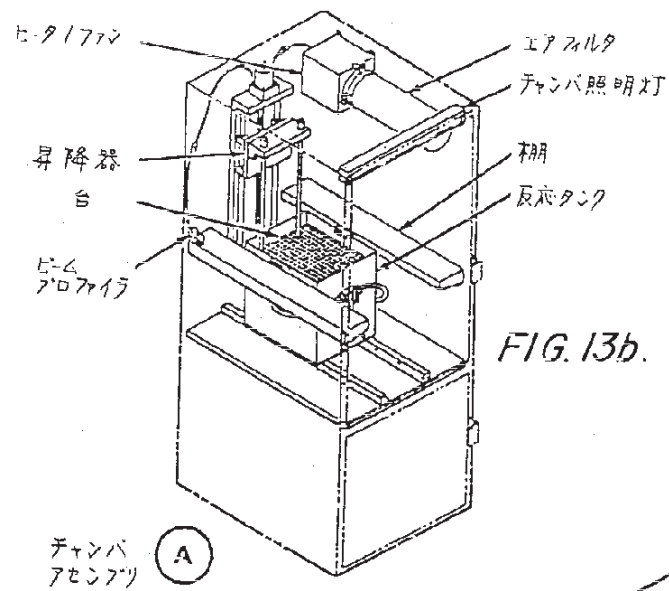
FIG. 12

【図13a】

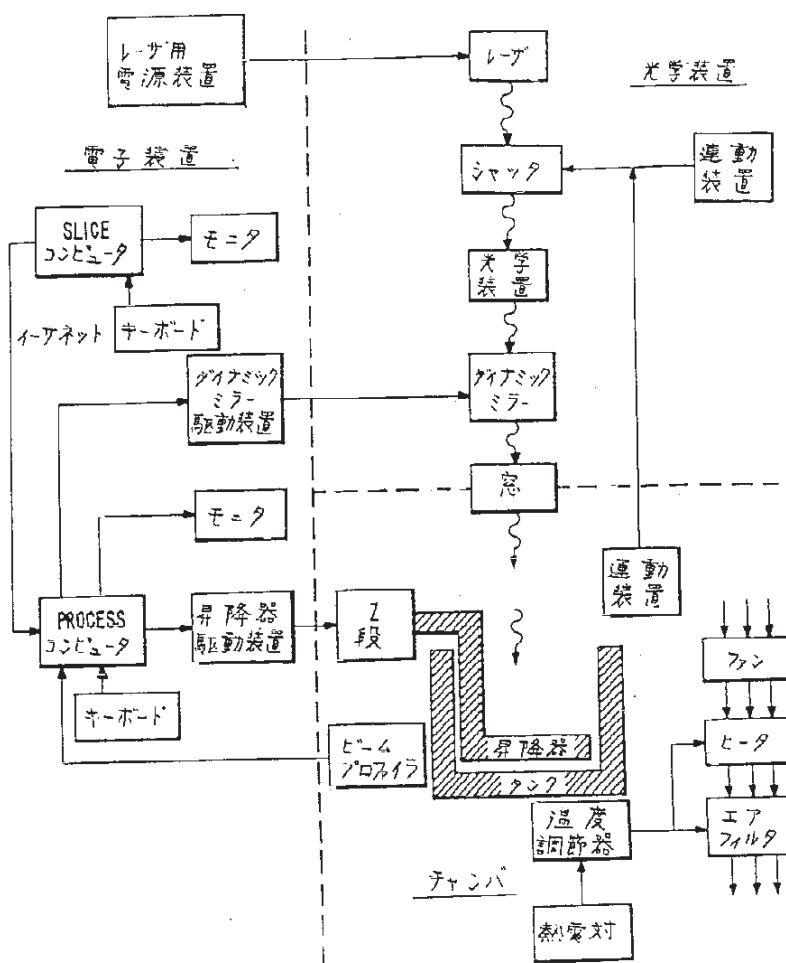


立体造形装置の主要構成要素

【図13b, 13c】



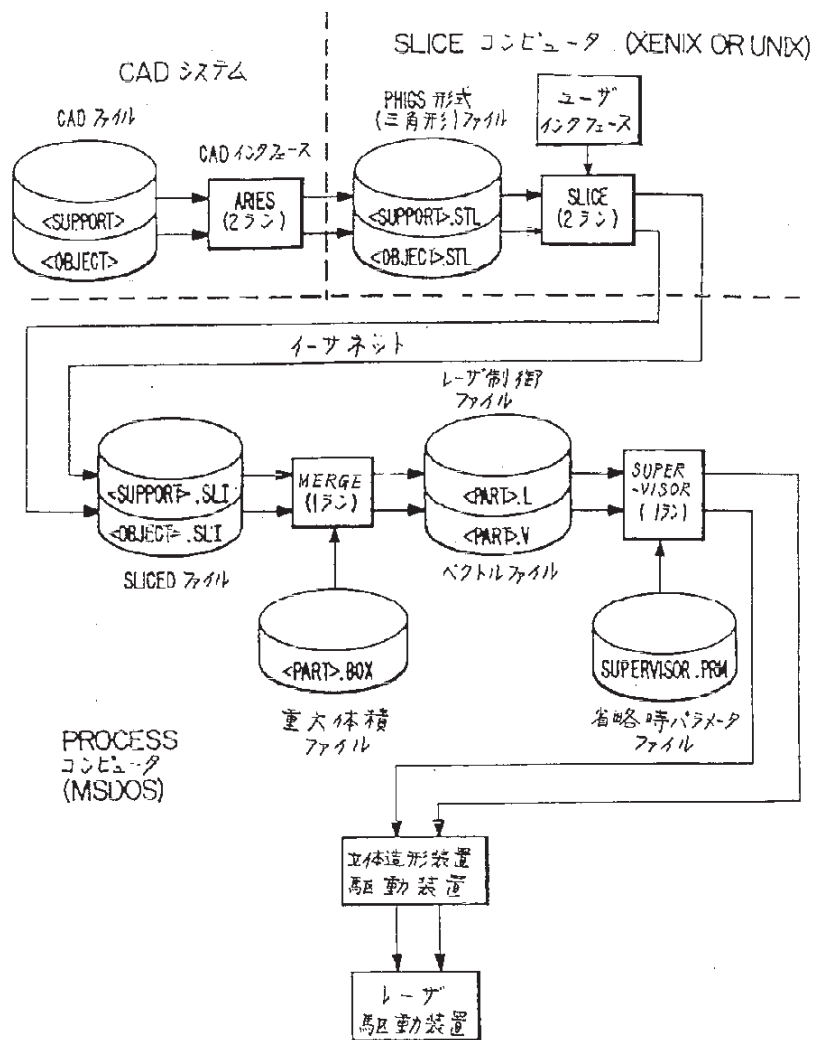
【図14】



立体造形装置ブロック図

FIG. 14.

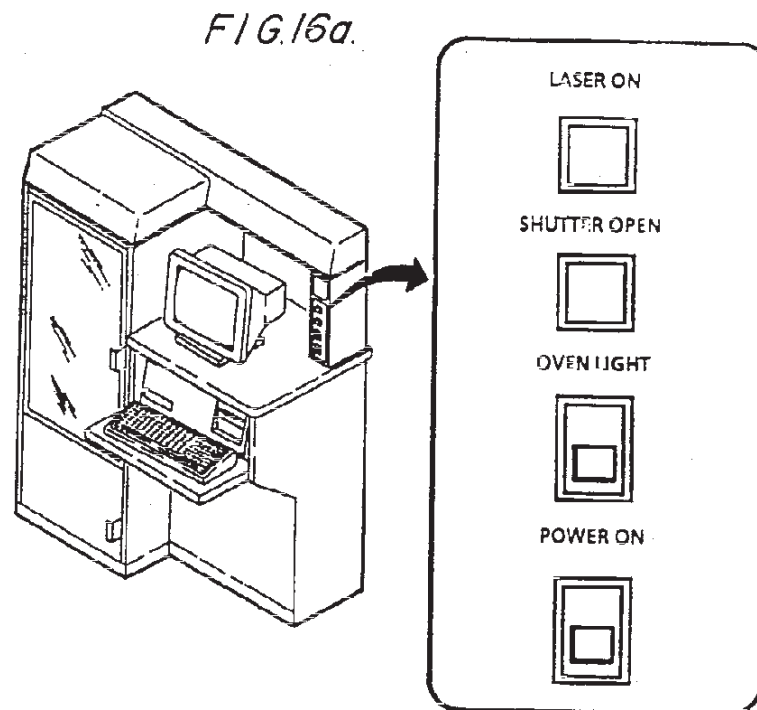
【図15】



立体造形装置ソフトウェア図

FIG. 15.

【図16a, 16b】



| 名 称                   | 機 能                                                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------|
| レーザーON表示              | 点灯時レーザーが作動中であることを示す青色灯                                 |
| シャッター開表示灯             | 点灯時レーザーシャッターが開いていることを示す緑色灯                             |
| オーブン照明トグル<br>スイッチ/表示灯 | 反応チャンバ天井灯のON/OFF切換え                                    |
| 電源ONトグル<br>スイッチ/表示灯   | レーザー、電源装置、反応チャンバ、フィルタ/ヒータ、<br>PROCESSコンピュータの一次電源の供給を制御 |

制御盤のスイッチおよび表示灯



【図19a, 19b】

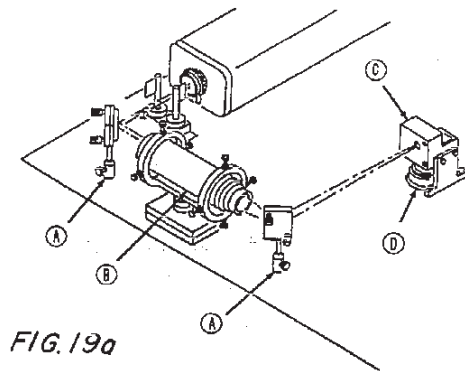
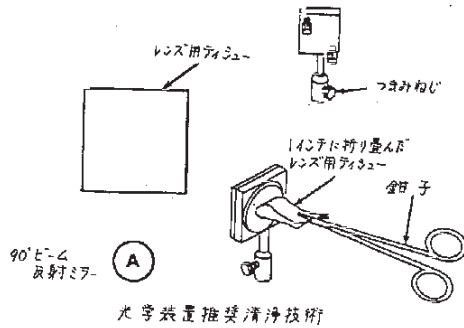


FIG. 19a

FIG. 19b



光学装置搬送装置

【図19c~19e】

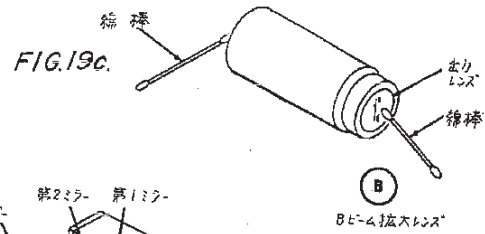


FIG. 19c

FIG. 19d

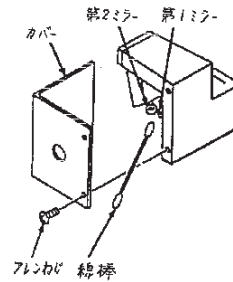


FIG. 19e

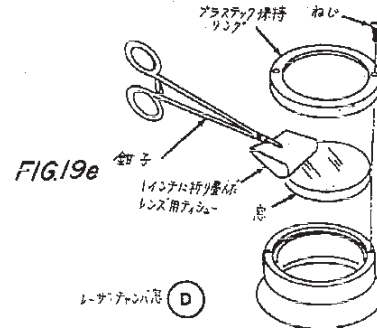


FIG. 19f

【図22a】

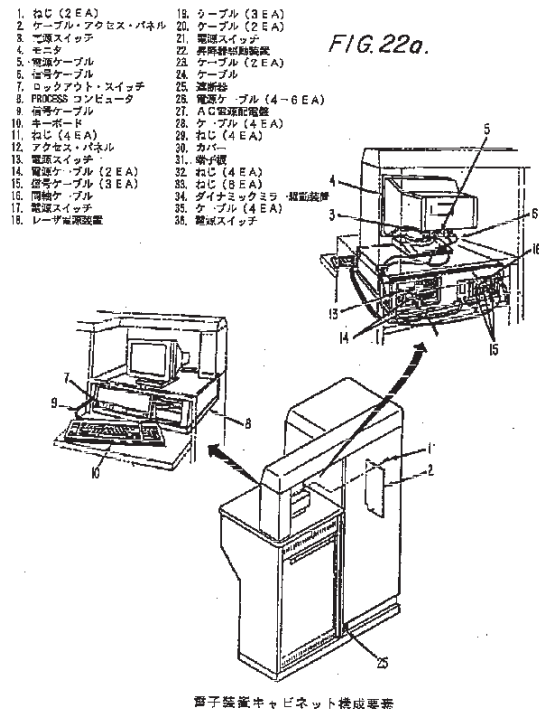


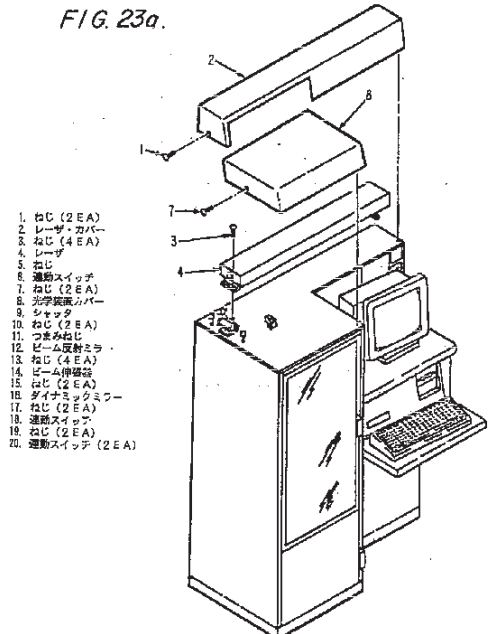
FIG. 22a

1. ねじ (2EA)
2. ケーブル・アクセス・パネル
3. 電源スイッチ
4. キーボード
5. 電源ケーブル
6. ロックアウト・スイッチ
7. FLOPPY コンピュータ
8. 電源ケーブル
9. キーボード
10. ねじ (4EA)
11. アクセス・パネル
12. 電源スイッチ
13. 電源ケーブル (2EA)
14. 電源ケーブル (3EA)
15. 電源ケーブル
16. 電源スイッチ
17. レーザ電源装置
18. ケーブル (3EA)
19. ケーブル (2EA)
20. 電源スイッチ
21. 電源スイッチ
22. 電源スイッチ
23. ケーブル (2EA)
24. ケーブル
25. 電源ケーブル (4-6EA)
26. AC電源装置
27. ケーブル (4EA)
28. ねじ (4EA)
29. カバー
30. 電源ケーブル (4EA)
31. ねじ (8EA)
32. ねじ (8EA)
33. ダイナミックミラー・駆動装置
34. ケーブル (4EA)
35. 電源スイッチ

電子装置キャビネット構成要素

【図23a】

FIG. 23a



1. ねじ (2EA)
2. レーザ・カバー
3. ねじ (4EA)
4. レーザ
5. ねじ
6. 電源スイッチ
7. ねじ (2EA)
8. 光学装置カバー
9. シャッター
10. ねじ (2EA)
11. つまみねじ
12. ビーム反射器
13. ねじ (4EA)
14. ビーム停止器
15. ねじ (2EA)
16. ダイナミックミラー
17. ねじ (2EA)
18. 電源スイッチ
19. ねじ (2EA)
20. 電源スイッチ (2EA)

光学装置構成要素

【図21a, 21b】

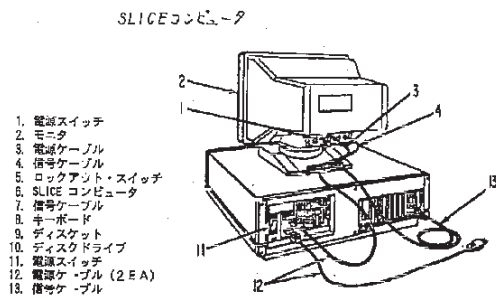
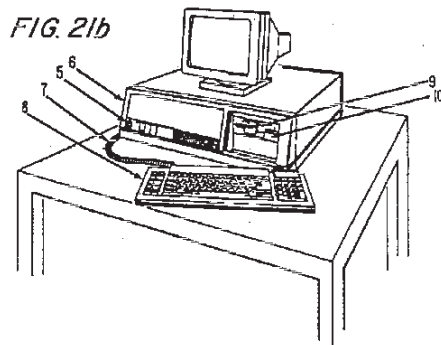
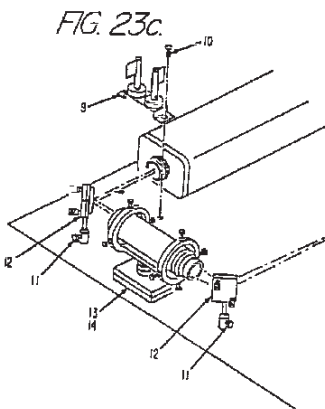
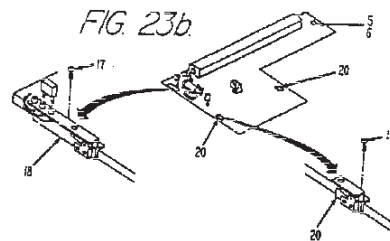


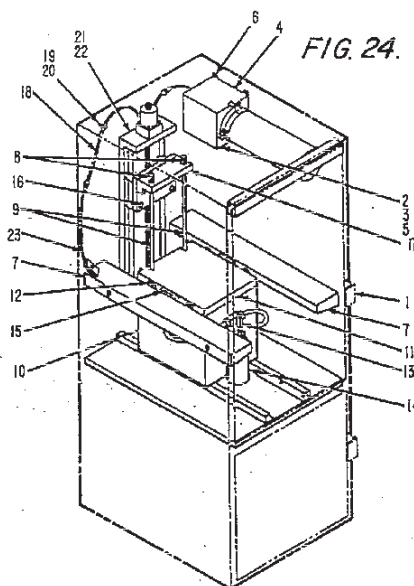
FIG. 21a.



【図23b, 23c】



【図24】



【図29a, 29b】

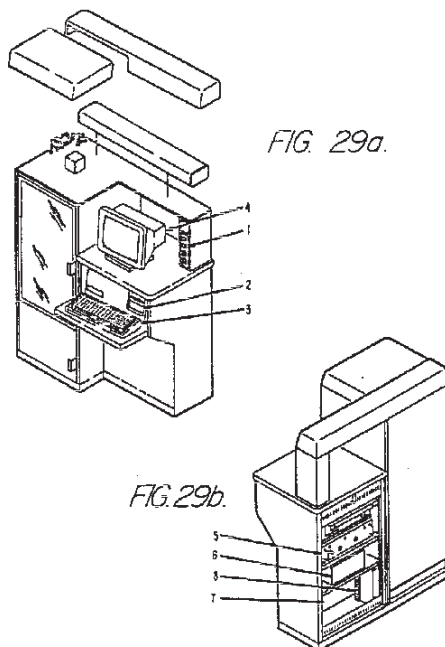
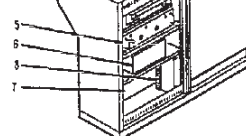


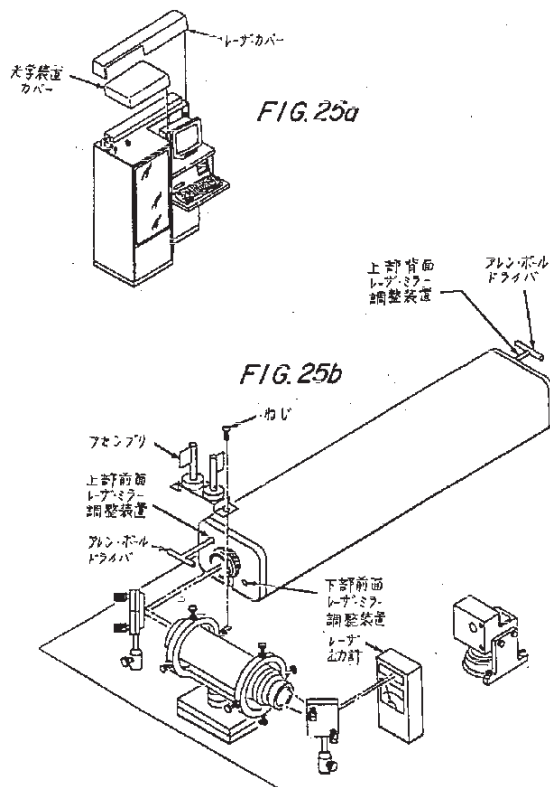
FIG. 29b.



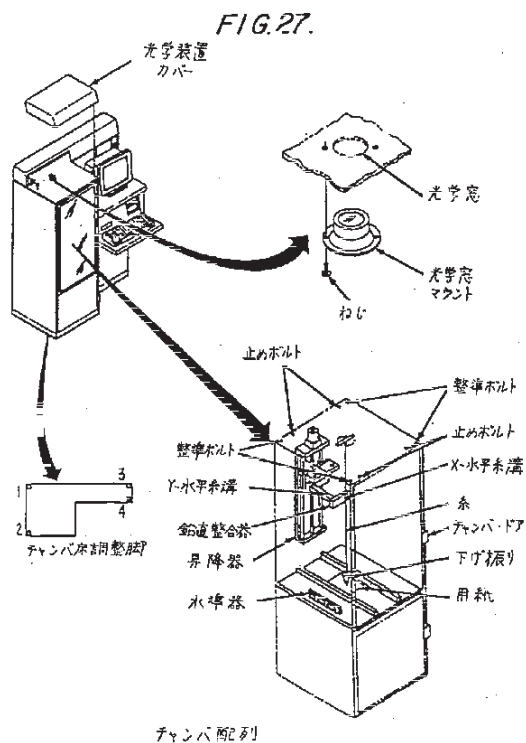
- |                |               |
|----------------|---------------|
| 1. チャンバ・ドノ     | 13. ドレン弁      |
| 2. ねじ (2EA)    | 14. 回転板       |
| 3. 底カバー        | 15. 側板 (2EA)  |
| 4. ヒータ/ファン     | 16. ねじ (2EA)  |
| 5. 端子板         | 17. 合         |
| 6. ねじ (4EA)    | 18. ケーブル      |
| 7. 側板 (2EA)    | 19. ねじ        |
| 8. ノブ (2EA)    | 20. ケーブル・クランプ |
| 9. サロッド (2EA)  | 21. ねじ (4EA)  |
| 10. 反応タンク      | 22. 昇降器       |
| 11. 蓋          | 23. チャンバ・ケーブル |
| 12. フラッチ (4EA) |               |

チャンバ構成要素

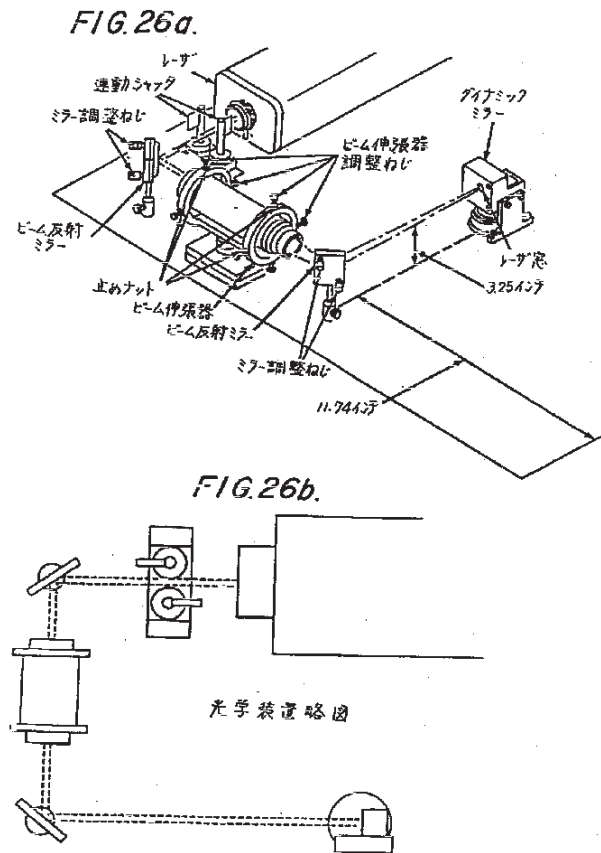
【図25a, 25b】



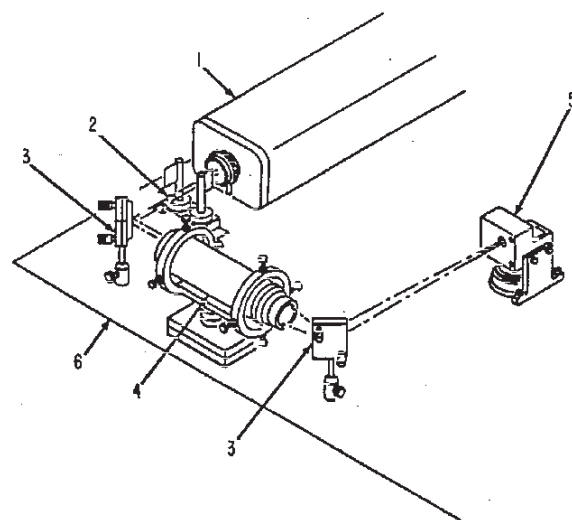
【図27】



【図26a, 26b】



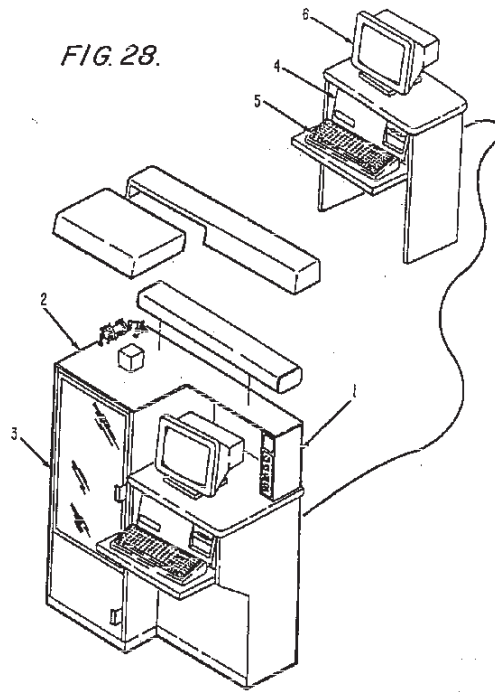
【図30】



光学装置アセンブリ

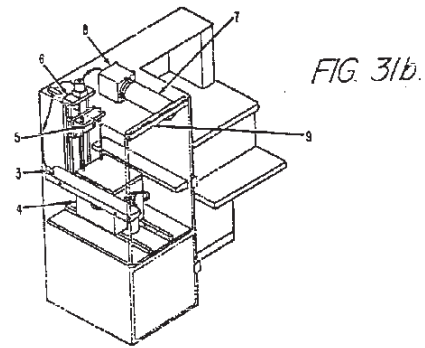
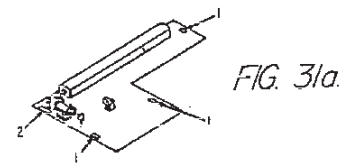
FIG. 30

【図28】

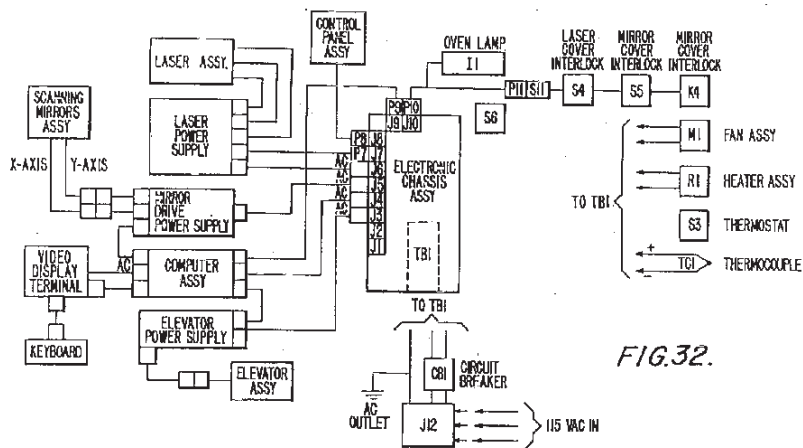


SLA-1 主体外形装置

【図31a, 31b】



【図32】



SLA-1 配線図

【図33】

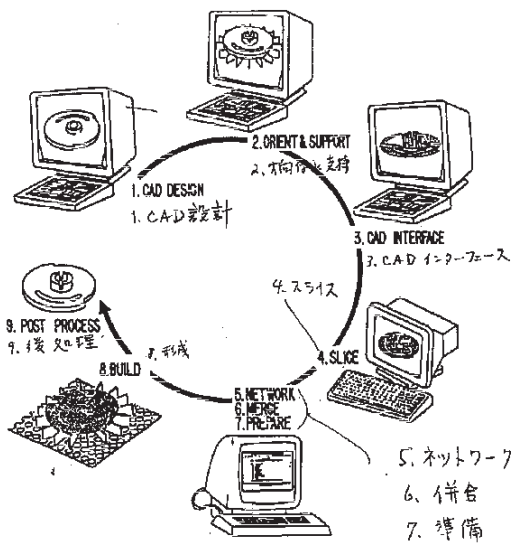


FIG. 33

【図34a, 34b】

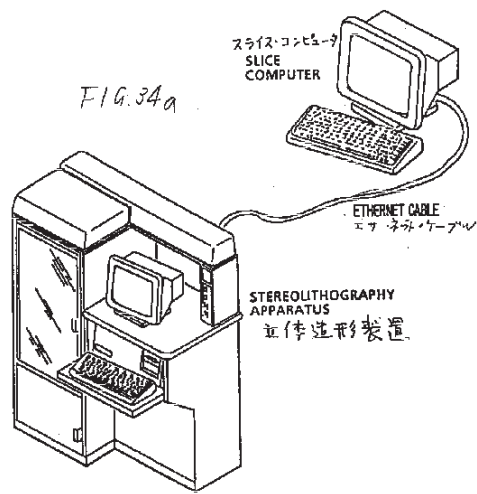
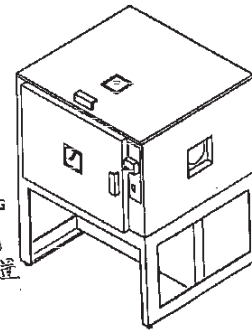


FIG. 34b

POST CURING APPARATUS (後硬化装置)



【図36】

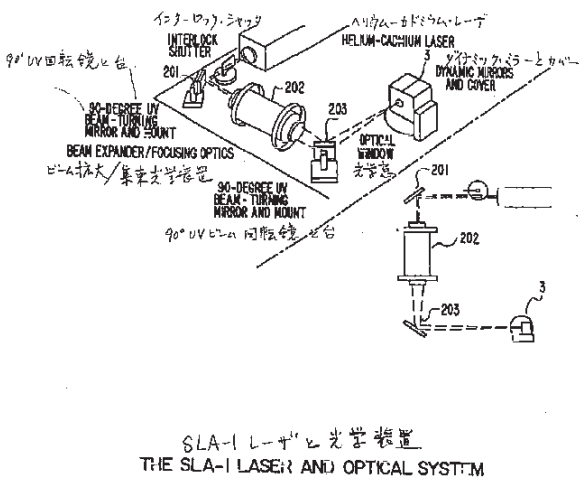


FIG. 36

【図37】

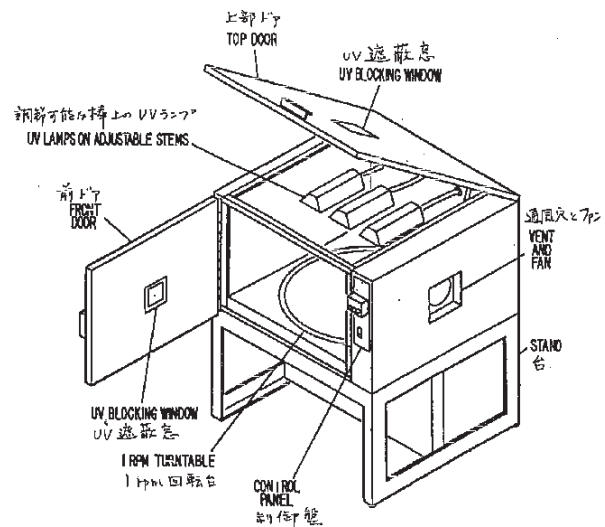
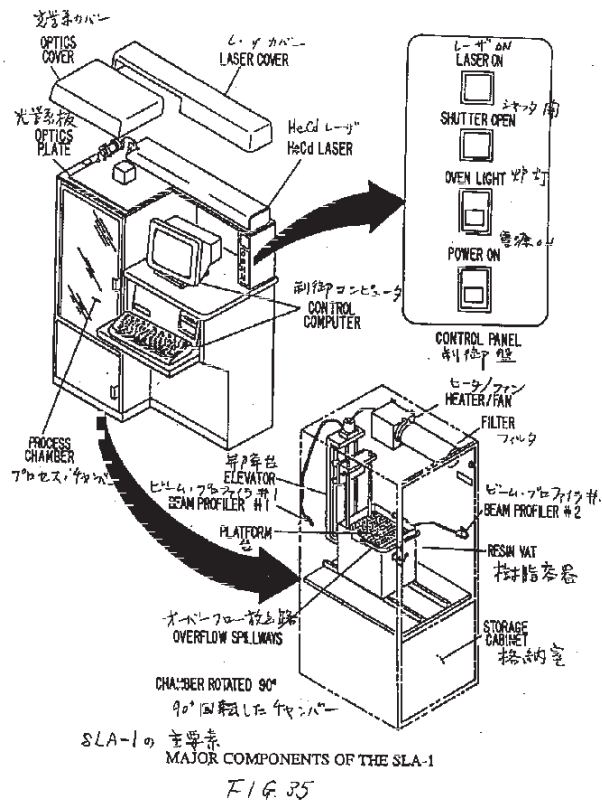
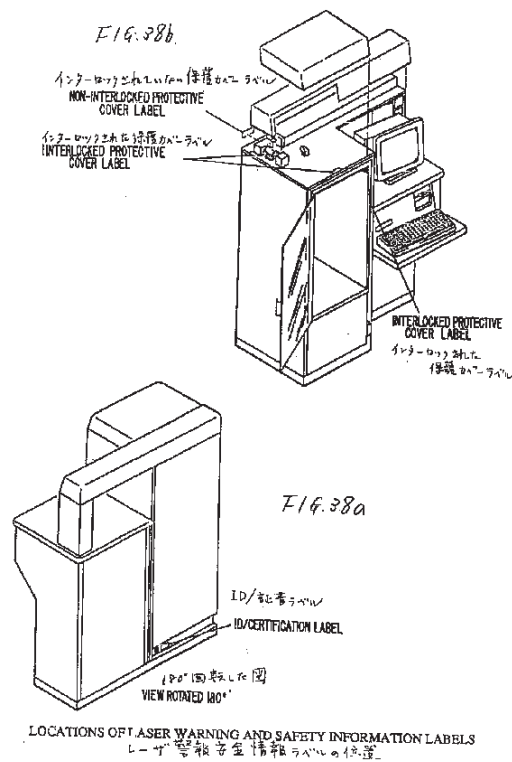


FIG. 37

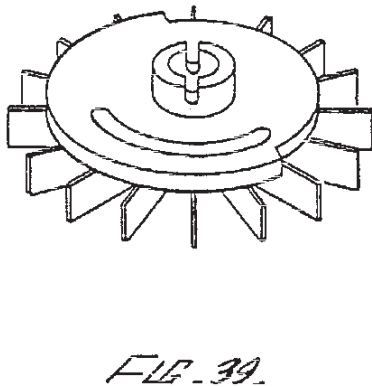
【図35】



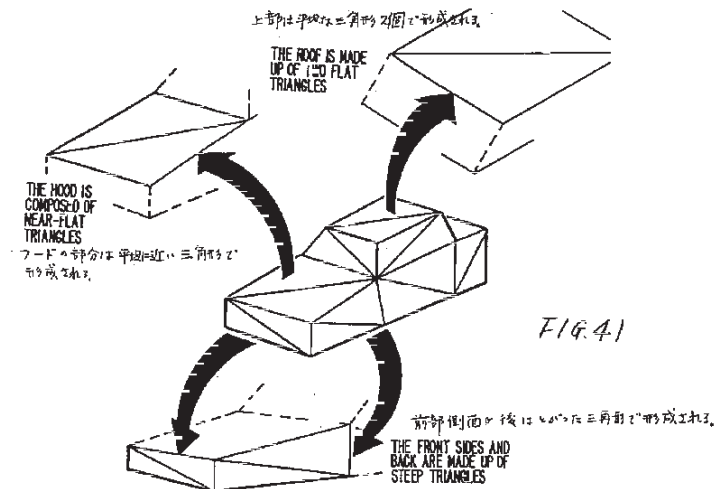
【図38a, 38b】



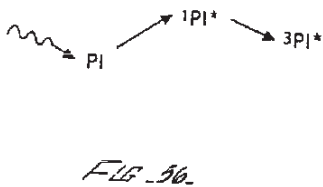
【図39】



【図41】

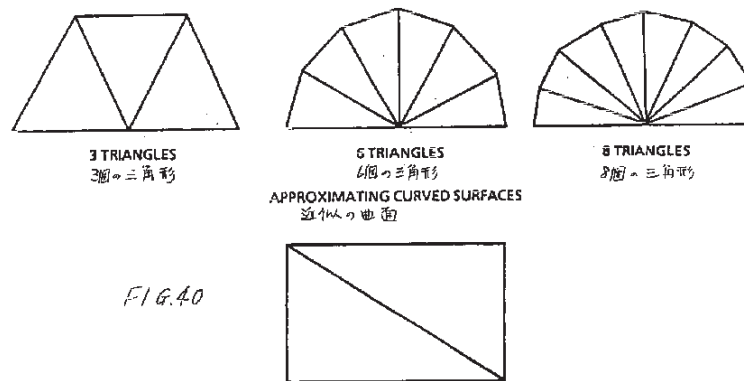


【図56】



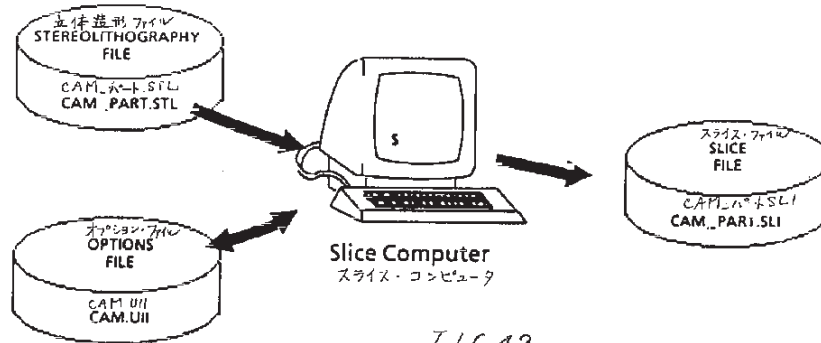
CAD 物体は、平坦な三角形、準平坦な三角形、急峻な三角形で完全に表わされ。  
ANY CAD OBJECT CAN BE COMPLETELY DESCRIBED BY FLAT, NEAR-FLAT AND STEEP TRIANGLES

【図40】

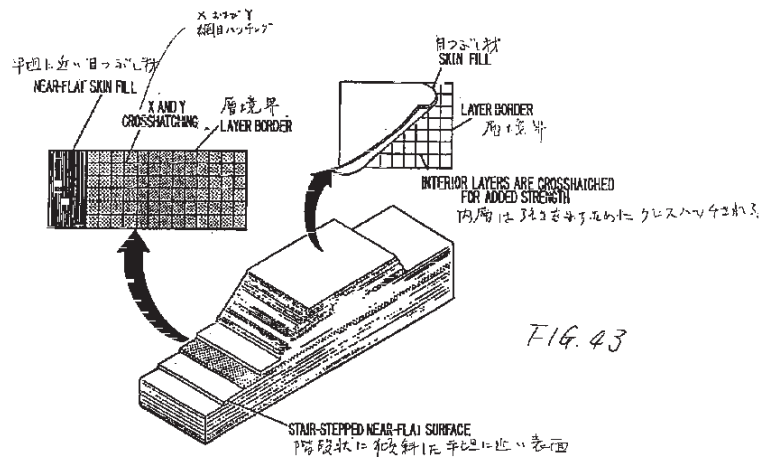


CURVED SURFACES REQUIRE MANY TRIANGLES TO APPROXIMATE  
WHILE RECTANGLES ARE FULLY DESCRIBED BY ONLY TWO

【図42】



【図43】



【図44】

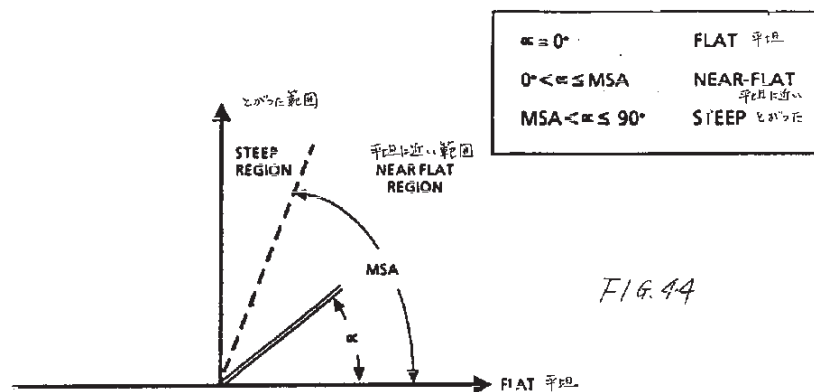


FIG. 44

三角形が平坦に近いものか急峻なものかへ分類が変化する角度はスライス・パラメータ MSA によって決定される。  
THE ANGLE AT WHICH A TRIANGLE CLASSIFICATION CHANGES FROM  
NEAR-FLAT TO STEEP IS DEFINED BY SLICE PARAMETER MSA

【図46】

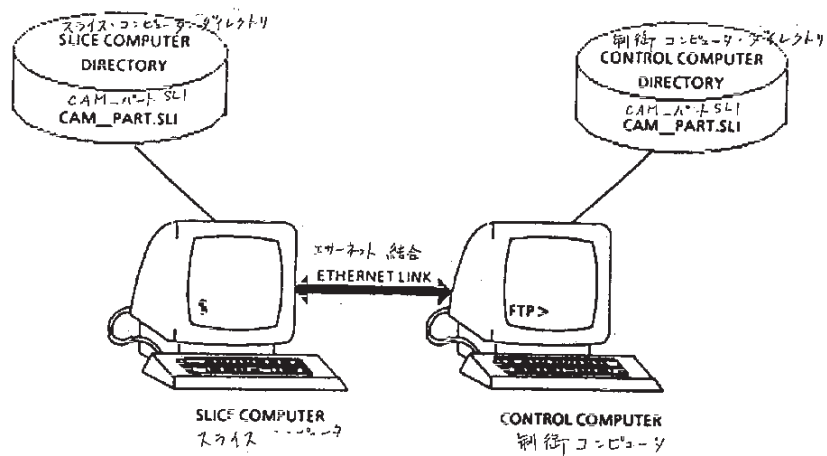


FIG. 46

【図47】

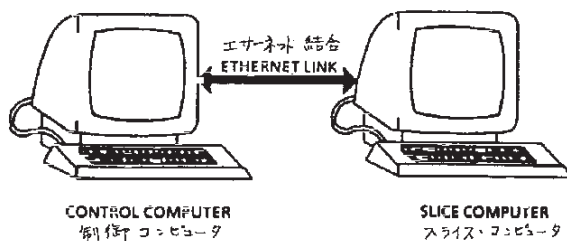


FIG. 47

【図45】

SLA-1 メニュー・システム  
The SLA-1 Menu System

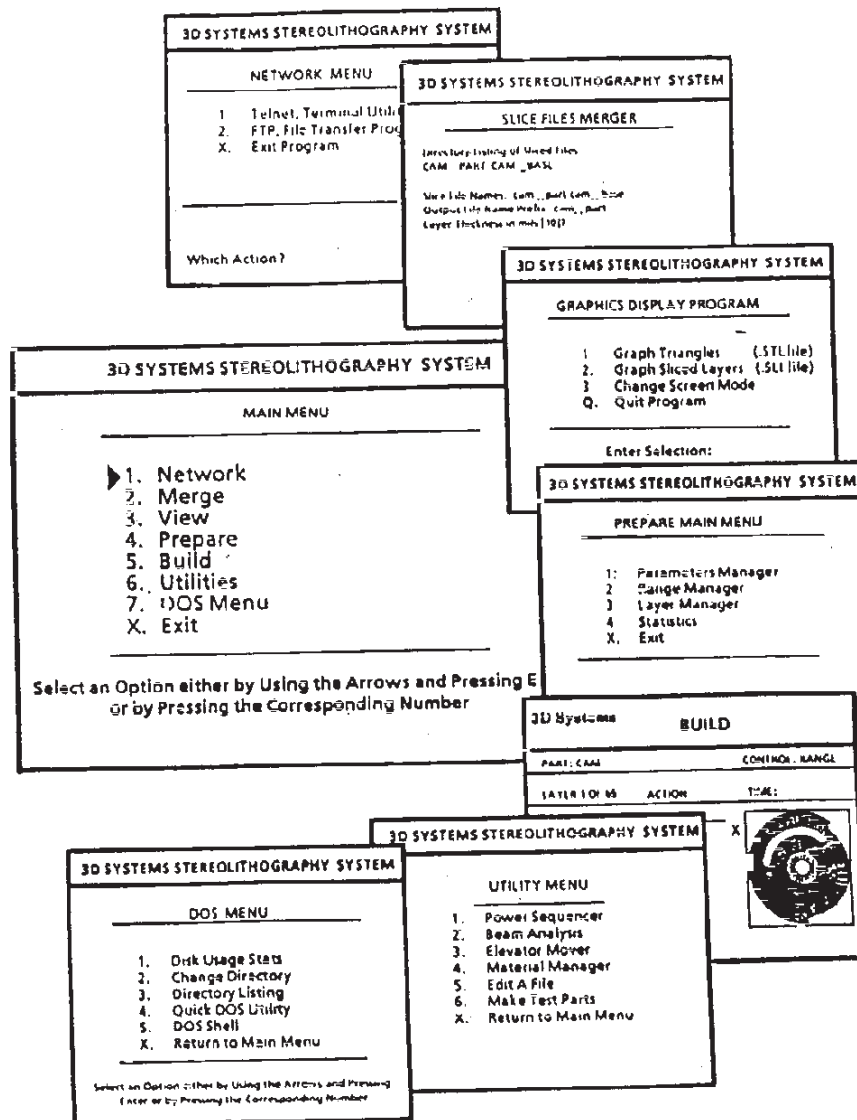


FIG. 45

【図48】

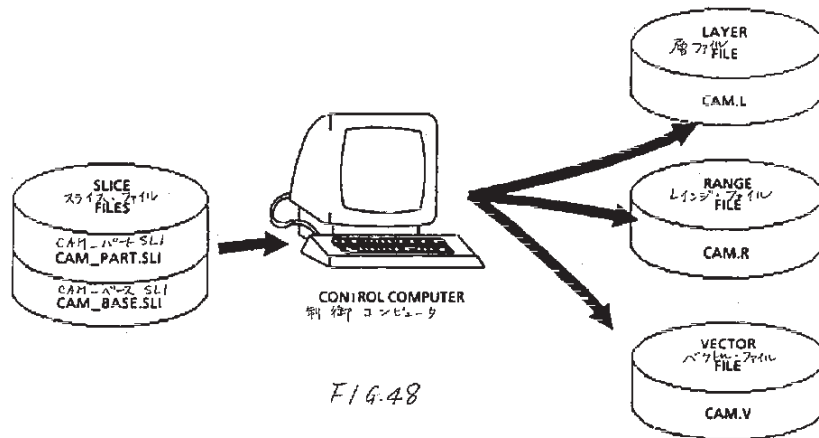


FIG. 48

【図49】

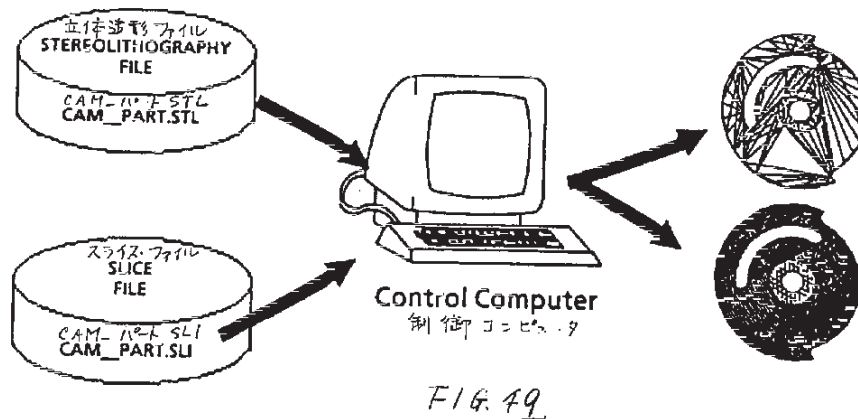
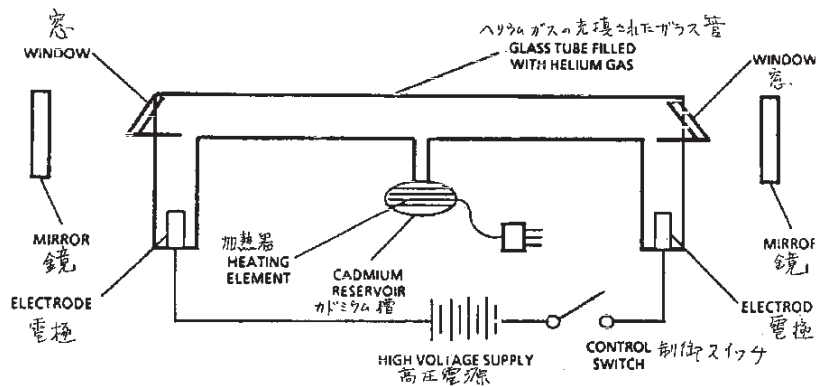


FIG. 49

【図55】

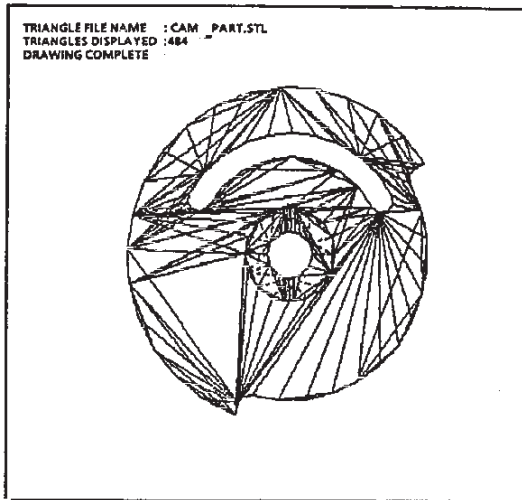


A simplified schematic of the SLA-1 He-Cd laser  
He-Cd レーザの簡単な略図

FIG. 55

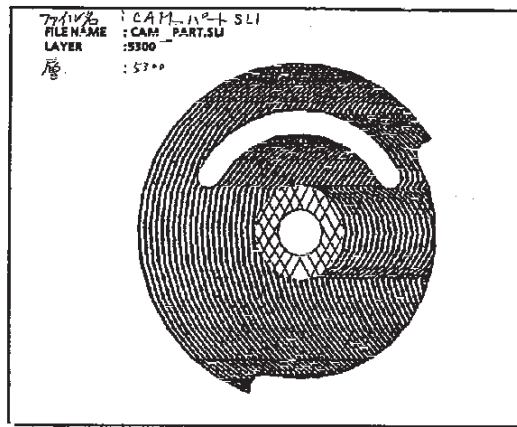
【図50】

三角形ファイル名 : CAM-Part STL  
 三角形表示 : 489  
 画面完成



F1 G.50

【図51】



F1 G.51

【図53】

【図52】

| 3D Systems BUILD                                            |                          |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 3D システム 形成                                                  |                          |
| パート: CAM<br>PART: CAM                                       | 制御: 範囲<br>CONTROL: RANGE |
| 層 65 of 28<br>LAYER 28 OF 65                                | 処置 ACTION:<br>時間 TIME:   |
| 開始時間 月 3/23/88 11:15 AM<br>START TIME: MON 3/23/88 11:15 AM |                          |
| 終了時間 終了時間<br>END TIME:                                      |                          |
| 開始層 : 3650<br>START LAYER: 3650                             | ブロック<br>BLOCK            |
| 中間層 : 5000<br>ON LAYER: 5000                                | L01<br>LB1               |
| 終了層 : 6850<br>END LAYER: 6850                               |                          |
| パートファイル名<br>PART FILENAME:                                  |                          |

F1 G.52

| 3D Systems BUILD                                            |                                    |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 3D システム 形成                                                  |                                    |
| パート: CAM<br>PART: CAM                                       | 制御: 範囲<br>CONTROL: RANGE           |
| 層 65 of 1<br>LAYER 1 OF 65                                  | 処置: 作図 ACTION: DRAWING<br>時間 TIME: |
| 開始時間 月 3/23/88 11:15 AM<br>START TIME: MON 3/23/88 11:15 AM |                                    |
| 終了時間 終了時間<br>END TIME:                                      |                                    |
| 開始層 : 3650<br>START LAYER: 3650                             | ブロック<br>BLOCK                      |
| 中間層 : 5000<br>ON LAYER: 3650                                | L02<br>LB2                         |
| 終了層 : 6850<br>END LAYER: 6850                               |                                    |

F1 G.53

【図54a】

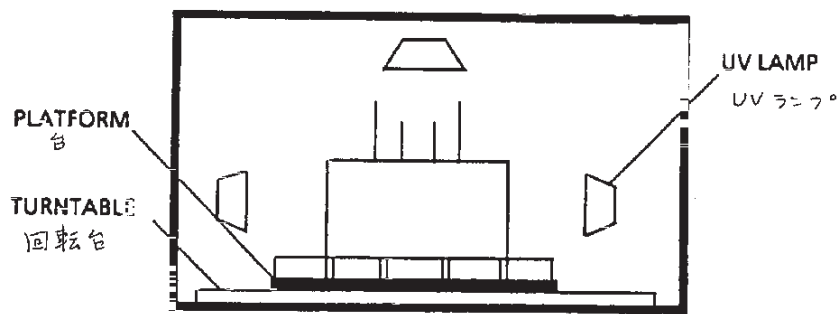


FIG. 54

【図54b, 54c】

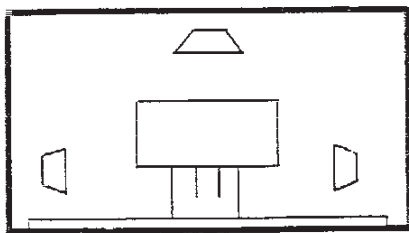
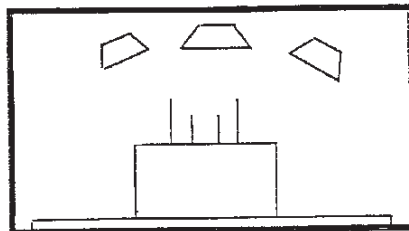
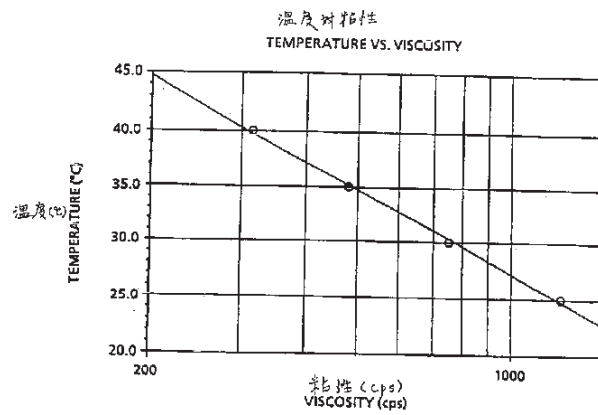


FIG. 54b

FIG. 54c



【図57】

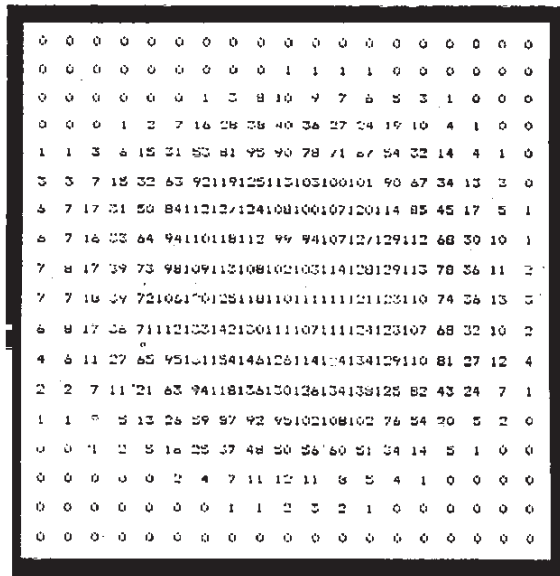


温度の小さな変化が、粘度を大きく変化する。  
A SMALL CHANGE IN TEMPERATURE CAUSES  
A LARGE CHANGE IN VISCOSITY.

FIG. 57

【図58】

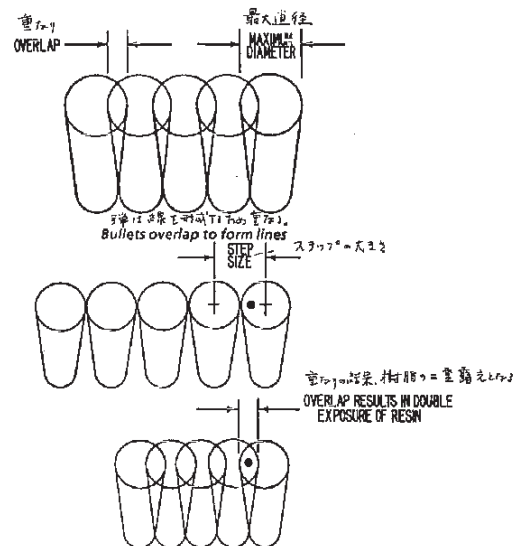
FIG. 58



最大強度はビームの中心附近。  
AN INTENSITY PROFILE SHOWING A MAXIMUM  
NEAR THE CENTER OF THE BEAM.

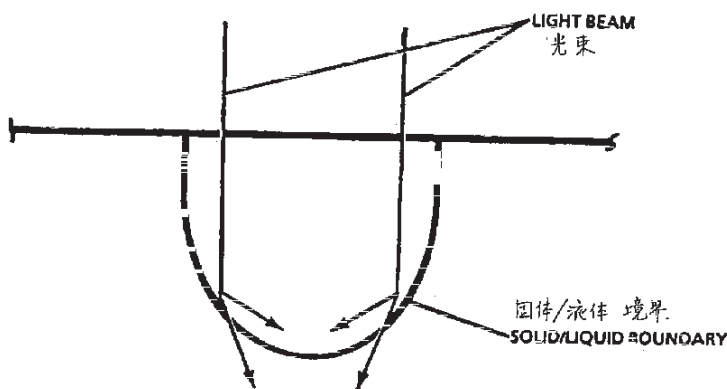
【図61】

FIG. 61



ステップサイズが最大直径以下の場合、或は点より鋭硬化し。  
CERTAIN POINTS WILL BE MORE HEAVILY CURED IF THE STEP  
SIZE IS LESS THAN OR EQUAL TO THE MAXIMUM DIAMETER  
OF THE BULLETS

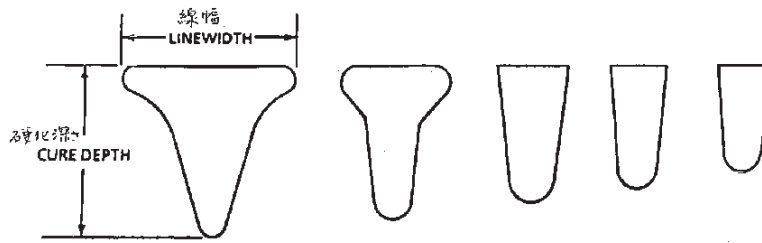
【図59】



液体から固体に伝達される時の樹脂の屈折率の変化が弾の形を与える。  
THE CHANGE IN REFRACTIVE INDEX OF THE RESIN AS IT  
TRANSFORMS FROM LIQUID TO SOLID ENHANCES THE BULLET SHAPE

FIG. 59

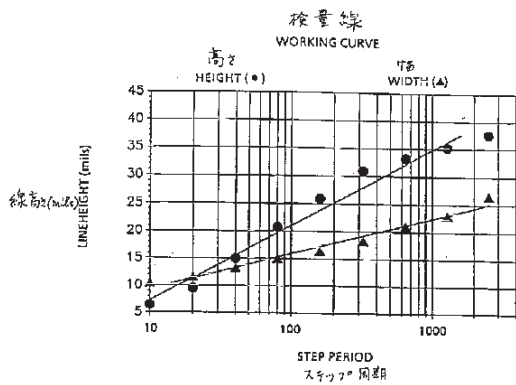
【図60】



ステップ周期値が弾の全寸法を決定し、弾の形状も影響する。  
STEP PERIOD VALUES DETERMINE THE OVERALL DIMENSIONS  
OF BULLETS AND ALSO AFFECT BULLET SHAPE

FIG. 60

【図62】



作業線は、線高と線幅とステップ周期の函数に表わすグラフである。

WORKING CURVE IS A GRAPH THAT SHOWS LINE HEIGHT  
AND LINE WIDTH AS A FUNCTION OF STEP PERIOD

FIG. 62

【図63】

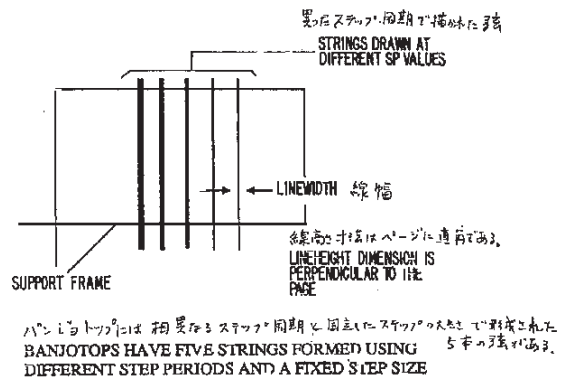


FIG. 63

【図64】

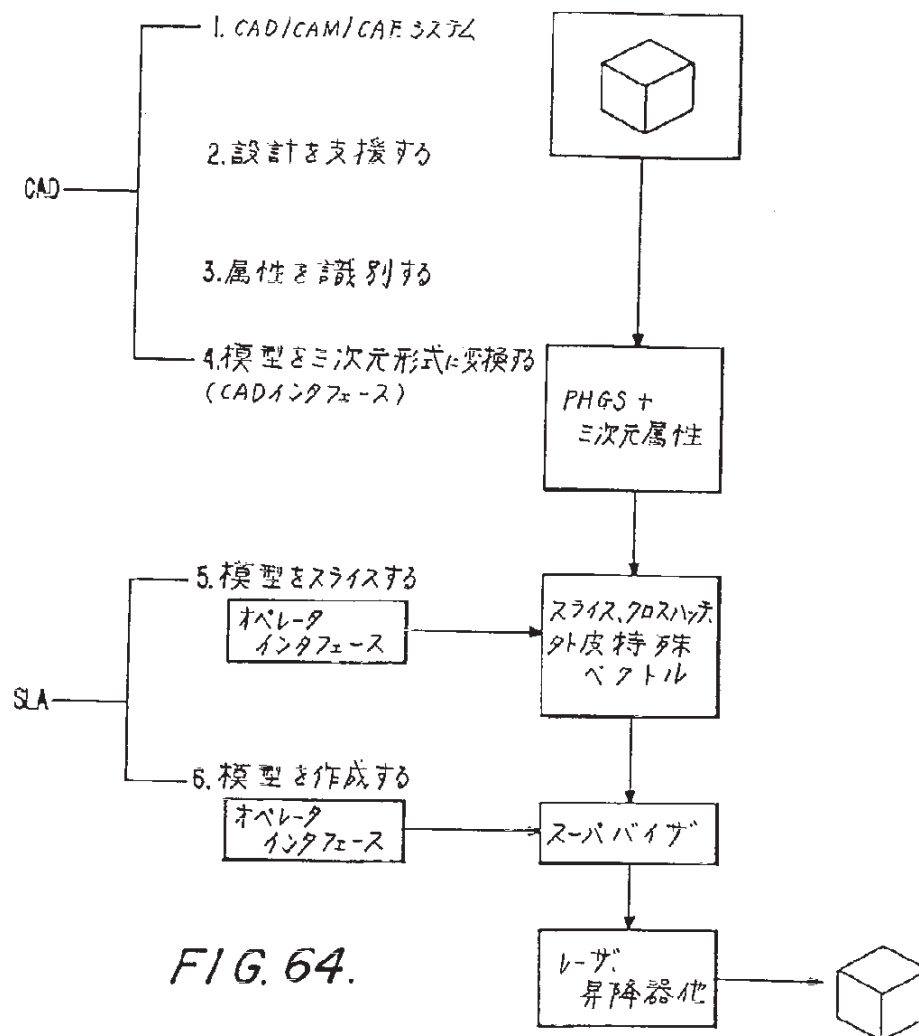


FIG. 64.

【図69a, 69b】

試験箱の空間配置

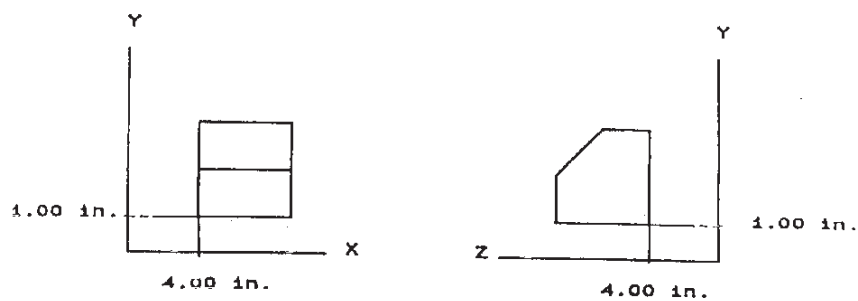
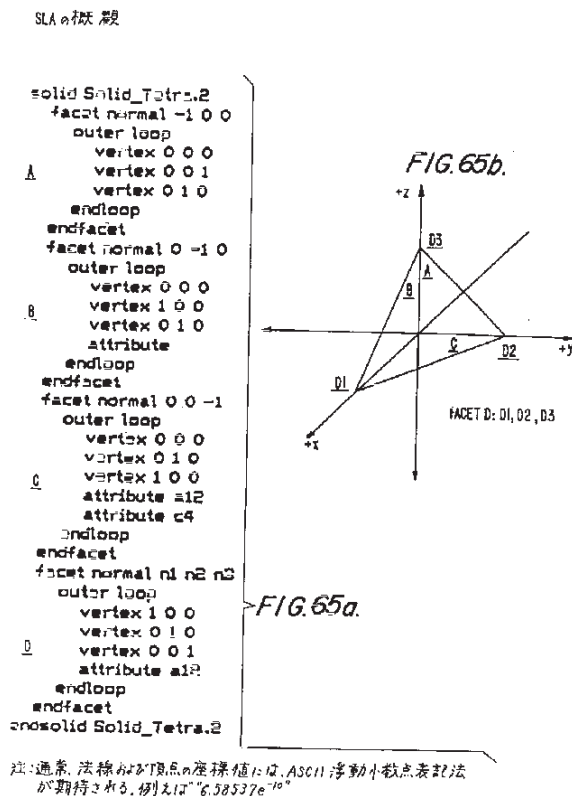


FIG. 69a

FIG. 69b

【図65a, 65b】



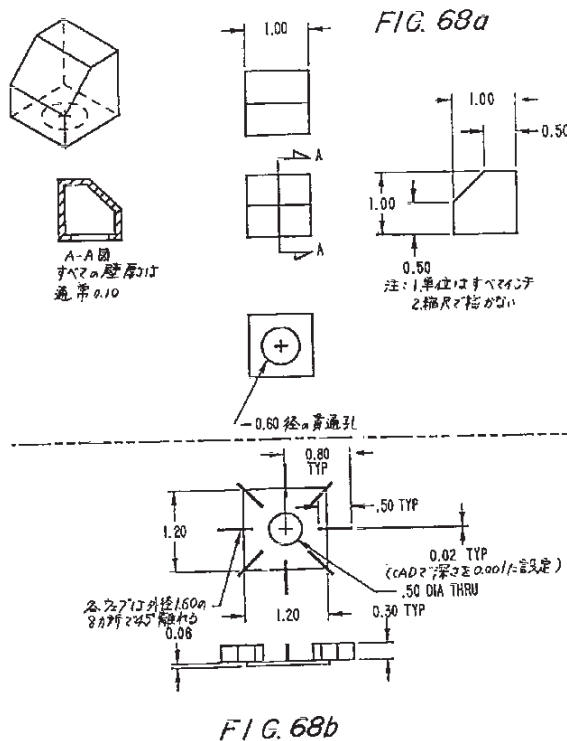
【図66】

| データ形式  | 範囲             | 精度        | 最上位のバイト=最高位にアドレスされたバイト |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
|--------|----------------|-----------|------------------------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
|        |                |           | 7                      | 0      | 7               | 0               | 7               | 0               | 7               | 0               | 7               | 0               | 7              | 0              | 7              | 0              |                |                |                |                |                |  |
| ワード整数  | $10^4$         | 16 BITS   | [ ] (2n補数)<br>15 0     |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| 短ワード   | $10^3$         | 32 BITS   | [ ] (2n補数)<br>31 0     |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| 長ワード   | $10^{19}$      | 64 BITS   | [ ] (2n補数)<br>63 0     |        |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| バックBCD | $10^{18}$      | 16 DIGITS | S                      | X      | d <sub>17</sub> | d <sub>16</sub> | d <sub>15</sub> | d <sub>14</sub> | d <sub>13</sub> | d <sub>12</sub> | d <sub>11</sub> | d <sub>10</sub> | d <sub>9</sub> | d <sub>8</sub> | d <sub>7</sub> | d <sub>6</sub> | d <sub>5</sub> | d <sub>4</sub> | d <sub>3</sub> | d <sub>2</sub> | d <sub>1</sub> |  |
|        |                |           | 79                     | 72     |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| 短実数    | $10^{\pm 38}$  | 24 BITS   | S                      | バイアス指数 |                 | 有効桁             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
|        |                |           | 31                     | 25     |                 | 1 0             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| 長実数    | $10^{\pm 308}$ | 53 BITS   | S                      | バイアス指数 |                 | 有効桁             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
|        |                |           | 63                     | 52     |                 | 1 0             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
| 一時実数   | $10^{\pm 332}$ | 64 BITS   | S                      | バイアス指数 |                 | 有効桁             |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |
|        |                |           | 79                     | 64     |                 | 83              |                 |                 |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |                |                |                |                |                |  |

- 注:
- (1) S: 符号ビット (0=正, 1=負)
  - (2) d: 10進数 (バイトごとに2)
  - (3) X: 読み取れないビット: 8087 はロードの際に無視し、記憶の際はゼロ化する
  - (4) Δ: 増減2進小数点の位置
  - (5) 1: 有効桁の指数ビット: 短実数および長実数で暗示される、一時実数で記憶される
  - (6) 指数バイアス (正値化値): 短実数: 127 (7FH)  
長実数: 1023 (3FFH)  
一時実数: 16383 (3FFFH)
  - (7) バックBCD:  $(-1)^n \cdot (D_{17} \dots D_1)$
  - (8) 実数:  $(-1)^n \cdot (2^{\text{指数バイアス}}) \cdot (F_1 \dots F_{\dots})$

FIG. 66.

【図68a, 68b】



【図67】

TES10017.STL

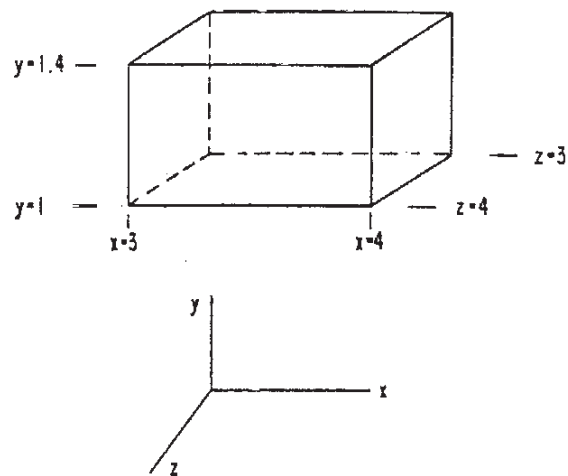


FIG. 62.

---

フロントページの続き

(72)発明者 ルイス、チャールズ ウィリアム  
アメリカ合衆国カリフォルニア州、バン  
ニューイス、ライナンドット、ストリート  
14608