

報告番号 甲第 4569 号

不整合な三面図情報からの曲面をもつ
立体の同定に関する研究

巢 宇燕

不整合な三面図情報からの曲面をもつ
立体の同定に関する研究

名古屋大学大学院人間情報学研究科
物質・生命情報学専攻

巢 宇燕

2000年1月

目次

1	緒論	1
1.1	本研究の背景と目的	1
1.2	関連研究の概要と本研究の位置付け	2
1.2.1	関連研究の概要	2
1.2.2	本研究の位置付け	6
1.3	本論文の構成	7
2	境界表現法と CSG 法を併用した立体生成	9
2.1	緒言	9
2.2	立体生成法の概要	10
2.3	ワールド座標と共通座標	12
2.3.1	共通座標系の定義	12
2.3.2	ワールド座標と共通座標間の変換	13
2.4	球の CSG プリミティブの生成	14
2.4.1	球の CSG プリミティブの定義	14
2.4.2	球の CSG プリミティブの生成アルゴリズム	15
2.5	補助線の追加	16
2.5.1	一般の補助線の追加	16
2.5.2	シルエットラインと接稜線の追加	18
2.5.3	円弧補助線の追加	19
2.6	対応ループの探索	20
2.7	円柱, 円錐の CSG プリミティブの生成	22
2.7.1	円柱, 円錐の CSG プリミティブの定義	22
2.7.2	円柱, 円錐の CSG プリミティブの生成アルゴリズム	22
2.8	曲面を持つ立体の合成	24
2.9	結言	26

3	図面中に存在する不整合の検出とその修正	27
3.1	緒言	27
3.2	3次元立体生成仮定に現れる矛盾	28
3.2.1	CSGプリミティブに関する矛盾の概要	28
3.2.2	単一基本立体要素に現れる矛盾	29
3.2.3	立体が干渉する場合に現れる矛盾	34
3.2.4	立体生成に使用されない線分による矛盾	41
3.2.5	線種の誤りによる矛盾	42
3.3	矛盾の解消と立体の推定	43
3.3.1	矛盾解消の概要	43
3.3.2	不足線分の補充法1	48
3.3.3	不足線分の補充法2	57
3.3.4	不足線分の補充法3	58
3.4	結言	59
4	知識を用いて不整合な三面図から曲面を持つ立体を推定するシステムの構築	61
4.1	緒言	61
4.2	記号と用語の定義	64
4.3	各種の曲面プリミティブにおける可能性計算	65
4.3.1	2円柱相貫体における可能性計算	65
4.3.2	3円柱相貫体における可能性計算	68
4.3.3	球面プリミティブにおける計算可能性	70
4.3.4	円柱プリミティブにおける計算可能性	73
4.3.5	円錐プリミティブにおける計算可能性	75
4.3.6	切断された円柱における可能性計算	76
4.3.7	切断された円錐における可能性計算	78
4.3.8	球冠における可能性計算	81
4.3.9	切断された球冠における可能性計算	82
4.4	曲面プリミティブの決定方法	84
4.5	システムの実装	85
4.5.1	前処理	87
4.5.2	曲面プリミティブの認識	87
4.5.3	CSGプリミティブデータの出力	89

4.5.4	多面体の生成	91
4.5.5	最終的な立体の合成	92
4.6	実験結果	92
4.6.1	例 1	92
4.6.2	例 2	92
4.6.3	例 3	95
4.6.4	例 4	96
4.6.5	例 5	97
4.6.6	例 6	98
4.6.7	例 7	99
4.6.8	例 8	100
4.6.9	実行時間	102
4.7	結言	103
5	結 論	105
	謝 辞	107
	参考文献	108
	関連発表論文	115

第1章 緒 論

1.1 本研究の背景と目的

空間情報を表す多面図は、3次元対象を複数の2次元投影を用いて規定することにより、各種の構造物を客観的に表現する方法として広く用いられている。そして、例えば機械や建築などの分野においては、3次元対象の形状のみならず、寸法値や加工法、組み立て手順までを含めた設計図面により設計情報を表す方法が用いられてきている[35]。

従来の設計図面の作成は主に手書きによるものであり、その長年にわたる蓄積は膨大な量となり、各方面でその管理の危機が叫ばれるようになってきている。一方で、計算機支援設計(CAD)システムや計算機支援製造(CAM)システムの発達は、設計情報の管理から製造までを一貫して計算機により管理する有効な手段として確立しつつあるが、そこでも、基本となる設計情報は、従来通りに人間の側から規定する必要がある[53]。

設計作業では、新規の設計情報に加えて、従来の設計情報を利用、変更して行なわれる場合が頻繁に発生する。その際に必要となるのが手書きの設計情報であるが、手書き図面はそのままでは現在の計算機支援システムでは利用することができず、事前に図面を読み込み、適切なCAD情報に変換する必要がある。この変換手法については、設計図面の自動認識としてこれまでもいくつかの研究が行なわれてきており、展望も含めて報告がなされている[2][31][46][59][66][68]。

設計図面では、主に直交する3次元座標軸方向への投影が採用されており、中でも対象を平面図、正面図と側面図で表す三面図による表記が一般的に用いられている。設計図面の認識では、まず三面図に含まれる寸法情報や加工法情報、輪郭情報を分離、ベクトル化し、その後、外形線を表す実線、破線や寸法線、寸法補助線などの線の種類の判別、数値や記号情報の復元を行う。しかし、図面に含まれるノイズや、認識アルゴリズムに対して許容できる時間的、規模的制約のために、寸法線を輪郭線とみなしたり、必要な輪郭情報が正しく抽出できないなどの誤認識の問題が発生する。このような誤認識は、平面的な線分の接続関係を調べるのみでは十分には解決できず、このため、複数の面図間での線分の整合関係を調べることで、誤認識の解消を進める

方法も提案されている[67].

正当な輪郭情報が抽出できれば, 設計図面が意図している3次元対象としての立体を構成することができる. また, 輪郭情報に誤りがある場合にも, 例えば現場の製造者であれば通常即座に図面の不整合箇所を見分け, 設計者にその訂正をせまるであろうことからすれば, 輪郭情報を1つの3次元対象を表す情報であるとしてみることにより, 誤りを修正するための新たな情報が得られると考えられる. そして, このように3次元立体の輪郭を表す三面図に含まれる誤りを発見することができれば, 設計図面の自動認識結果にフィードバックすることで, より良い認識を行うことができると期待できる.

3次元立体の輪郭を表す三面図からの立体の生成については, 設計図面の認識とは別に研究がなされてきている. しかしそれらは, 計算機上に対象を立体的に表現するためのツールや, 複数の部品の空間的な干渉を調べるためのツールとしての3次元モデラーを対象としたものが主である[6]. そして, 図面のなかに矛盾が存在するような場合はほとんど対象とされておらず, 多面体や簡単な円筒面を含んだ場合に対して矛盾を修正する方法が提案されはじめた段階にあるにすぎない. このため, 依然として要望の高い図面の自動認識の効率化の見地から三面図生成をながめると, 未だに未解決な問題が存在する.

本研究では, 各種の曲面を含んだ立体を表す三面図における矛盾を特定し, 対象とする立体を推定, 生成するための問題を扱う. 特に, これまでの3次元立体のための主要な生成法を調べた上で, 各方法の利点を採り入れた新しい方法の構築を行うこと, また曲面を含んだ立体の投影図に現れる特徴的なパターンを分類・整理して矛盾の特定のための処理法を具体的なアルゴリズムにより明らかにすることを目的とし, 事例により提案法の有用性を示す.

1.2 関連研究の概要と本研究の位置付け

本節では, 三面図認識におけるこれまでの研究を展望するとともに, その流れにおける本研究の位置付けについて述べる.

1.2.1 関連研究の概要

本節では, 三面図からの立体生成についての既存の研究をふりかえることで, 本研究の背景を述べる. 三面図情報からの3次元立体の自動合成は, CAD/CAM やコンピュータグラフィックスの分野における重要な研究テーマの1つとして, 初期の出澤[25]

や Sakurai ら[54]以降、多く研究がなされており、いくつかの展望も行われている[5][27][48].

これまでに用いられてきた立体形状の代表的な表現方法は、境界表現(Boundary Representations, B-Reps)法と、CSG(Constructive Solid Geometry)法に大別できる[4]. 境界表現法では、立体と外界を区別する平面や曲面という境界面で対象を囲むことで立体を表現する. CSG法では、直方体などの多面体や円柱、円錐、球の一部あるいは全体を基本的な立体要素であるプリミティブとみなし、これらの基本的な立体要素による加減集合演算の結果として対象とする立体を表現する. 基本立体要素の組み合わせでは表しにくい一般的な形状の表現には、任意の形状表現に対して曲線近似を用いる境界表現法が有用である一方で、CSG法による立体表現は、幾何学的な特徴が現れやすい立体要素を部分として持つ立体を効率的に表現することができる. このため現在の3次元CADでは、境界要素法に加えて、円柱、円錐、球やそれらの一部を表すためにCSG法を併用して立体データを管理する方法をとるものもみられる[52].

形状の表現方法に従い、立体の生成法も大きく二種類に分けられる. 境界表現法を用いる立体生成の過程では、まず三面図間の端点や線分の対応により3次元空間中の頂点と線分を作り、さらに、同一の3次元平面内に存在するという条件から閉じた平面を生成した後に、面で囲まれた領域としてサーフェスモデルを作成する[19][21][38][48][55][57][64][65][70][76]. この方法では、サーフェスモデルを構築するために、接続可能性をたよりに3次元の面の組み合わせを求める過程の効率が問題となる. またサーフェスモデルの段階においては、その投影が入力面図と適合しない、いわゆる偽立体が存在するため、この除去を行う必要がある.

境界表現法を用いる立体構成はボトムアップ的アプローチ法とも呼ばれており、各研究において、面の探索と偽立体でないソリッドモデルを構成するための独自な方法が提案されている. 佐々木ら[56]は、立体が存在するための制約を、多面体構成規則と三面図合致則の二種類の規則として表した. 多面体構成規則は、三図面が与える3次元稜線から構成することが可能な多面体を与える規則であり、真の稜線であれば、つまりその稜線が立体の構成に寄与するのであれば、相異なる平面にある二面分がその稜線をはさんで隣接することや、交線なしで交差する2つ以上の面は存在しないことを規定する. 三面図合致則は、多面体構成規則に従い作られた多面体が、三面図と矛盾しないことを述べた規則であり、三面図中の各2次元稜線から作られた3次元稜線の少なくとも一本以上は真であることや、真の面をはさんで投影面に写される3次元稜線は破線(隠れ線)として現れることを規定する. 佐々木ら[54]は、これらの規則を非線形疑似ブール式により定式化し、汎用の解法により立体を求めている. 正木ら[37][38]は、伊藤らの方法により定式化した立体生成問題を、二分決定グラフ[43]を

用いることで解決している。一方、西田ら[49]は、3次元稜線をもつ面の接続関係を追跡することにより、立体を復元する方法を提案している。またYanら[76]は、頂点、稜線の接続関係を木構造で表すとともに、実在可能な頂点と稜線の組合せを詳細に検討し、存在しない面を効率的に排除しようとしている。これらの方法の多くでは、探索に伴う組み合わせ爆発の問題を回避して効率的な立体生成を行うために、何らかの知識の導入が行われている。

ボトムアップ的な手法により、曲線を含んだ図面から曲面をもつ立体を生成するためには、曲線、曲面がそれぞれ線分、面分と結合する境界において、シルエットラインや接稜線と呼ばれる仮想的な線分を導入する必要がある。Lequette[34]は、円柱、円錐、球の回転対称軸が投影面に平行であるという制限のもとで、任意の角度で切断された曲面と線分の交点に意識的に頂点を設け、シルエットラインの端点とみなすことで妥当な立体を生成する方法を与えた。飯塚ら[24]やShinら[58]も、同様な制限のもとで仮想的な線分を導入する方法を提案している。曲面の処理について、浅野[8]、横山ら[77]は、曲面をポリゴンやBezier曲面により置き直して立体作成を行なうことで、一定の精度で任意の曲面を取り扱うことを可能としている。また、宮本ら[43]は、曲線を含んだ2次元面を外接する多角形で近似することで、曲面をもつ立体の生成問題の一部に対して、境界表現法を用いた比較的簡単な多面体の生成方法を拡張して適用できることを示している。Duttaら[18]は、外接とともに内接する多面体で対象を近似し、生成された多面体に対して曲面を含む図形要素の付け加える、あるいは削除することにより、入力面図に一致する立体を生成している。この方法は、以下で述べるCSG法による処理方法を一部に取り入れた試みとみなすことができる。Kou[32]が提案した方法では、まず、三面図情報からワイヤフレームを生成し、最小内角探索法を用いて候補面を求める。そして、相互の面の被覆関係を調べることで実在しない面を取り除き、最後、残った真である面から立体を構成している。これらの曲面を含んだ立体生成法は、多面体の境界表現法を曲面のもつ場合に拡張としてとらえることができ、曲面の扱い方や表現方法に工夫を施したものである。

CSG法による立体表現法を用いた立体生成では、対象とする立体が基本立体要素であるプリミティブから構成されるとし、基本立体要素の面や線分の特徴的な投影関係を図面中に見出すことで、プリミティブとその組み合わせを特定する[3][9][15][36][38][39][47]。つまり、まず各面図に現れるプリミティブを形成すると想定される2次元ループを投影方向に掃引し、その掃引線の交点から、3次元空間に存在する直方体や円柱などの基本立体要素プリミティブを決定する。その後、入力三面図との照合により、基本立体要素の包含関係、存在の真偽を判断することで、正当な立体を求める。この方法は、基本立体要素の存在を仮定して認識を進めるため、

トップダウン的アプローチとも呼ばれる。この方法における問題は、入力図面全体に適合するプリミティブの構成を効率的に求める段階にある。Haralickら[23]は、入力三面図と比べることで基本立体要素から実際に存在するものを選定する問題を、グラフの制約ラベリング問題としてとらえている。芳川ら[78]は、基本立体要素の存在の判定のために、非線形擬似ブール代数解法を用いて効率化を試みている。Meeranら[42]は、切り欠きやほぞ加工、穴あけなどの機械加工部を基本立体要素として反映した特徴モデルに基づく認識方法を提案している。彼らは、対象立体を取り囲む素材からの削り出し作業により立体が与えられるという事実に基づき、与えられた図面の立体を削り出すのに必要な加工法を、その順序も含めて判定する方法を示した。削りだし作業は余分な立体要素の減算とみなすことができることより、この方法は立体の生成法を与えるとともに、数値制御工作機のプログラミングを直接生成する方法にも適用可能である。Masuda[40]では、入力面図から生成される3次元稜線を取り巻く4象限空間をセルとみなし、セルに立体の一部が存在するか否かの局所的な組み合わせを、立体全体として整合がはかれるという大局的な条件のもとで、汎用の制約充足問題解決のためのATMS(Assumption-Based Truth Maintenance System)により探索する方法を与えている。

さて、三面図には、実線および破線の全ての線分が正確に描かれているとは限らない。場合によっては、図面を簡略化するために、ある一定の約束のもとで特定の線分を省略する記法がよく用いられる。例えば、板金部品を表す場合などの製図の習慣では、図面によっては存在が明白な線分は省略される。このような図面の認識には、その対象分野の知識を用いた解釈が試みられている。田村ら[62]は、板金素材に特有な板厚部の切断加工を示す線分や、穴あけ加工部の垂直な穴の側面を示す線分の省略法を検討し、他の面図に現れる形状から不足線分を補うための処理を、1つの知識として抽出している。大久保ら[51]、田村ら[63]は、この知識ベースに基づき、効率的に省かれている線分を推定して3次元モデルを生成する手法を提案している。また、板金加工などの特別な領域の対象領域でなくとも、図面の見やすさのために、通常においても線分が省略される場合がしばしばみられる。印南ら[28][29]は、このような規則により描かれた面図の理解のための処理法の設計と、具体的な理解システムの構築を進めている。彼らは、CSGプリミティブとして多面体、柱状物体と八分割球を取り上げ、それらが各面図に写す投影としてのループの組み合わせを予めテーブルとして登録しておくことにより、省略された線分を探索的に求める方法を与えている。

これらは、慣習的な製図規則に基づき描かれた図面を対象とした研究であるが、慣習にはよらない不整合な三面図情報から立体を推定するための研究もわずかではあるが行われている。渡辺ら[69][70]は、多面体を表す入力図面において、欠落してい

る線分、線種の指定が誤っている線分、および余分な線分が存在する場合に、立体合成過程の各段階で現れる処理上の不合理を解析して、三面図が意図する多面体を推定するとともに、三面図に含まれる矛盾を特定する方法を提案している。また、増田ら[41]は、ある面図に他の面図と対応がとれない孤立ループや孤立線分が現れた場合、それらが柱状物体の側面や水平・垂直平面を表すものと仮定をして処理することで、曲面を含む立体を復元しているが、対象とした曲面は、一面図から円柱およびトーラスが推定できる場合に作られる面に限られている。

設計図面に現れる矛盾としては、外形線の過不足や線種の誤りの他に、同一面図内や面図間での寸法記述の矛盾がある。この寸法の誤りは寸法付けあるいは検図の問題として、これまでも計算機による自動的な修正、理解が試みられてきた[17]。例えばYuenら[79]は、CSG法により対象立体を表現した上で、基本立体要素が局所的にもつ寸法データと基本立体要素間の相互結合関係から、対象立体全体の寸法データを算出し、面図に現れる寸法情報との整合性を調べるトップダウン的方法の有効性を示した。また、Das[16]は、イメージデータとしての図面を対象として、ベクトル化データから矢印、寸法線、寸法値、外形線などを同定し、直線線分や円弧の接続関係から寸法についての制約方程式を導いている。この制約方程式が図面全体にわたる寸法の統一性を規定するとともに、対象立体の幾何学的表現を与えることになる。制約方程式中の不整合は、そのまま寸法記述の不備につながることで、図面中の寸法記入の誤りの同定が行うことができる。これらの研究は設計図面の自動認識・理解の高性能化に直接関連するものであり、前節で述べた本研究のアプローチと対をなすものである。

以上、多面図からの立体生成において、必要な線分が過不足なく描かれている場合には、多面体を対象とした図面、あるいは比較的単純な幾何学的な曲面を含んだ立体を対象とした図面に対しては、かなり有効な方法が提案されるにいたっている[5]。それらの方法の多くでは、上に述べた2つの立体表現法のいずれかが採用されている。これらの2つの立体表現法においては、お互いの利点がお互いの欠点になる側面が多いものの、特定の立体表現法を採用した立体生成法では、その表現法独自の短所が立体生成過程の各所で問題を引き起こしている点がみられる。また、入力面図に任意の矛盾がある場合の処理は、より進んだ設計図面認識システムや立体モデラーを構築するために必要となる処理であるにも関わらず、各種の曲面をもつ立体は、これまでに対象とされてきていないのが現状である。

1.2.2 本研究の位置付け

立体の生成法において用いられる境界表現法は、対象とする立体が多面体の場合には効率的な表現法となる一方で、CSG法は、予め規定された曲面形状をもつ立体を扱う場合に有効な方法である[6]。このため、これら両方法の特徴をいかすことで、より効率的な立体生成法が構築できるものと考えられる。前節で述べたように、これまでに報告されている三面図からの立体生成法では、主にこれらの2つの方法の一方を採用している。両者を取り入れた研究としては、Duttaら[18]やMeeranら[42]、印南ら[29]のものがあげられるが、これらは境界表現法を基本としたアルゴリズムを補う意味で、その一部として主に円柱面にCSG法を用いたものであり、各方法の利点を十分に活用したものとはなっていない。

また、これまで曲面をもつ立体の生成に関する研究の中心となっていたテーマは、幾何学的に完全な三面図情報から3次元立体を復元する手法であった。しかし、実際の図面には習慣的省略や、不完全な部分を含むのが現状である。特に、三面図がイメージデータをベクトル化したものとして与えられる場合や、対話的に入力される場合には、線分が欠落するばかりでなく、外形線と隠れ線を区別する線種が誤って指定されている線分や、立体生成には余分な線分が含まれることがある。曲面を含んだ立体を表すこのような図面に対しては増田[39]が取り上げているが、推定対象としての曲面の形状がごく限られており、より実用的な場合には、これまでに提案されたシステムでは解決できないのが現状である。

このような実情を踏まえて、本研究では、まず、境界表現法とCSG法の利点を共に発揮した立体生成について新たに注目し、両方法の融合の可能性について検討し、その方法の確立を進める。その上で、これまでには関心が向けられていない、矛盾を含んだ三面図情報からの曲面をもつ立体の推定に注目する。対象とする矛盾のうち、欠落した線分は、習慣的に省略される線分と事故的に欠落した線分を区別することなく扱こととする。これにより、不足線分が現れる理由によらない、より一般的でかつ強力な方法を対象とすることになる。

1.3 本論文の構成

本緒論のほかの本論文の構成を、簡単な紹介とともに以下に述べる。

第2章では、2種類の立体表現法を併用した立体生成法について述べる。まず立体を境界面から構成する境界表現法と、プリミティブである基本立体要素の集合演算から構成するCSG法の原理を説明し、それぞれの利点、欠点を比較、分析する。同時に、各種の曲面を含んだプリミティブが、各面図に与える投影のパターンを調べ、これらのパターンからの立体生成法について述べる。その上で、両者の長所を取り込んだ立

体生成法を提案する。ここでは、図面中の曲線線分に注目してプリミティブの存在を想定し、入力図面を、プリミティブの投影するループからなる部分と、それらを除いた直線線分からなる部分に分離する。前者の部分からは投影パターンより曲面を含んだ立体部分を生成し、後者からは多面体を構成する。入力図面に適合する最終的な立体は、これらのプリミティブと多面体の空間的な集合演算の結果として与えられる。

第3章では、立体生成過程における矛盾発見と解消について述べる。特に、対象立体が曲面を含む基本立体要素をもつ場合において、三面図に含まれる矛盾の原因を解析して、矛盾の解消方法を検討する。対象とする矛盾としては、立体生成のためには余分な線分が含まれている場合、外形線と隠れ線の区別が誤っている場合、必要な線分が不足している場合を取り上げる。矛盾が現れる事例を、プリミティブが単独で存在するケース、および、複数のプリミティブや多面体がお互いに組み合わさって立体が構成されているケースごとに調べる。そして、最も問題となる、線分が不足する場合の矛盾を解消するために、プリミティブがもつループパターンと入力図面とのマッチングにより不足線分を推定する方法、三面図のうち二面図から3次元線分を生成して不足線分の候補とする方法、人間のもつ経験的な知識を用いて不足線分を見積もる方法の3種類の線分補充法を提案する。

第4章では、不整合な入力図面からでも立体を推論するためのシステムについて示す。まず、矛盾した三面図情報から立体の推定における知識の重要性を述べる。次に、図面に現れる投影の特徴からその投影を与える立体を特定するための条件を調べ、そして、立体を推定するためのアルゴリズムを示す。また、システムの実装について詳説し、実験結果に対する考察を行う。ここで与える方法では、図面中に描かれている線分、ループの関係より、プリミティブを構成するであろう可能性を評価することで、たとえ1つのプリミティブを与えるには十分な線分が存在しなくても立体を特定する。プリミティブの存在可能性に注目することにより、矛盾の有無に関わらず立体を推定することができる。具体的な図面情報を用いたいくつかの模範処理を通して、この方法を用いることにより効率的に立体の推定を行うことができることを示す。

第5章では、本論文全体の総括を行い、本研究に対する結論、本研究の成果について述べる。本研究における成果をまとめるとともに、設計図面の認識や3次元モデリングにおいて本研究のはたす役割と貢献について記す。

第2章 境界表現法と CSG 法を併用した立体生成

2.1 緒言

境界表現法と CSG 法は、主要な立体の表現方法として広く用いられており、CAD 分野では CSG 法の一種とみなせる特徴モデルもしばしば利用される。第1章で述べたように、これらの立体表現方法により、三面図からの立体生成方法へのアプローチが異なってくる。境界表現法に基づく生成方法ではボトムアップ的手法がとられ、まず各面図に表れる2次元の頂点、稜線の対応関係より、3次元の頂点、稜線を生成した上で、同一の3次元平面内に存在する稜線から3次元の面分を作る。その後、3次元空間内で閉領域を作る面分の組み合わせを求めて立体の候補とし、この候補のうち入力三面図に適合するものを最終的な解として得る。CSG 法に基づく生成法では一般にトップダウン的手法が取られる。例えば投影方向に平行な回転対称軸をもつ円錐であれば、1つの投影面では円を与え、他の投影面では二等辺三角形を与える。また、回転対称軸を含み1つの投影面に平行な面で二分された半円錐は、二等辺三角形、直角三角形および半円の投影を与える。CSG 法では、対象立体がこのような基本的立体のプリミティブの組み合わせから作られているとして、面図中の特徴的な投影から立体構成に関わるプリミティブを同定する。

境界要素法に基づく立体生成では、立体を構成する面の組み合わせを見出すことが問題となる。この方法としては、線形、非線形擬似ブール代数式に帰着させる方法 [55][56] と、面の貼り合わせ探索による方法 [49] が主に用いられる。このうちブール代数式に帰着する方法では、効率的とされる汎用の解決器 [22] を用いても、組み合わせの爆発により、3次元線分と面分の数が数十のオーダーを超えると急激に効率が低下することが知られている [69]。一方で、面の貼り合わせ探索による方法では、機械的な面接続関係の追跡をするのではなく、もっともらしい面接続を優先的にたどるための知識を用いることにより、多面体に対しては実用的な計算機資源で妥当な解が得られやすいとされている。

CSG 法を用いた方法においては、各面図に表れる2次元ループから掃引すべきループを的確に見出すことができれば、効率の良い立体生成が可能であるとされている [30]。つまり、CSG プリミティブの投影する特徴的な円弧線分などを含むループを面

図中に見出すことができれば、各面図間での線分およびループの対応関係でユニークに対象が決定できる。一方で、ループが直線線分のみからなる場合には投影に特徴が現れにくく、基本立体要素が与えるループを特定するために、付加的な規則を効率良く適用する必要があることが指摘されている。このことは、CSG 法に基づく立体生成法が、曲面を含む立体要素には有効であるものの、その反面、多角形面からなる多面体に対しては問題があることを示しているといえる。

本章では、境界要素法に基づく方法の利点である、多面体の生成に対する効率性と、CSG 法に基づく方法の利点である、曲面を含んだ立体要素の同定に対する効率性をともに取り入れた立体生成法の構築を行う。

2.2 立体生成法の概要

円弧を含んだ三面図から曲面をもつ立体を生成する方法について述べるのに先立ち、以下で用いる語句の説明を記す。

- ・線分： 三面図中の 2 次元直線線分， 2 次元円・円弧曲線線分。
- ・線分の種類： 実線もしくは破線からなる， 外形線と隠れ線。
- ・点： 線分の両端点。
- ・補助線： 切り離す 2 次元円弧線分を補うために導入する直線線分。
- ・A 図面： 直線のみが構成する図面。
- ・B 図面： 円・円弧曲線線分のループと対応するループが構成する図面。
- ・3D 面： 立体を境界つける平面。同一平面上に存在する 1 つながりの閉じた 3 次元稜線により境界つけられる。
- ・3D 稜線： 3 次元空間の直線線分。
- ・頂点： 3D 稜線の両端点。
- ・3DA 立体： 3 次元空間に存在する多面体。
- ・3DB 立体： 1 つの CSG プリミティブあるいは 2 つ以上の CSG プリミティブの集合。

円弧を含んだ三面図から曲面をもつ立体合成する手順は、図 2.1 に示すように、まず、補助線を追加し、B 図面を分離する。そして、円、円弧曲線のループおよび対応ループが構成する B 図面から CSG プリミティブを生成する。次に、円・円弧曲線を入力図面から除去し、残る直線線分が構成する A 図面から 3D 稜線、3D 面を生成し、それから、3D 面から 3DA 立体を生成する。最後に、生成された 3DA 立体と CSG プリミティブを組み合わせて立体を合成する。この中で直線のみを構成する A 図面から 3 次元の稜線を生成し、3D 稜線から 3D 面を生成し、また 3D 面から 3DA 立体を生

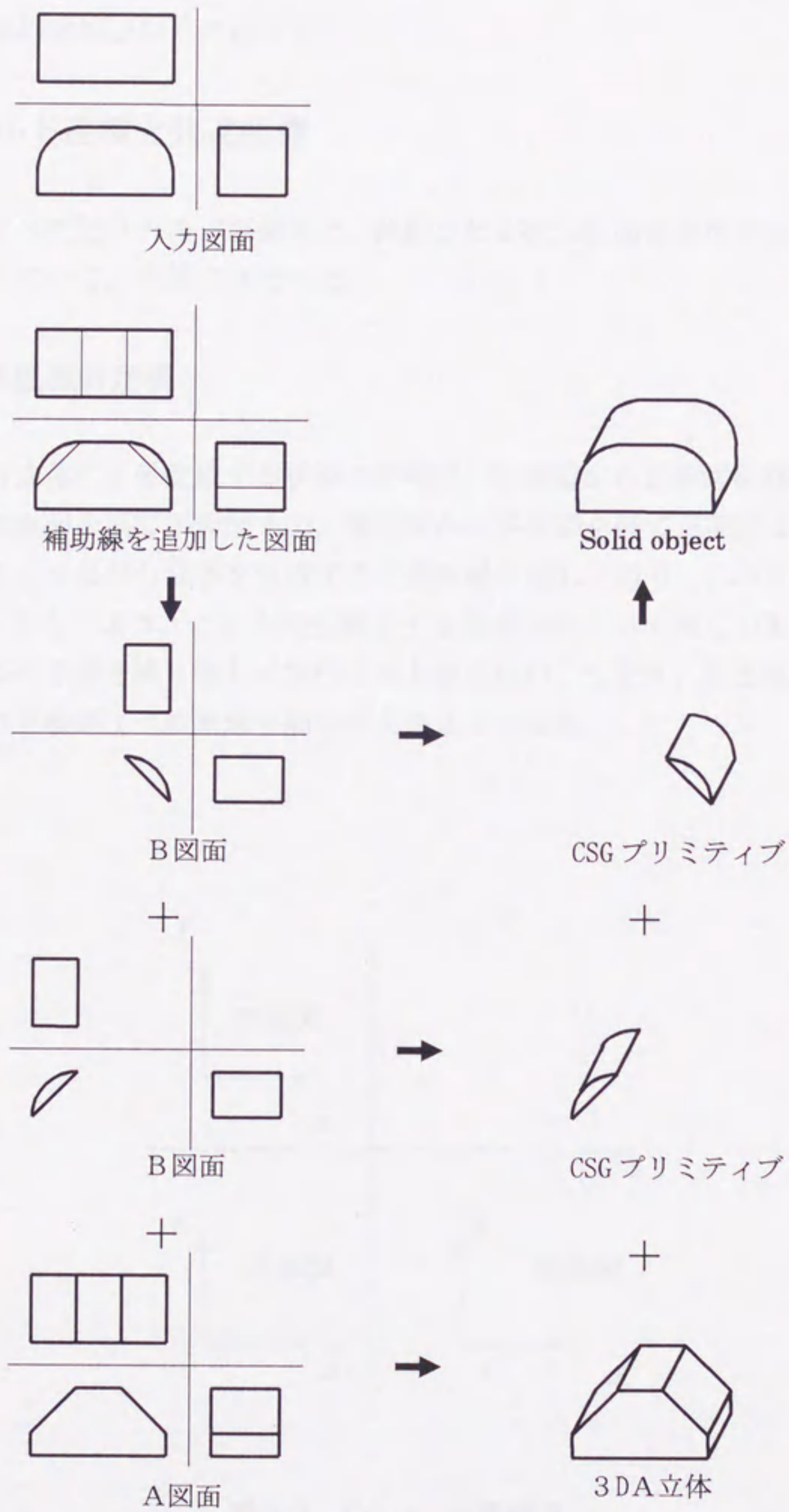


図 2.1 立体生成過程の概略

成する手続きには、文献[66]で提案されているような方法を用いることができる。これ以外の手順の詳細は以下に述べる。

2.3 ワールド座標と共通座標

立体を表す3次元ワールド座標系と、投影した2次元図面を表現するための共通座標との関係について、本節では述べる。

2.3.1 共通座標の定義

三面図から立体の自動生成する従来の手順は、平面図から正面図を経て側面図まで、正面図から側面図を経て平面図まで、側面図から平面図を経て正面図まで、順次、図面間の対応をとりながら立体を生成する手順を繰り返して行う。この3つの手順を、手順1、2、3としよう。これらは引数とする座標以外すべて同じであるため、プログラムを3つの手順を繰り返して実行する必要はない。つまり、共通座標を通して、従来の3つの手順が1つの共通手順で行えるようになる。

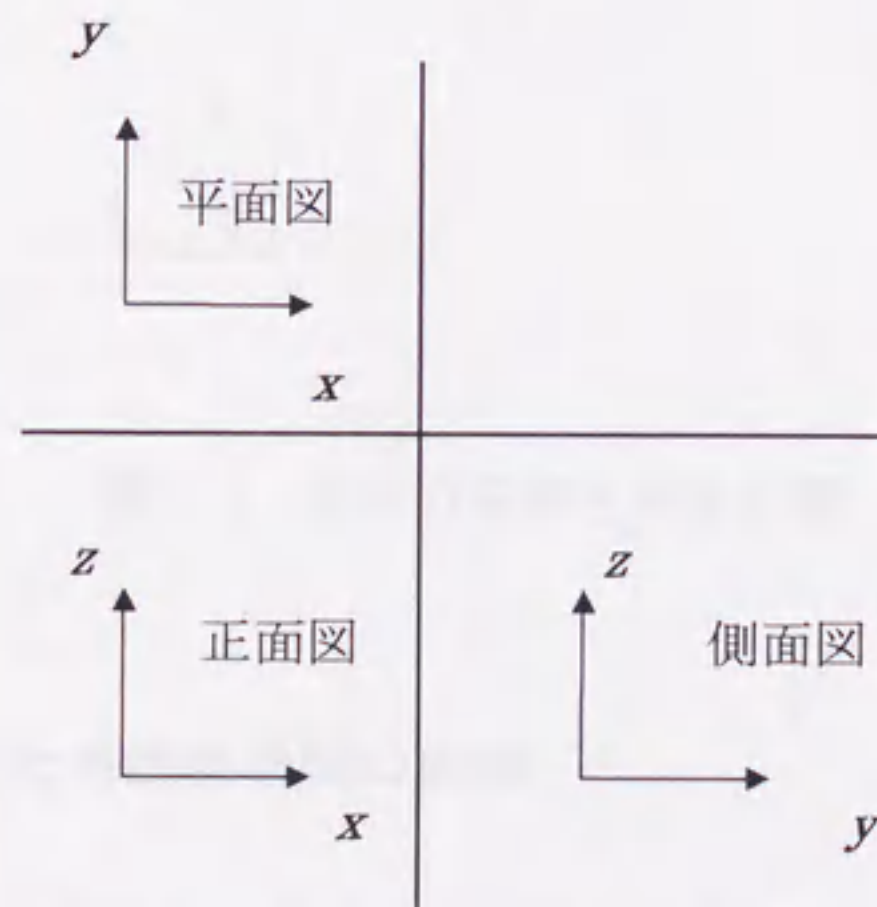


図 2.2 (x, y, z) 座標系

図 2.2 に示すワールド座標系 (x, y, z) によって定義された三面図を用いて、3つの手順を行うことを考える。各手順で、 x 座標または y 座標あるいは z 座標には関わらず、図 2.3 に示すように同じパターンが現れる。このため、3つの面図を view1, view2, view3 として (p, q, r) 座標系を用いて、従来の手順1, 手順2, 手順3に共通の手順を適用する。view1, view2, view3 は、手順1の平面図, 正面図, 側面図, 手順2の正面図, 側面図, 平面図, および手順3の側面図, 平面図, 正面図と対応付けることができる。ここで (p, q, r) 座標はそれぞれの手順の座標と対応している。この (p, q, r) 座標系を共通座標系とよぶことにする。

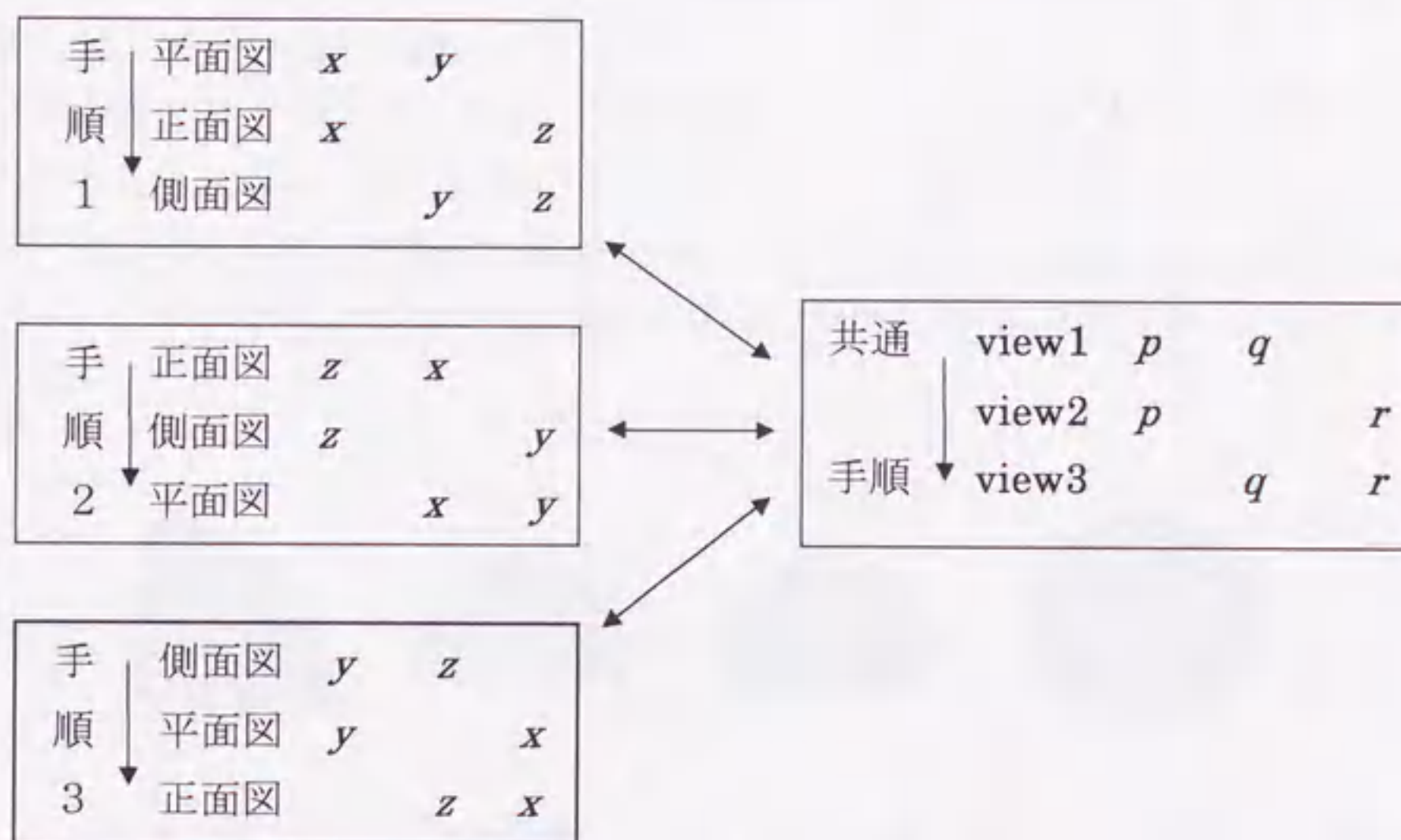


図 2.3 従来の手順と共通手順

2.3.2 ワールド座標と共通座標間の変換

図 2.3 に示すように、手順1, 手順2, 手順3のそれぞれを使う場合に、ワールド座標から共通座標への変換を行ってから、共通の手順を用いる。そして、共通の手順を行ってから共通座標からワールド座標への変換する。これにより、手順1, 手順2, 手順3をそれぞれ行うことと同じ目的が共通の手順により達成できる。

2.4 球の CSG プリミティブの生成

本節では、球、あるいは投影面により切断された部分球のプリミティブの投影パターンの解析と、そこからの立体生成について述べる。

2.4.1 球の CSG プリミティブの定義

球や半球などを三面図に投影するとき、回転対称軸がいずれかの投影面に垂直であれば、3つの投影面にも円・円弧曲線線分が現れる。この特徴を利用して、球の CSG プリミティブが生成できる。

球の CSG プリミティブとして、図 2.4 に示すように $1/8$ の球、 $1/4$ の球、半球、1つの球を取り上げる。これらの CSG プリミティブの軸が三面図のいずれかに垂直であれば、三面図に投影した結果、球の CSG プリミティブの三面図における基本形状ループパターンが図 2.5 のように現れる。これらの対応するループパターンを表 2.1 にまとめる。

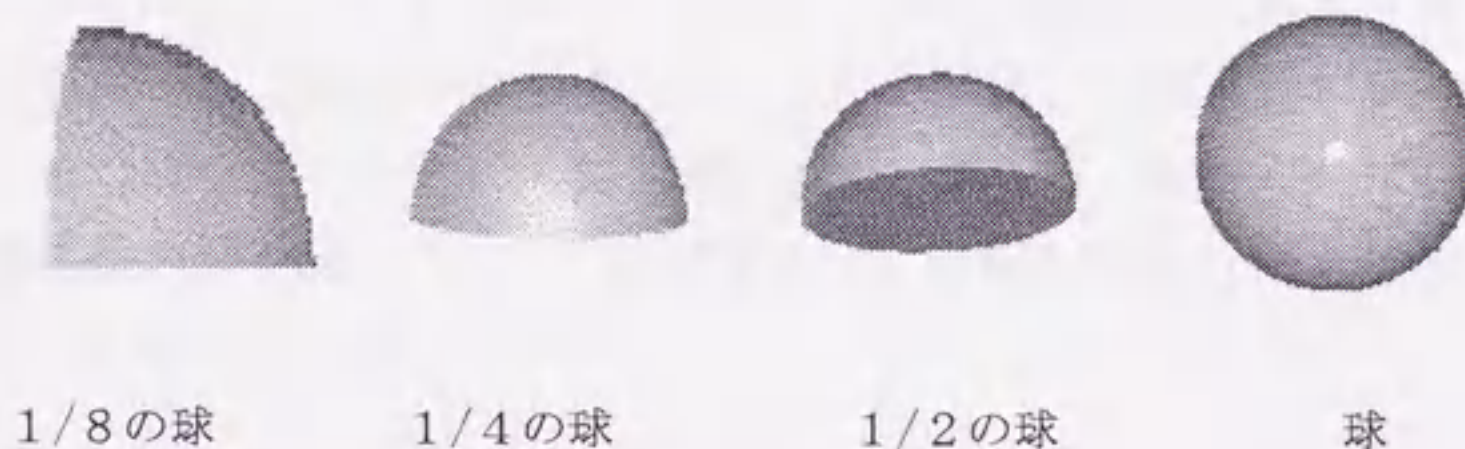


図 2.4 球の CSG プリミティブ

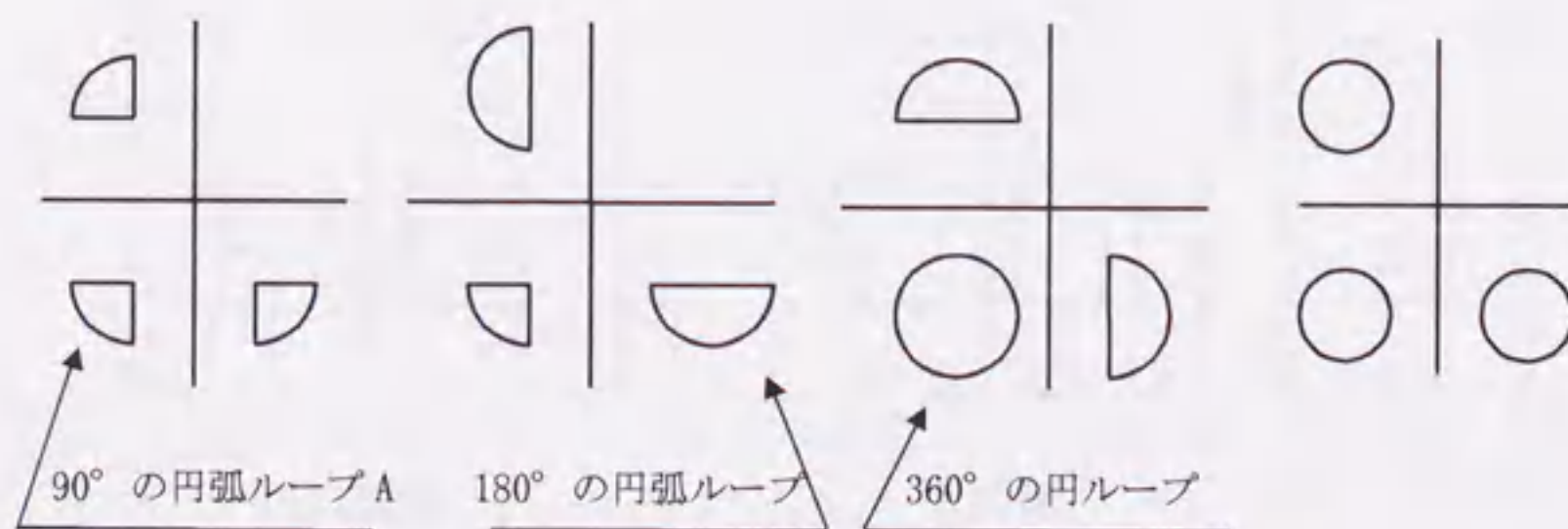


図 2.5 球の CSG プリミティブの基本形状ループ

表 2.1 球の CSG プリミティブと投影ループパターン

	平面図	正面図	側面図
1/8 の球	90° の円弧ループ A	90° の円弧ループ A	90° の円弧ループ A
1/4 の球	90° の円弧ループ A 180° の円弧ループ 180° の円弧ループ	180° の円弧ループ 90° の円弧ループ A 180° の円弧ループ	180° の円弧ループ 180° の円弧ループ 90° の円弧ループ A
半球	180° の円弧ループ 360° の円 180° の円弧ループ	180° の円弧ループ 180° の円弧ループ 360° の円	360° の円 180° の円弧ループ 180° の円弧ループ
1つの球	360° の円	360° の円	360° の円

2.4.2 球の CSG プリミティブの生成アルゴリズム

球の CSG プリミティブは、立体として2つの形式をもつ。つまり、外形を表し立体を構成するものと、もう1つは穴やくぼみとして立体の中の領域を表すものである。どちらの形式でも三面図に投影すれば、3つの図面に円弧曲線が現れる。この特性を用いて、球の CSG プリミティブが生成できる。従って、球の CSG プリミティブを構成する円弧曲線線分を図 2.6, 2.7 に示すように元図面から分離できる。このアルゴリズムは以下の通りである。

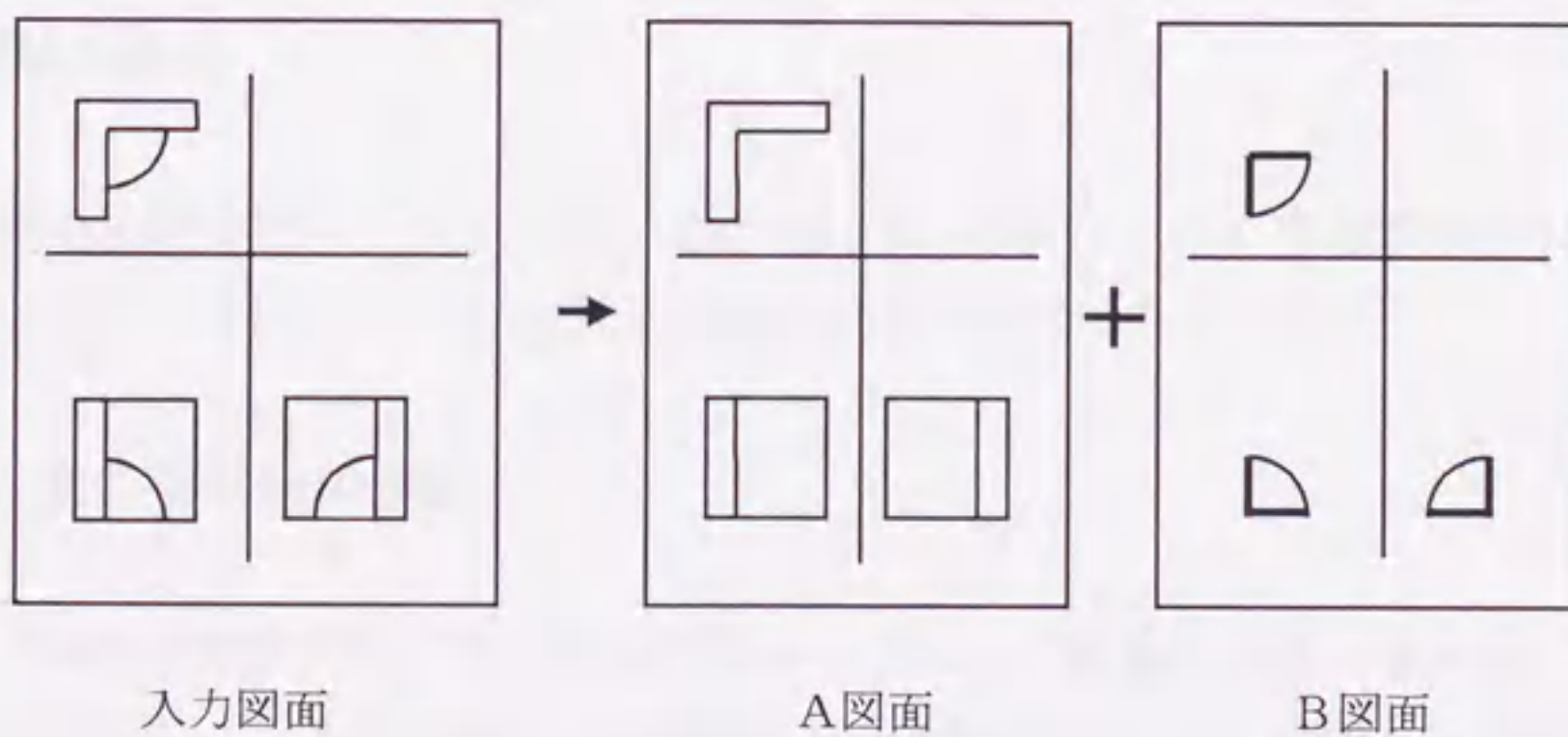
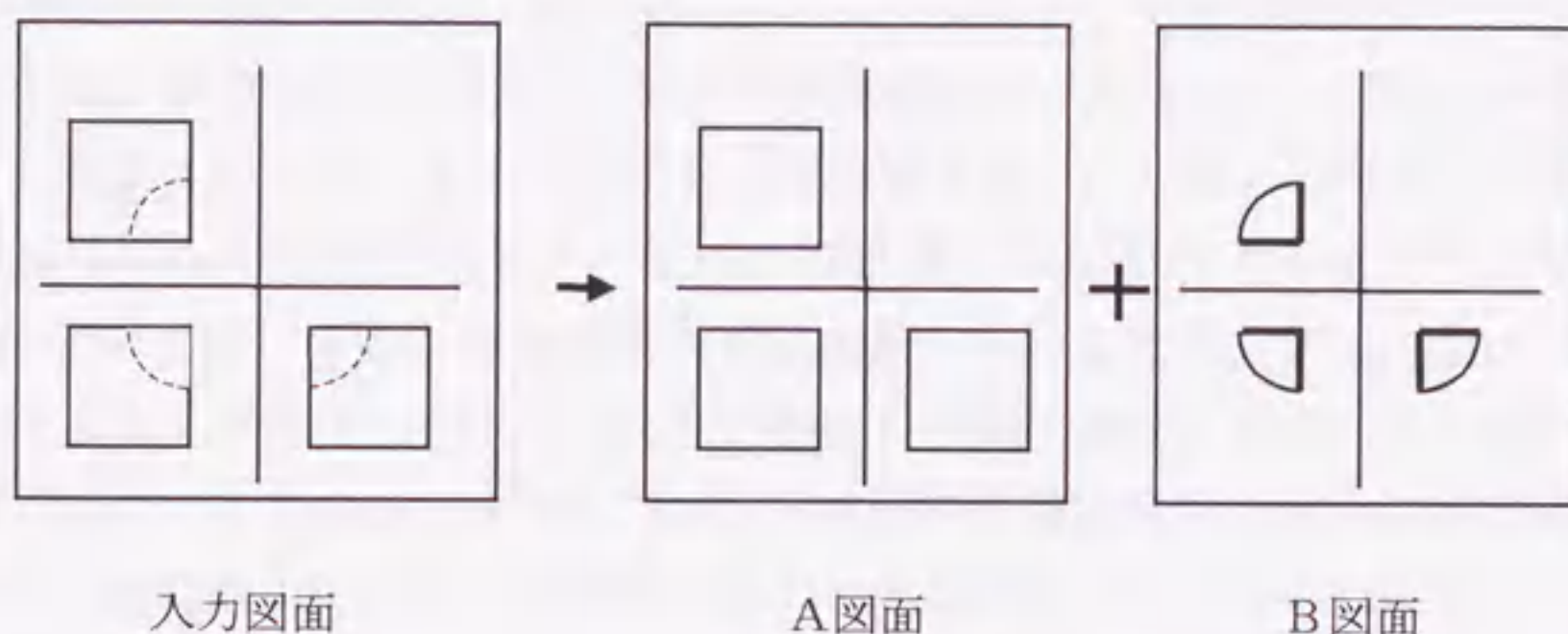


図 2.6 輪郭としての 1/8 の球

図 2.7 くぼみとしての $1/8$ の球

アルゴリズム

1. view1 に円, 円弧線分が存在するならば 2 へ. 存在しなければ終了.
2. view2 に円, 円弧線分が存在するならば 3 へ. 存在しなければ終了.
3. view1 の円, 円弧線分の中心座標と半径を, それぞれと view2 図面の円, 円弧線分の中心座標と半径と比較する. 等しければ 4 へ. 等しくなければ, 2 へ.
4. 円弧角度を計算し, 球の CSG プリミティブを出力したのち, 球の CSG プリミティブを構成する各面図内の円・円弧線分に使用済みのマークをする. 5 へ.
5. 球の CSG プリミティブを view3 に投影した円・円弧線分の存在を調べる. 存在するならば, この円, 円弧線分にマークをして 1 へ. 存在しなければ矛盾であり, この円, 円弧線分を view3 に補う.

2.5 補助線の追加

円弧曲線から閉じたループを形成するためには, 必要に応じて補助的な線分を置きなう必要がある. 本節では, これらの補助線の追加について述べる.

2.5.1 一般の補助線の追加

円柱を三面図に投影するとき, 円柱の軸がいずれかの図面に垂直であれば, 一面図に円, 他の二面図にこの円と対応する矩形ループが現れる. また円錐を三面図に投影するとき, 円錐の軸がいずれかの面図に垂直であれば, 一面図に円, 他の二面図にこ

の円と対応する二等辺三角形のループが現れる。よって、1つの円柱や円錐、あるいは半円柱や半円錐が他の立体と角度をもって交わっている状態であるならば、前節で述べた球の場合と同じように、ループの対応関係を利用して、三面図から立体を合成でき、図2.8に示すように入力図面から分離できる。しかしながら、半円柱や半円錐など部分的な円柱面や円錐面と他の立体が滑らかに接続する場合も少なくない。図2.9においては、円弧と直線が滑らかに接続しているため、円弧と対応するループをみつけることができない。これより円柱面を生成できず、円弧も入力図面からうまく分離できない。このようなときには、円柱面や円錐面を三面図から直接的に生成するために、補助線を追加する必要がある。補助線の追加には2つの手順がある。1つは円・円弧曲線と対応している面図にシルエットラインもしくは接稜線補助線を追加する手順であり、もう1つは円・円弧曲線線分自身の補助線を追加する手順である。

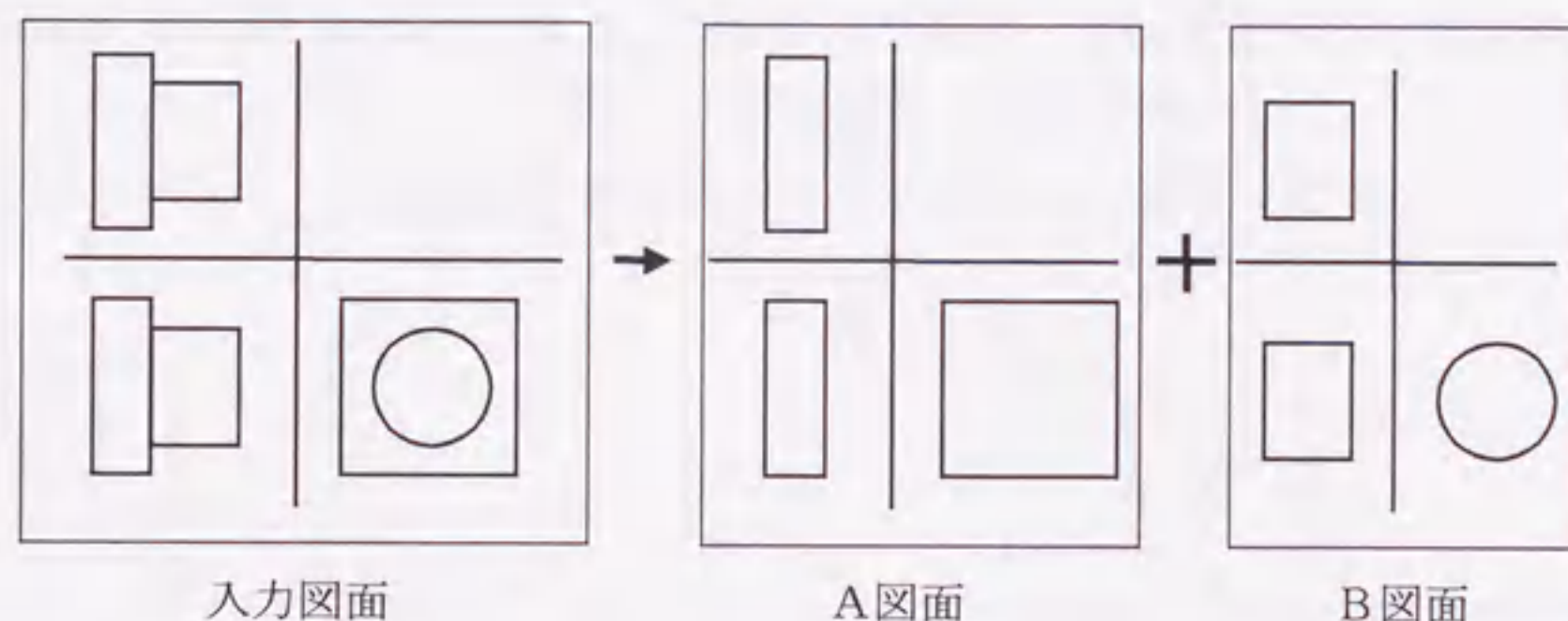


図 2.8 円柱を入力図面から分離できる例

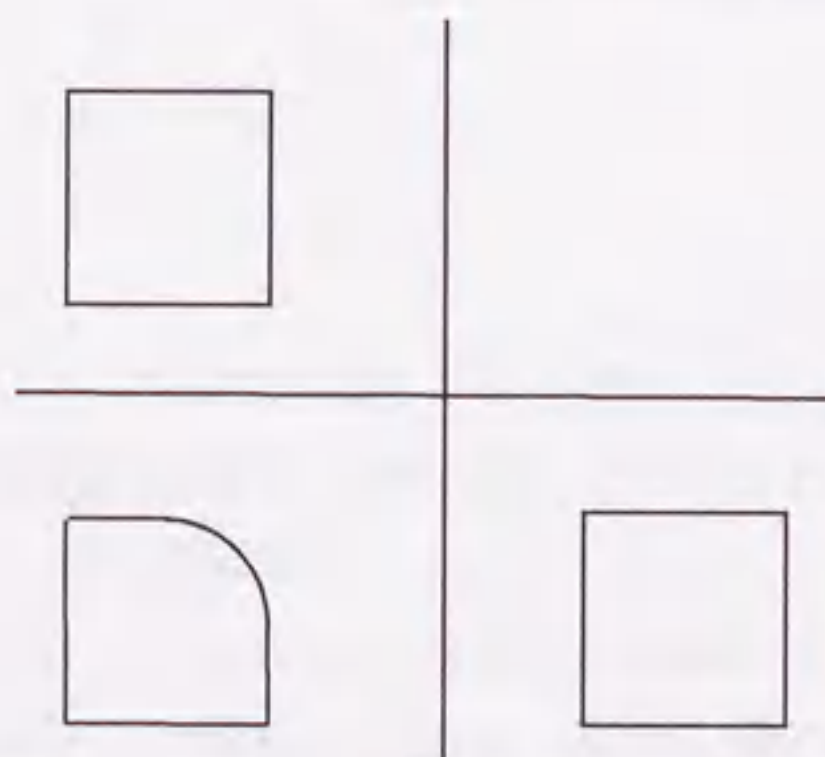


図 2.9 シルエットラインの追加が必要な例

2.5.2 シルエットラインと接稜線の追加

円柱を横から投影すると、円柱面の外側に輪郭線ができる。これをシルエットライン[50]という。曲面の投影図では、このシルエットラインを考慮する必要がある。シルエットラインは実在する稜線ではないので、ある図面のシルエットラインに対応した稜線の投影が他の図面に存在しないことがある。

また、異なる曲面どうしや、曲面と平面が滑らかにつながっている場合、その境界に現れる仮想的な線分を接稜線と呼ぶことにする。この接稜線も三面図に記述されていないことがあるが、円柱のCSGプリミティブあるいは円錐のCSGプリミティブの生成には必要である。

このようなシルエットラインおよび接稜線から円柱のCSGプリミティブと円錐のCSGプリミティブを作るために、対応する補助線を追加する。まず、円・円弧の中心を通り、座標軸に平行または垂直な線分と形状線が交わる点を補助点とする。そして、この補助点を他図面領域へ投影し、これを通る母線を補助線とする。図2.10、図2.11では、シルエットラインを太実線で、接稜線を太点線で例示する。

シルエットライン、接稜線の導入アルゴリズムは次の通りである。

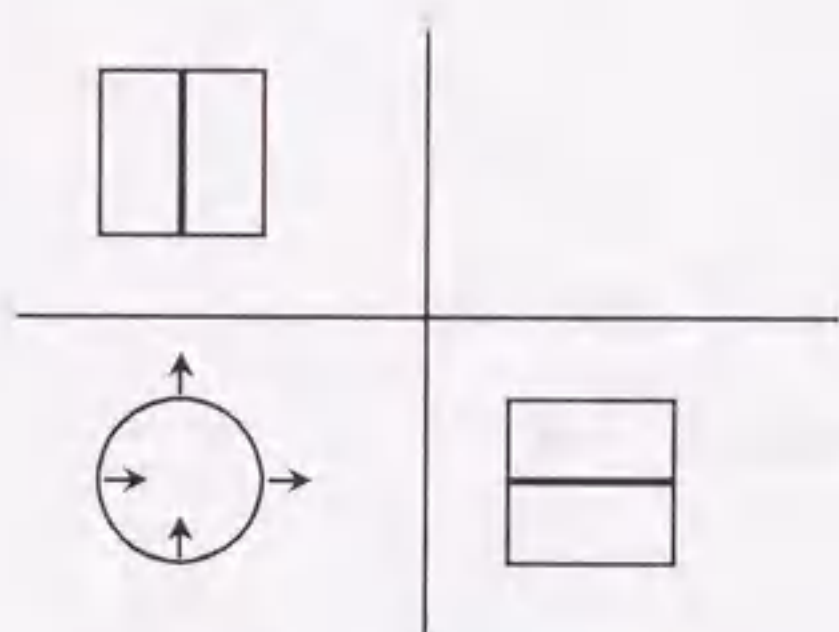


図 2.10 シルエットライン

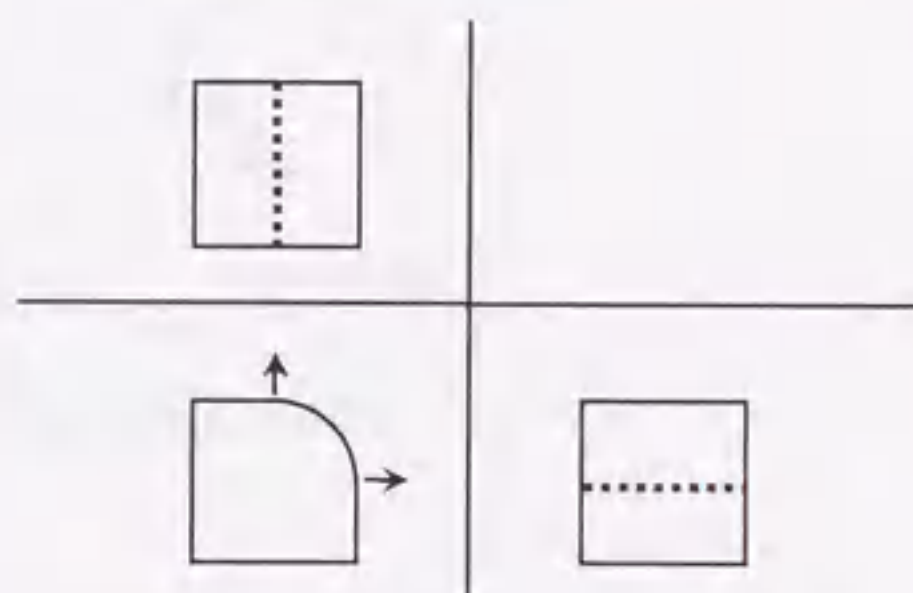


図 2.11 接稜線

アルゴリズム

1. view1に円・円弧線分が存在すれば2へ。存在しなければ終了。
2. 円・円弧線分の中心座標を調べ、その線分上で中心と同一の p 座標または q 座標を持つ点を補助点として登録する。3へ。
3. view2に補助点の数とそれらの p 座標を知らせる。すべてのこれらの補助点に対して、view2の全線分上で補助点と同じ p 座標を持つ点を求め、求められた点を結ぶ線分を補助線とする。

4. view3 に補助点の数とそれらの q 座標に知らせ、3 と同様の処理を行う。

2.5.3 円弧補助線の追加

円弧補助線は円弧上の2点を結んだ追加線分である。円弧の円周角によって補助線の本数が異なる。図 2.12 に示すように、円柱の 90° の円弧補助線は1本であり、始点座標と終点座標を結ぶ線分である。 180° の円弧補助線は始点座標と終点座標の間の 90° 円弧上の分点と、始点座標と終点座標をそれぞれ結ぶ2本の線分である。 270° の円弧補助線は円弧上の2つの等分点と始点と終点が順序に結ぶ3本の線分である。図 2.9 に図 2.13 のように補助線を追加すると円弧曲線線分を入力図面から分離できるようになる。円錐の場合ならば、円柱と同じように円弧補助線を追加する以外に、図 2.14 に例示するように円弧中心点と、円弧の始点、終点、等分点を結ぶ連結線を追加する必要がある。これらの連結線分は、円錐の円弧を入力図面から分離した場合に A 図面に残る線分である。これらの線分を追加すると例えば図 2.15 のように A 図面が得られる。



図 2.12 追加する円柱の円弧補助線

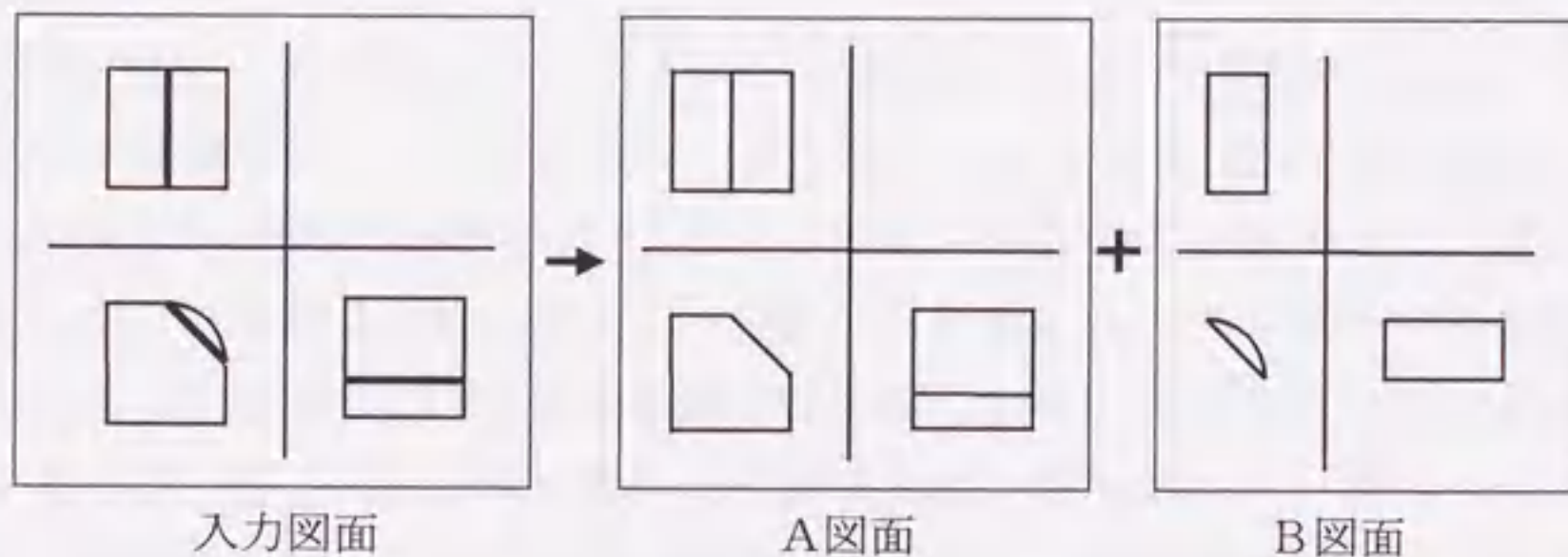


図 2.13 円柱の補助線追加後に分離する例



図 2.14 追加する円錐の円弧補助線

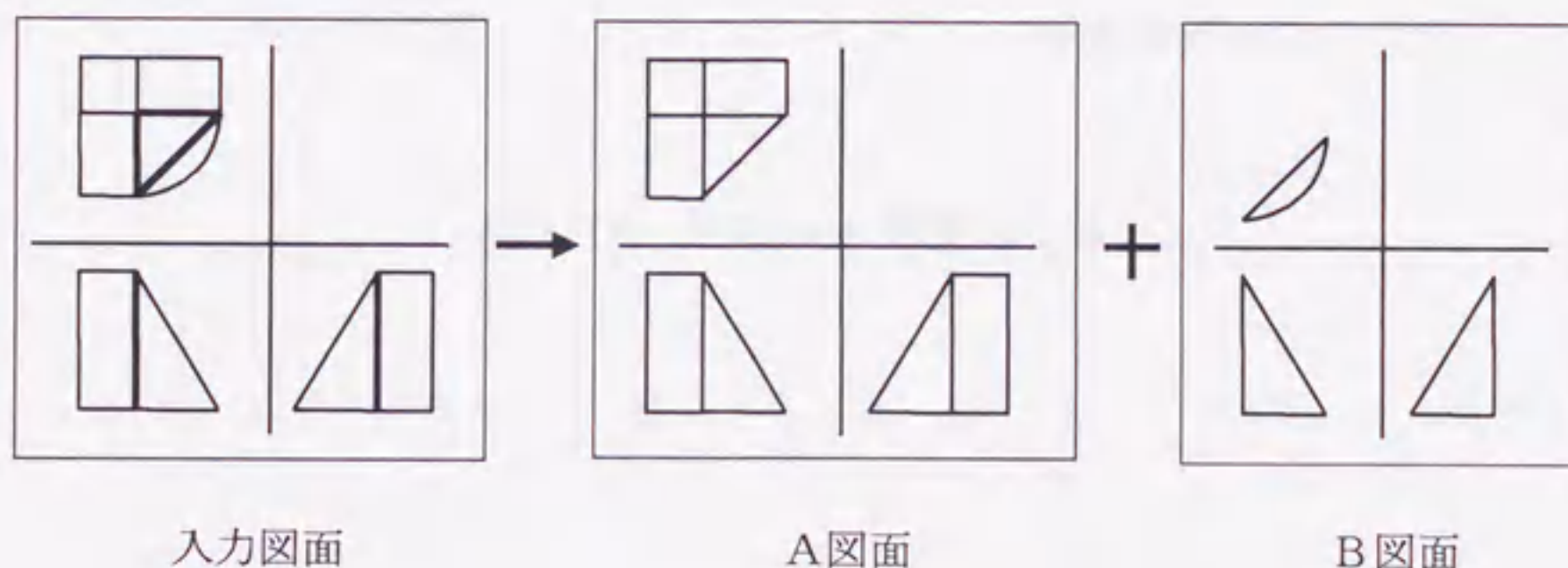


図 2.15 円錐の補助線追加後に分離する例

2.6 対応ループの探索

補助線を追加した図面からは対応ループを探索する。一面図中に対応ループを1つのみ存在する場合は、これが対応ループとなりうることは明白であるが、一面図に2つ以上のループが現れる場合は、この2つ対応ループのどちらが正しい対応ループかを判定しなければならない。図 2.16 と図 2.17 は対応ループを判定する必要がある図面の例である。図 2.16 の円弧曲線線分は実線であることにより正しい対応ループが判定できるが、図 2.17 を同じ条件で判定すれば、正しいループが見つからない。このため、別の条件を用いて決めなければいけない。この図面の例では、円弧補助線が既に存在し、かつ実線であることに基づいて真の対応ループを見出す。

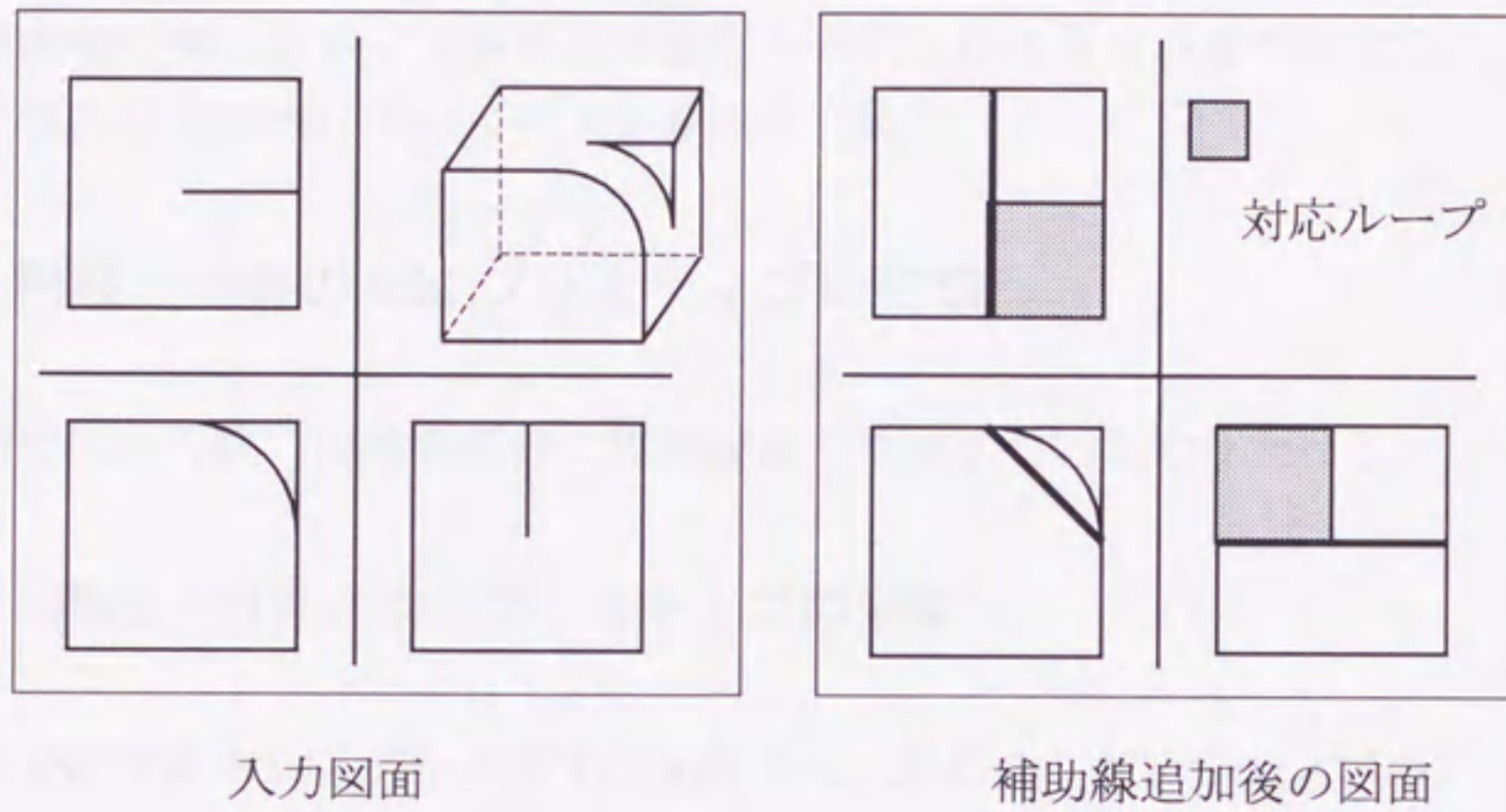


図 2.16 対応ループ探索 (例 1)

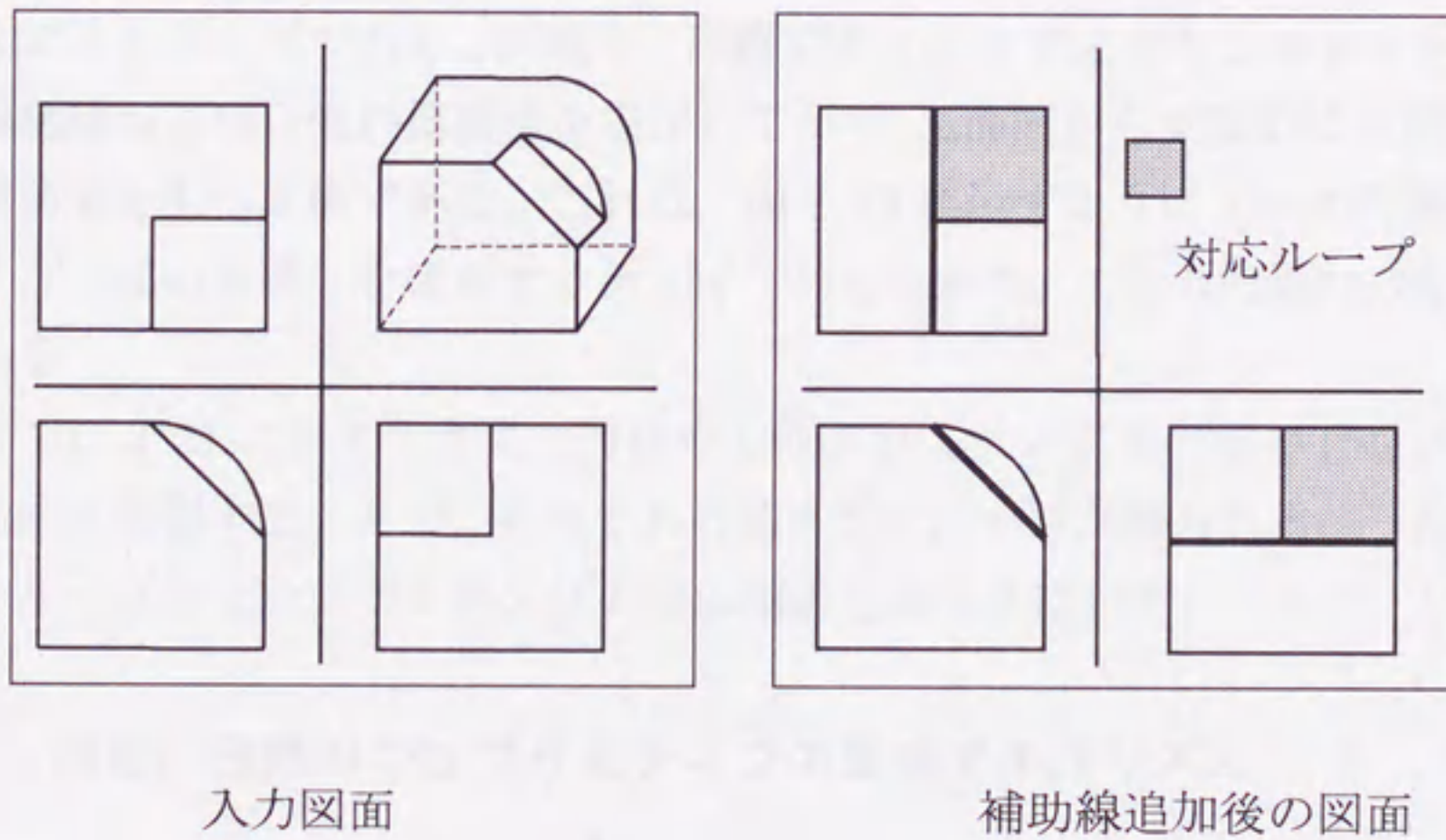


図 2.17 対応ループ探索 (例 2)

アルゴリズム

1. 円弧を選ぶ.
2. 他面図に現れるループが正当な対応ループとなりうるかを判定する.
3. 2多面図で正当な対応ループを見出して終了.

2.7 円柱, 円錐の CSG プリミティブの生成

本節では, 円柱, 円錐の部分立体の投影と生成について取り上げる.

2.7.1 円柱, 円錐の CSG プリミティブの定義

球の CSG プリミティブを生成する過程では, 球の CSG プリミティブの三面図への投影として現れる3つの対応する円・円弧ループの関係をを用い, ループの対応のあるべきパターンにより, 三面図から直接3次元 CSG プリミティブを構成した. 円柱の CSG プリミティブと円錐の CSG プリミティブの生成は, 補助線を生成してから, それぞれがもつループパターンにしたがい生成する. 円柱の CSG プリミティブとは, シルエットラインや稜線補助線および円弧の補助線を追加した後に, 三面図から直接的に生成される 90° の円柱曲面をもつ立体である. つまり図 2.18 に示すように $1/4$ の円柱を稜線 a と c および上下円弧 b と d で構成される面 $abcd$ で分けた, $1/4$ の円柱が円柱の CSG プリミティブである. 同様に, 円錐 CSG プリミティブもシルエットラインと稜線補助線および円弧の補助線を追加してから, 三面図から直接的に生成される 90° の円錐曲面をもつ立体である. これは, 図 2.19 に示すように $1/4$ の円錐を稜線 a と c および円弧の連線 b を構成する面 abc で分けられた, $1/4$ の円錐の CSG プリミティブである.

図 2.20, 2.21 に示すように, 円柱の CSG プリミティブと円錐の CSG プリミティブを三面図に投影することで, それぞれの基本形状ループが得られる. 三面図における各々のループと CSG プリミティブの対応関係を表 2.2 に記す.

2.7.2 円柱, 円錐の CSG プリミティブの生成アルゴリズム

前項で述べた円柱, 円錐のプリミティブの作成過程は, 次のようになる.

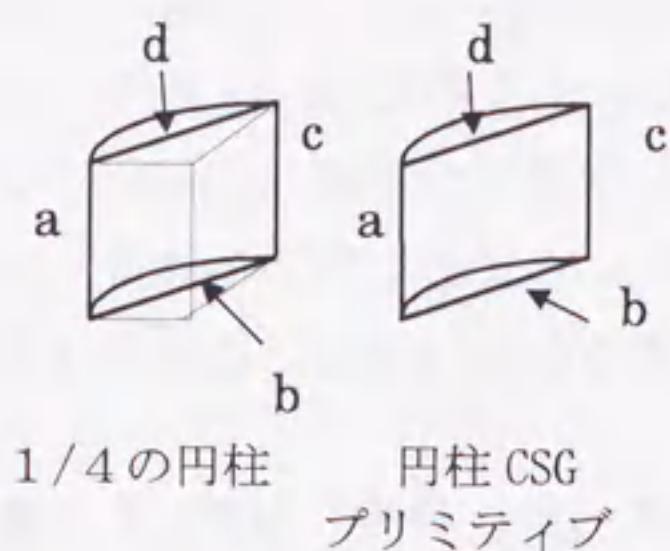


図 2.18 円柱の CSG プリミティブ

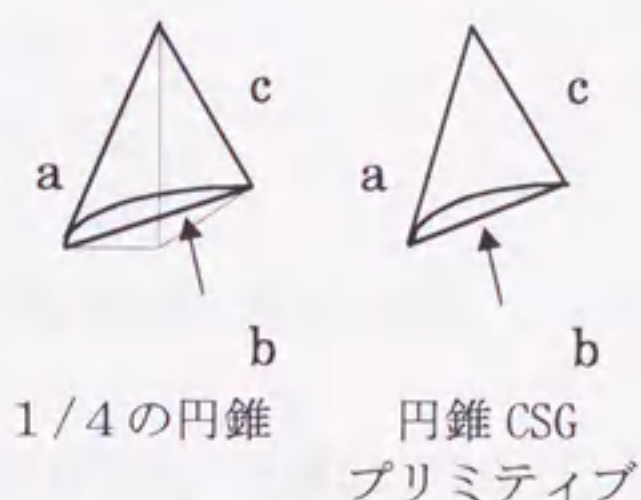


図 2.19 円錐の CSG プリミティブ

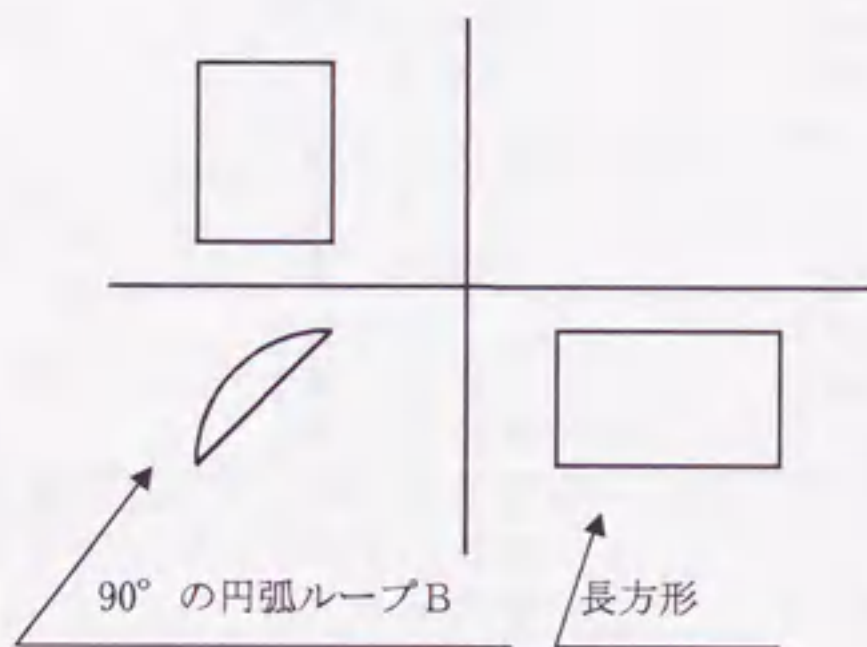


図 2.20 円柱 CSG プリミティブの基本形状ループ

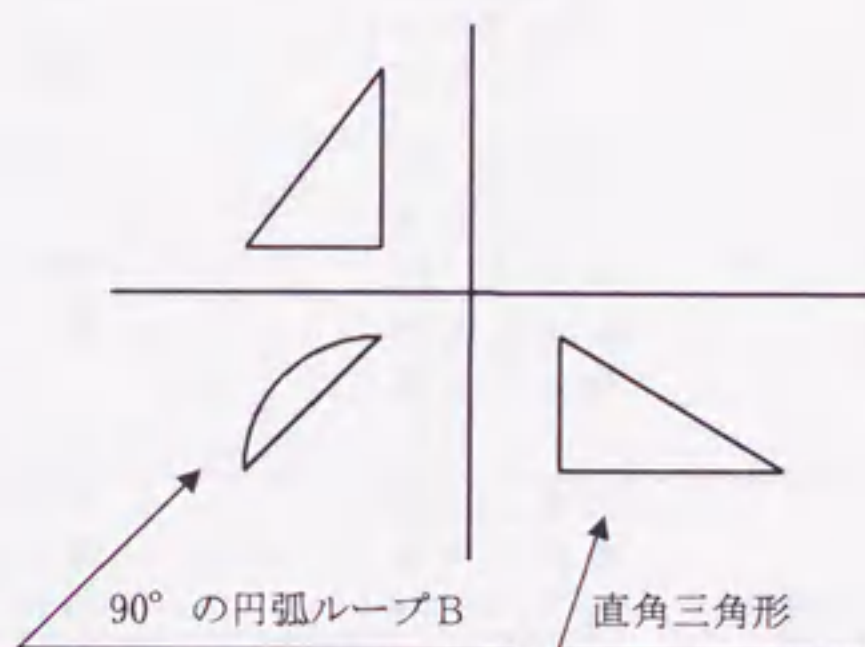


図 2.21 円錐 CSG プリミティブの基本形状ループ

アルゴリズム

1. view1 に円・円弧線分を一つ選ぶ. 円・円弧線分がなければ終了.
2. 円線分であれば 3 へ. それ以外であれば 4 へ.
3. 他の面図に対応ループを探索する. 正方形もしくは長方形ループが存在すれば, 円柱を生成する. 二等辺三角形ループが存在すれば, 円錐を生成する. 1 へ. 対応ループが存在しない場合は, view1 から分離して 1 へ.
4. 補助線を生成する.
 - 4-1. 線分を細分する.
 - 4-2. 対応ループを探索する. 対応する正方形もしくは長方形ループが存在すれば 4-3 へ. 対応する直角三角形ループが存在すれば 4-5 へ. 存在しなけれ

ば5へ.

- 4-3. view1 に円柱の円弧線分の補助線を生成する.
- 4-4. 円柱の CSG プリミティブを生成する. 1へ.
- 4-5. view1 に円錐の円弧線分の補助線を生成する.
- 4-6. 円錐の CSG プリミティブを生成する. 1へ.
5. view1 以外の二図面の線分を復元し, 円・円弧線分補助線を分離して1へ.

表 2.2 円柱, 円柱 CSG プリミティブおよび円錐, 円錐の CSG プリミティブとループパターン

	平面図	正面図	側面図
円柱	360° 円 正・長方形 正・長方形	正・長方形 360° 円 正・長方形	正・長方形 正・長方形 360° 円
円柱 CSG プリミティブ	90° の円弧ループ B 正・長方形 正・長方形	正・長方形 90° の円弧ループ B 正・長方形	正・長方形 正・長方形 90° の円弧ループ B
円錐	360° 円 等辺三角形 等辺三角形	等辺三角形 360° 円 等辺三角形	等辺三角形 等辺三角形 360° 円
円錐 CSG プリミティブ	90° の円弧ループ B 直角三角形 直角三角形	直角三角形 90° の円弧ループ B 直角三角形	直角三角形 直角三角形 90° の円弧ループ B

2.8 曲面をもつ立体の合成

最終的な立体は, これまでに認識してきた曲面を含むプリミティブおよび多面体を組み合わせて生成する. 表 2.1, 2.2 に示した円, 円弧曲線線分のループおよび対応するループパターンに基づいて, 球の CSG プリミティブあるいは円柱の CSG プリミティブまたは円錐 CSG プリミティブを生成する. このように生成された立体が B 立体である. 円・円弧曲線を入力図面から分離し残った直線線分のみが構成する A 図面から生成した平面のみをもつ立体は A 立体である. 曲面をもつ立体の合成は, 図 2.22 と 2.23 に例示するように, 独立して生成された A 立体と B 立体を組合せて遂行する. 曲面をもつ立体の合成アルゴリズムは, 以下の通りである.

アルゴリズム

1. A 立体と B 立体を組み合わせて接合し, 共有している面を削除することで, 立体

を生成する。

2. 三面図合致則[67]を用いて、生成された立体を三面図と合致しているかを調べる。三面図と合致したならば、その立体を解立体として終了。
3. A立体とB立体の差演算を行い立体を生成し、三面図と合致したならば、その立体を解立体として終了。

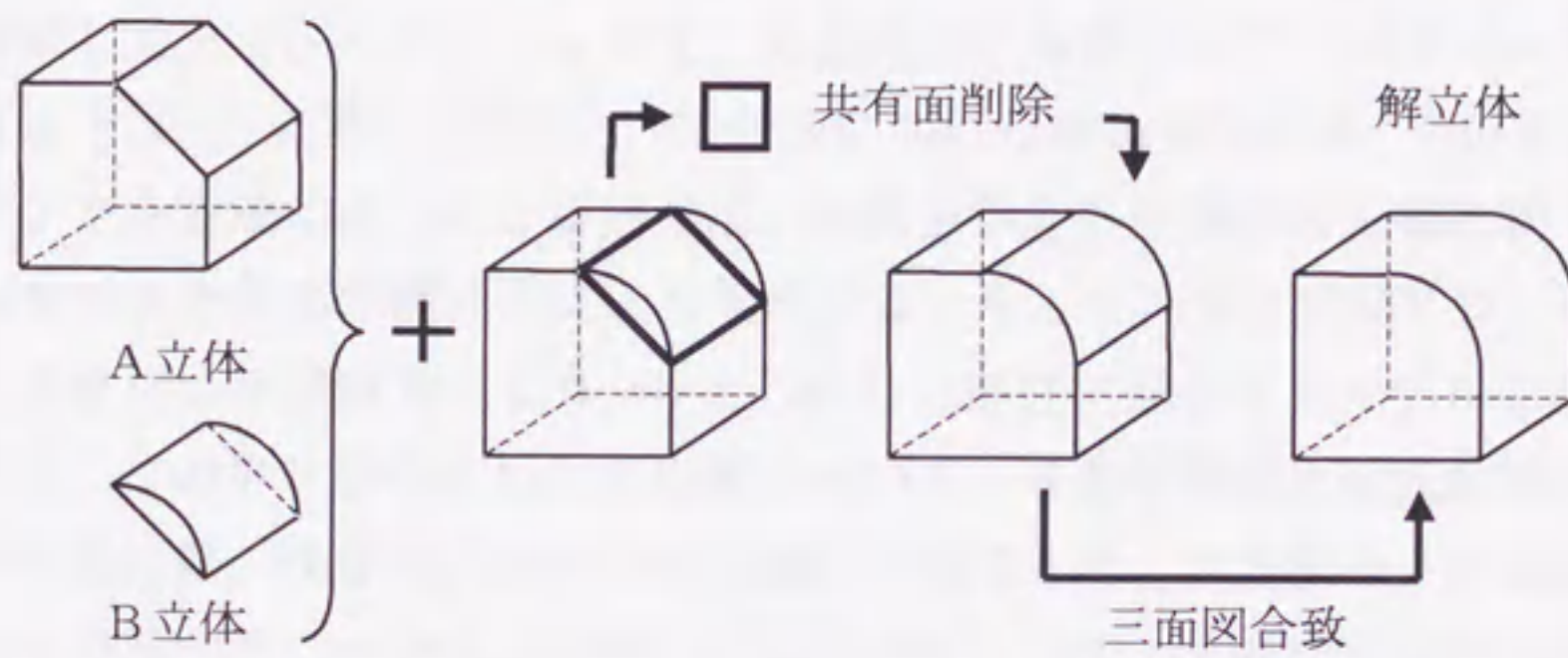


図 2.22 立体合成図 (例 1)

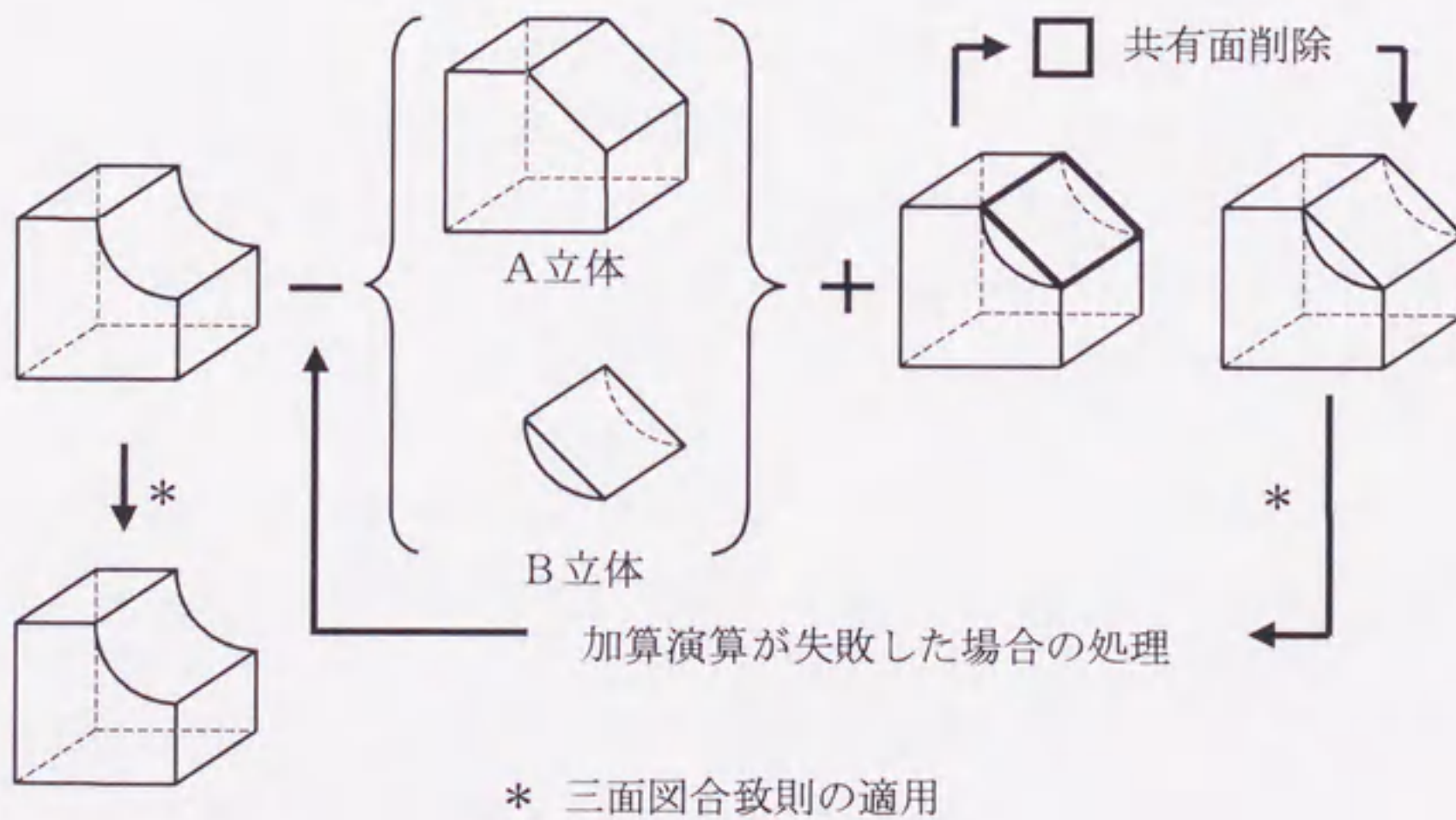


図 2.23 立体合成図 (例 2)

2.9 結言

曲面をもつ立体の三面図からの生成において、境界表現法と CSG 法を併用する方法を提案した。曲面としては、円柱側面、円錐側面および球面を取り上げ、円柱と円錐に対しては回転対称軸に対して $1/2$, $1/4$ 分割したセグメントを、球については $1/2$, $1/4$, $1/8$ 分割したセグメントを最小の基本認識対象とした。プリミティブの投影パターンを分類した上で、ハイブリッドな立体生成法の具体的なアルゴリズムを示した。

この方法では、その第1段階として、図面に現れる曲面形状より、曲面を含んだ CSG プリミティブを認識する。第2段階では、曲面を与える曲線線分を補助線で置き換えた多面体モデルを多面体構成法により生成する。そして、第3段階では、CSG プリミティブと多面体の加減演算により、与えられた三面図に適合するモデルを最終的な解を作成する。この第3段階にわたる処理において、多面体構成と加減演算のための組み合わせ処理には、既存の任意の方法が適用可能である。本方法は、円弧線分を常に 90° 単位で分割することなく、必要に応じて 180° , 270° 円弧をまとめて認識することより、お互いに関連する CSG プリミティブを不必要に細分化することがない効率的な方法となっているといえる。

第3章 図面中に存在する不整合の検出とその修正

3.1 緒言

多面図を用いた立体モデラーやイメージデータからの図面認識においては、入力ミスやベクトル化のエラーにより、矛盾や不整合が発生する。それらの原因は、余剰の線分が存在する誤り、線分が不足していることによる誤り、そして外形線と隠れ線の区別の誤りの3種類に大きく分けられる。

余剰線分や線分の種類が誤っている場合は、線種の区別を行わなければ対象立体の構成に十分な線分が含まれているはずであり、この中から立体の構成条件を満たす線分を用いながら立体の生成を行うことができる。これらの立体は一般に複数存在するが、その中には本来の入力図面において意図された立体が存在すると考えられる。このため、生成された立体を各面図に投影することにより、入力面図中に存在する余剰な線分と線種が誤っている線分を見出すことができる[70]。

図面中に線分が不足している場合は、何からの方法によりこれを補う必要がある。このため、与えられた三面図のうち、任意の二面図から3次元稜線を生成し、それらを再び各面図に投影した線分を入力面図中の不足線分の候補とみなす方法が提案されている[69]。一般に、多面図の面図数が少なくなると、空間表現の情報が少なくなりあいまい性が増すため、生成される3次元稜線の数が増える。その結果、2次元不足線分の候補数も増大し、その中から妥当な不足線分を見出す探索問題の解決が困難になる。このため、候補となる線分から、より適切な線分を選ぶためのルールを設けることで、実用的な時間での処理を可能としている。増田ら[41]は、3次元稜線の生成に利用されない2次元線分は、他の面図に対応する線分が欠落しているために用いられないという仮定を設けている。そして、孤立ループ、円弧、投影面に水平あるいは垂直な線分が利用されない線分として一面図中に存在する場合、孤立ループからは投影面垂直方向にスイープした立体の側面を、円弧からは円環面を、そして投影面に水平あるいは垂直な線分からは他の面図に平行あるいは垂直な面分を設け、立体生成のための面集合に追加する。これらの方法は、偶発的に線分が欠落している場合を対象としたものであるが、線分を補う意味では、製図の慣習により省略された線分を推測する方法も有効である。印南ら[29]の方法では、対象立体がCSGプリミティブの組

み合わせから成っているとして、記法上省略されている線分も含めてプリミティブが与えると考えられる線分を生成する。この線分生成は、各面図に含まれる円弧、斜め線分および投影面に水平、垂直な線分に対して、適宜水平、垂直な線分を補うことで進められ、これにより90°扇形や直角三角形、長方形を形作るループが作られる。その後、これらのループをプリミティブの投影結果とみなすことで、立体の構成に関与する基本立体を求めている。補充すべき線分は、予め登録されているプリミティブの投影と図面中の部分的な投影関係のマッチングにより決定され、これにより省略された線分やシルエット稜線、接稜線も導入される。しかし、対象があくまで慣習的な概略図を対象としており、任意の欠落線分に対応するための検討はなされていない。

本章では、曲面を含んだ立体生成において、曲面を持つプリミティブ相互の投影関係を詳細に調べた上で、習慣的に省略された線分および偶発的に失われた線分の両者を復元する方法を考える。そして、入力面図中の矛盾原因が現れる箇所を特定、修正し、全体として整合のとれた立体を推定するための処理法を検討する。

3.2 3次元立体生成過程に現れる矛盾

3.2.1 CSG プリミティブに関する矛盾の概要

前章で述べた三面図情報から立体を生成する手法は、2次元曲線線分を三面図から分離して、残る直線線分の三面図から平面のみをもつ立体を生成し、それと平行して、分離された曲線線分と曲線線分の補助線線分を構成するループおよび対応ループの情報から球、円柱、円錐のCSGプリミティブを生成する方法である。CSGプリミティブの生成は、三面図中の対応する2次元ループのパターンにを調べることで行うため、もしCSGプリミティブが生成できないのであれば、ループ間の対応がなく、線分が不足している可能性があり、矛盾が発生する。このループ間の対応を調べることで、CSGプリミティブを構成する三面図中の線分の矛盾を発見することが可能となる。

多面体の合成では、はじめに多面体構成則によって入力線分から考えうる稜線と面分の集合の部分集合から閉領域を与えるものを選び、立体を規定するとして列挙する。次に、三面図合致則でそれらの立体が三面図と合致するかどうかを調べ、合致するものだけを残す。この過程での矛盾の発見は、文献[68][69]に詳しい。このため本章では、曲面を含んだ立体における矛盾の発見に重点をおく。

球のCSGプリミティブを三面図に投影すると、三つの面図に円、円弧曲線線分が現れる特徴がある。同様に、円柱、円柱のCSGプリミティブを三面図に投影すれば、2つの図面に長方形として、1つの図面に円、円弧曲線線分が現れる特徴がある。また、

円錐，円錐の CSG プリミティブを三面図に投影すれば，2つの図面に二等辺三角形または直角三角形として，1つの図面に円，円弧曲線線分は現れる特徴がある．これらの特徴を用いて，曲面を持つ立体を生成する過程におけるいくつかの矛盾が発見できる．次項以降でその矛盾の具体的な症例を挙げる．

3.2.2 単一基本立体要素に現れる矛盾

1. 単一基本立体要素の矛盾

入力三面図中の一面図あるいは二面図に不足する線分が存在しており，単独に存在する基本立体要素を生成できない場合の矛盾を，単一基本立体に現れる矛盾とする．各 CSG プリミティブに対して，以下のような矛盾が発生する．

2. 球に関する矛盾

三面図に3つの円，円弧曲線線分の対応を取れば，球 CSG プリミティブが唯一に決まる．三面図に3つの円，円弧曲線線分のどれかが不足しても，矛盾を引き起こす．つまり，円，円弧曲線線分が不足しており，球 CSG プリミティブが生成できない場合である．

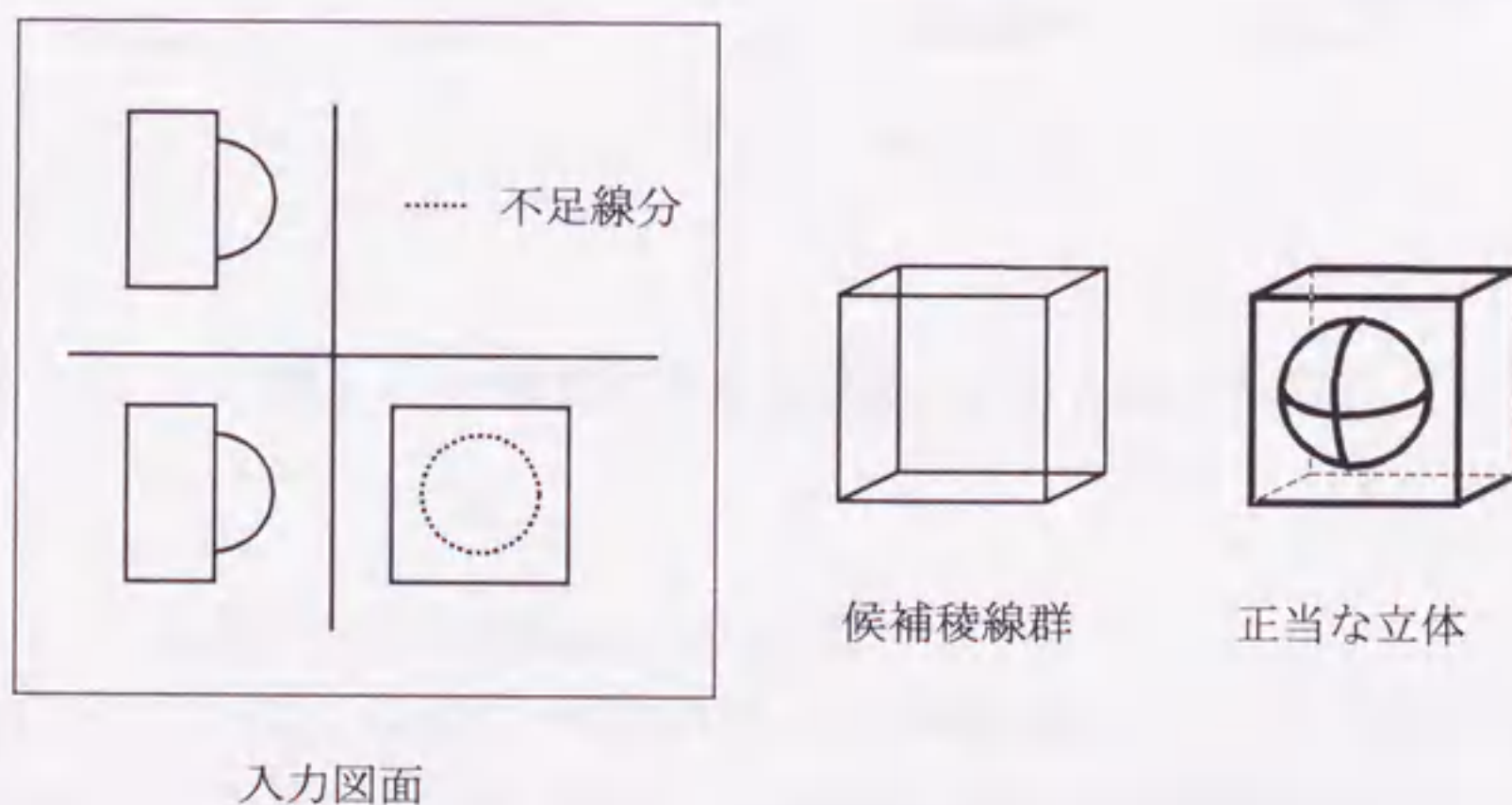


図 3.1 一面図の不足円弧曲線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾1〕 一面図中の不足円弧曲線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの円弧曲線線分があり，残りの一面図に対応する円弧曲線線分が見つからない場合，図3.1のような，円弧曲線線分が不足する矛盾が現れる．この時，球 CSG プリミティブを合成して所望の立体を得るために，不足している線分を何らかの方法で補う必要がある．

3. 円柱に関する矛盾

三面図中の任意の一面図に円，円弧曲線線分があり，それが他の二面図の矩形ループと対応すれば，円柱，円柱の CSG プリミティブが生成できる．三面図におけるいずれかの図面に円柱，円柱の CSG プリミティブを構成する線分が不足しているならば，矛盾を引き起こす．

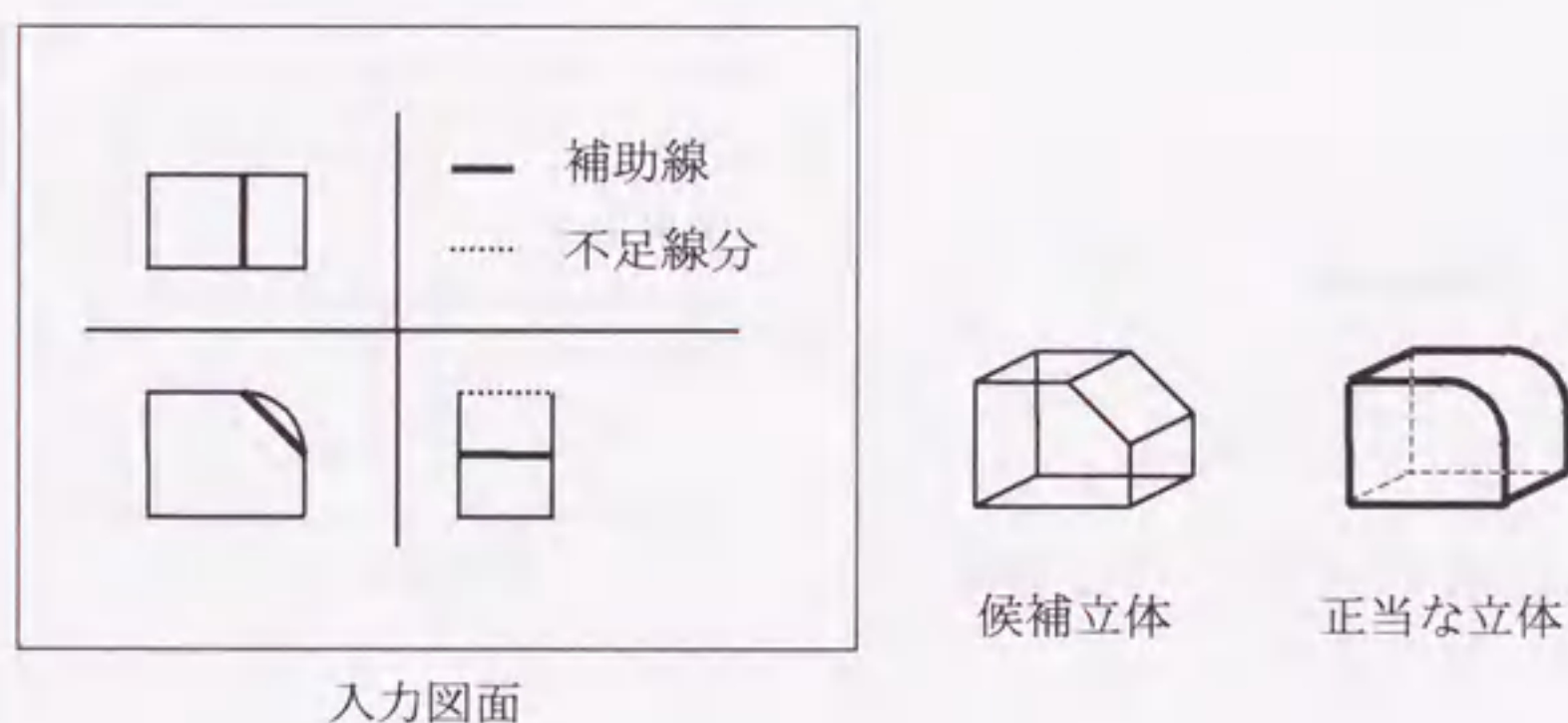


図 3.2 一面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾1〕 一面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾

図3.2に示すように，任意の一面図の円，円弧曲線線分に対して，他の一面図に対応する矩形ループが見つからない場合，この図面に必要な直線線分が欠けているための矛盾が起こる．円柱，円柱 CSG プリミティブを合成して所望の立体を得るために，不足している線分を何らかの方法で補う必要がある．

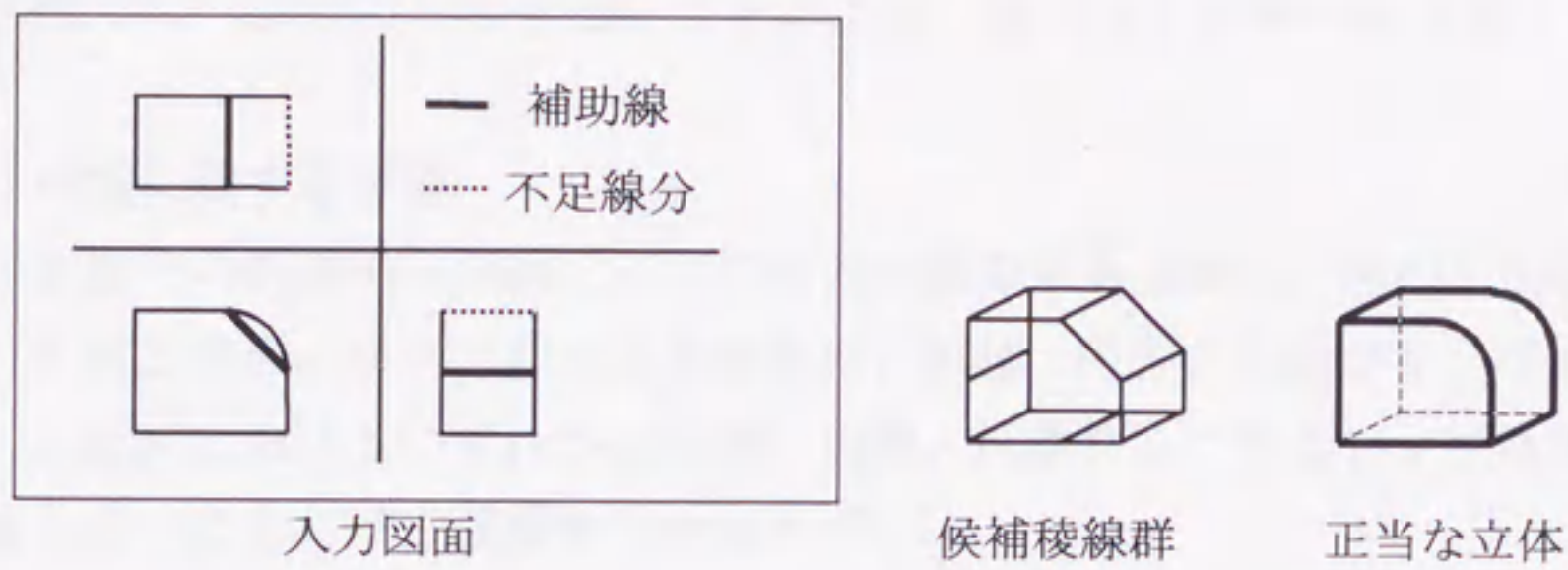


図 3.3 二面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

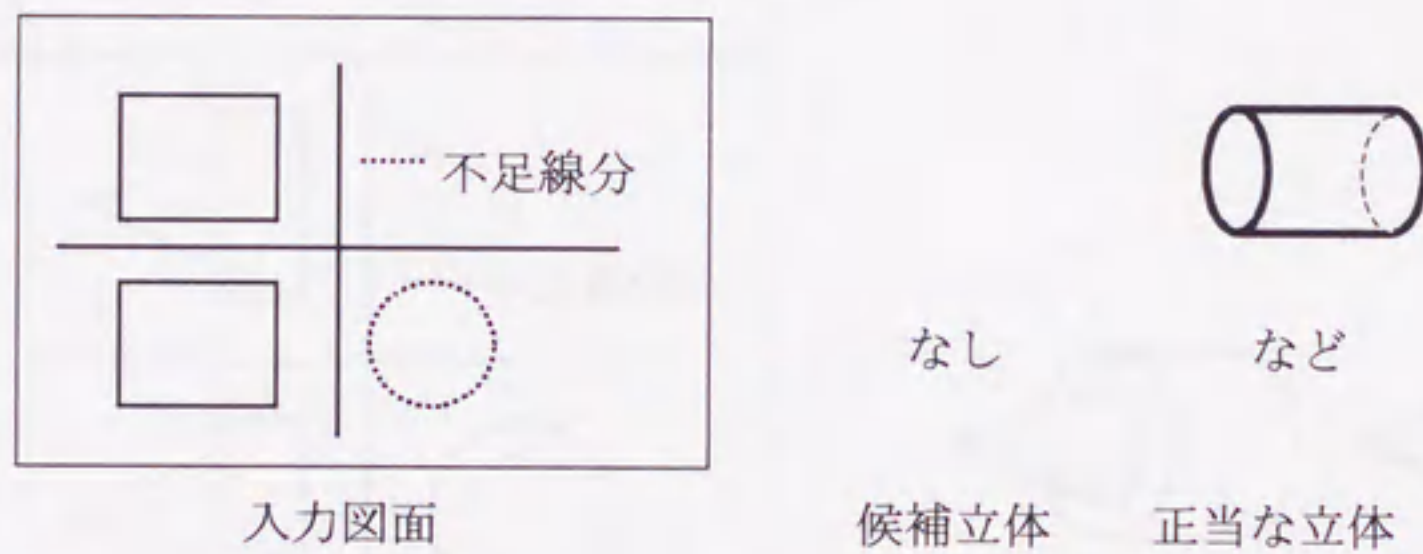


図 3.4 一図面の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

[矛盾2] 二面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾
 図 3.3 に示すように，三面図中の任意の一面図に円，円弧曲線線分があり，他の二面図に対応する円，円弧曲線線分がなければ，対応する矩形ループも見つからないための矛盾である。

[矛盾3] 一面図中の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

三面図中の二面図に対応する矩形ループは存在しているが、対応する円、円弧曲線線分が残りの一面図に見出せないことによる、図 3.4 に例示する矛盾である。

4. 円錐に関する矛盾

三面図中の任意の一面図に円、円弧曲線線分がある場合、他の二面図で2つの二等辺、直角三角形ループとの対応を取れば、円錐、円錐の CSG プリミティブが生成できる。三面図におけるいずれかの面図に円錐、円錐 CSG プリミティブを構成する線分が不足しているならば、矛盾を引き起こす。

[矛盾 1] 一面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の一面図に円、円弧曲線線分があり、他の面図に対応する等辺、直角三角形ループが存在するが、他の面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループが見つからない場合に起こる図 3.5 のような矛盾である。

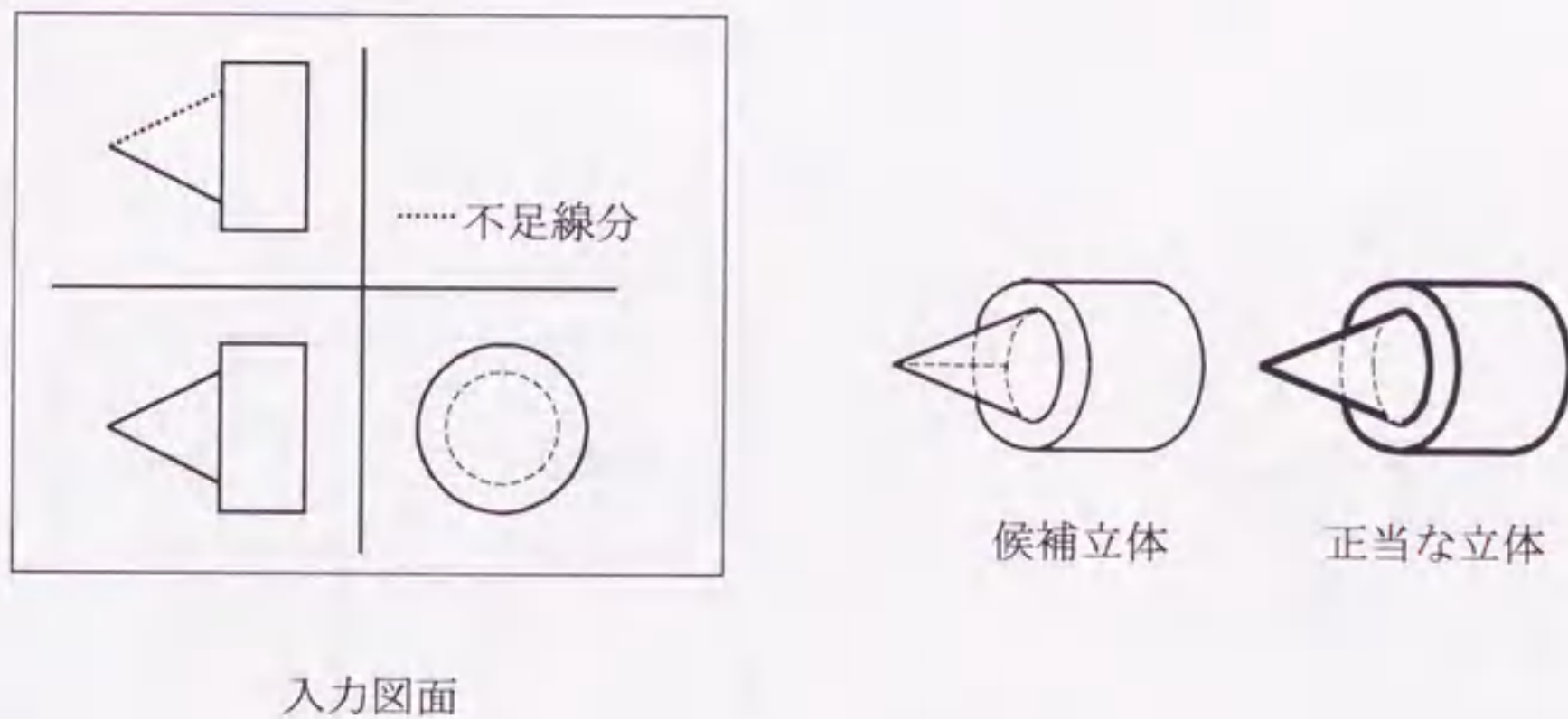


図 3.5 一面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

[矛盾 2] 二面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の一面図に円、円弧曲線線分があり、他の二面図に対応する円、円弧曲線線分もしくは対応する二等辺もしくは直角三角形ループが見つからないための、図 3.6 に示すような矛盾である。

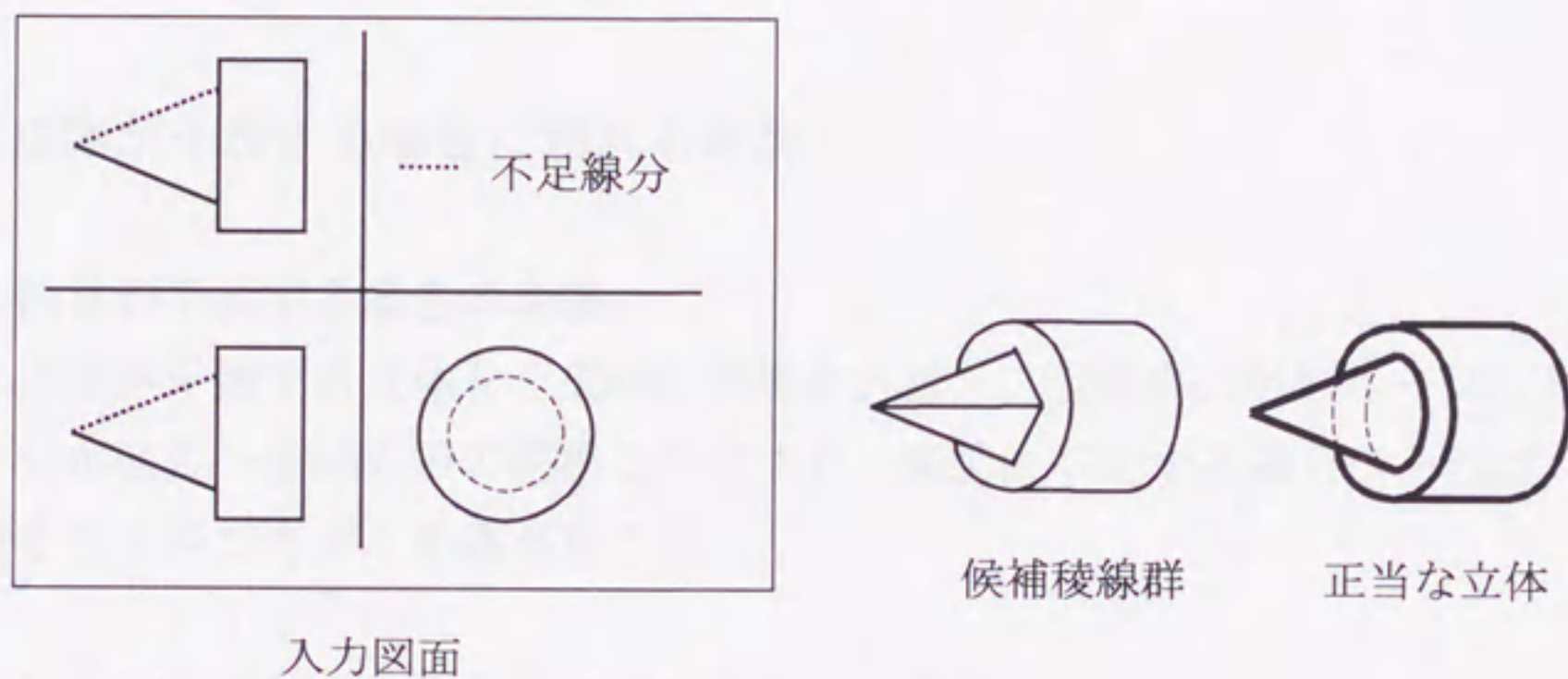


図 3.6 二面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

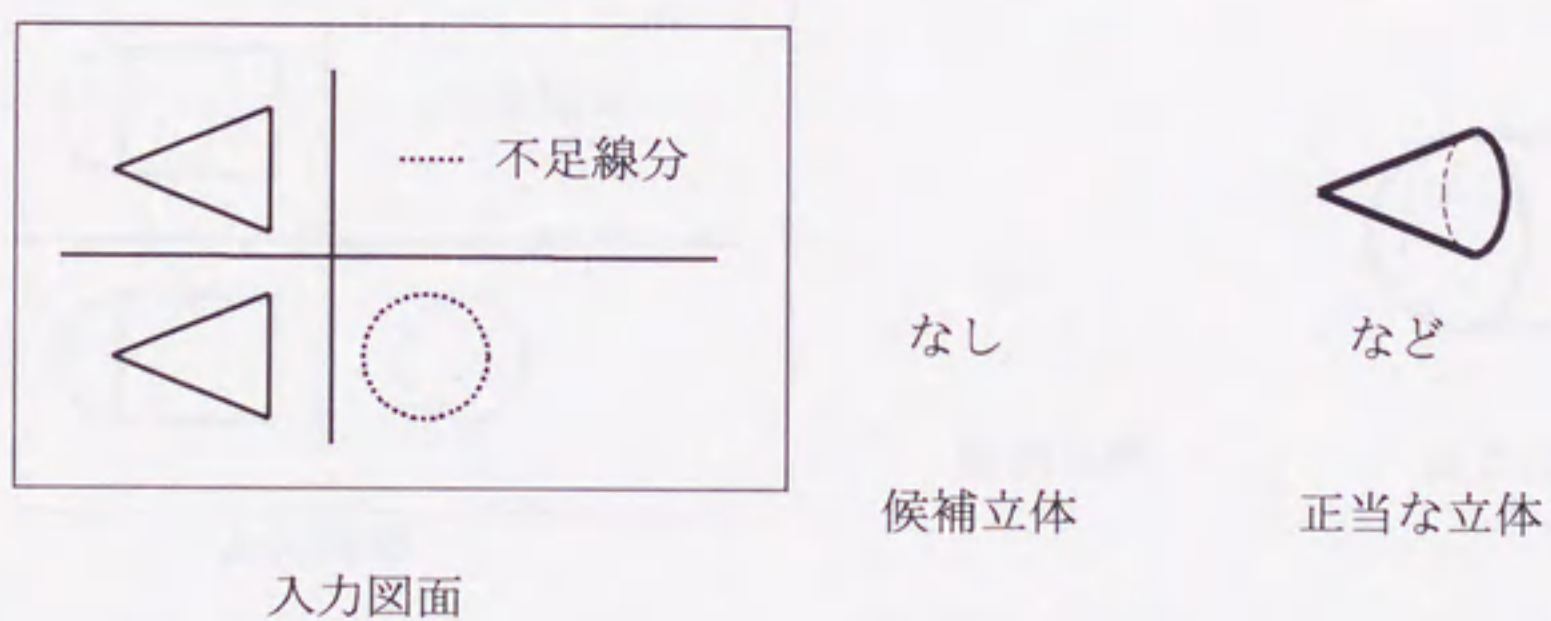


図 3.7 一面図の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾3〕一面図中の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾
 三面図中の任意の二面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループは存在しているが，もう一面図に対応する矩形ループもしくは対応する円，円弧曲線線分が存在しない図3.7に示すような矛盾である。

3.2.3 立体が干渉する場合に現れる矛盾

1. 球と円柱が干渉する場合の矛盾

半球と円柱が干渉する立体を三面図に投影すれば，二面図中の矩形ループもしくは半円ループが他の一面図の円の座標と対応する．面図に不足する線分があれば，この対応をとることができず，矛盾が起こる。

〔矛盾1〕一図面中の不足曲線線分が引き起こす矛盾
 図3.8に示すように，三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分および，2つの対応する矩形ループがあり，もう一面図に対応する円曲線線分が存在しない場合の矛盾である。

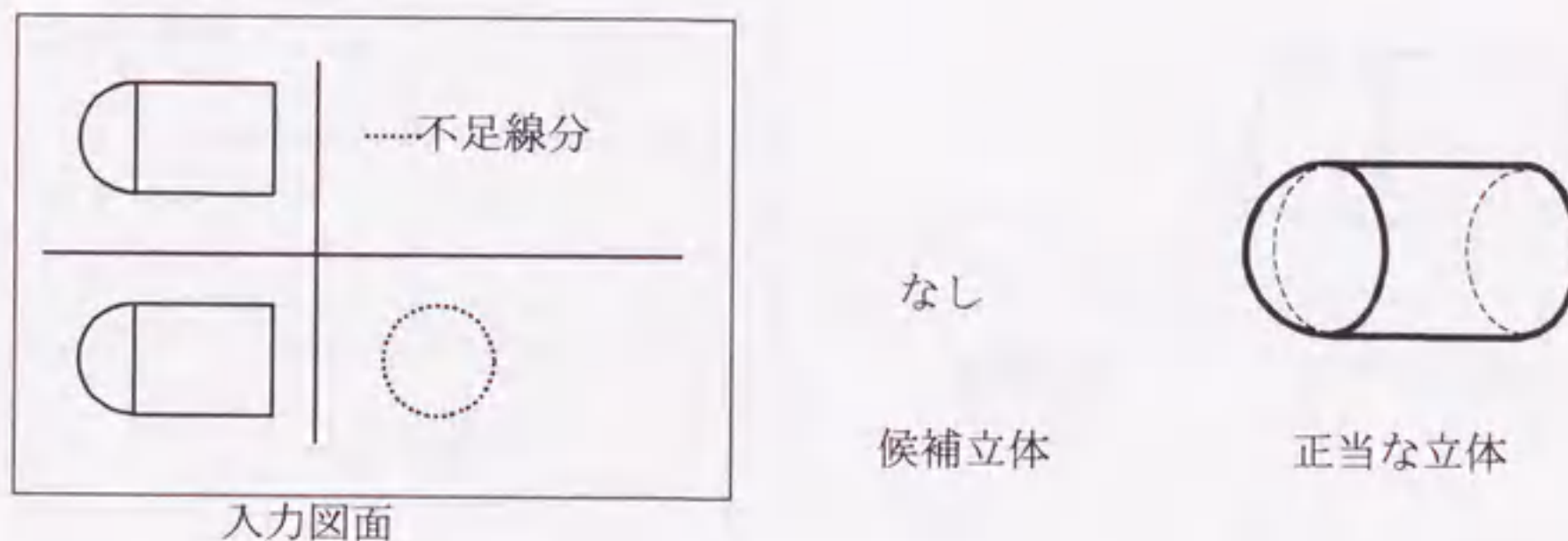


図3.8 一面図の不足円曲線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾2〕一図面中の不足曲線線分と一面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾
 三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分があり，その二面図の一方に1つの矩形ループはあるが他方には直線線分が見出せず，

また残りの一面図に対応する円曲線線分を見つけることができない場合の、図3.9に示すような矛盾である。

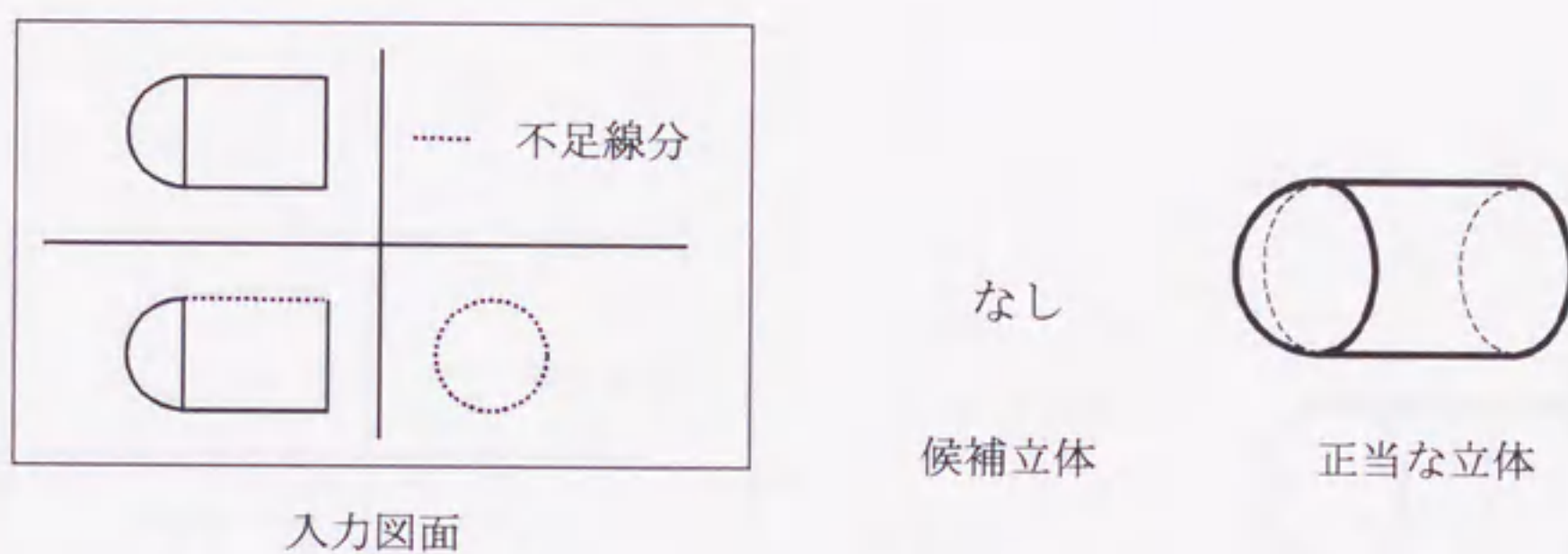


図3.9 一面図の不足円曲線線分と一面図の直線線分が引き起こす矛盾

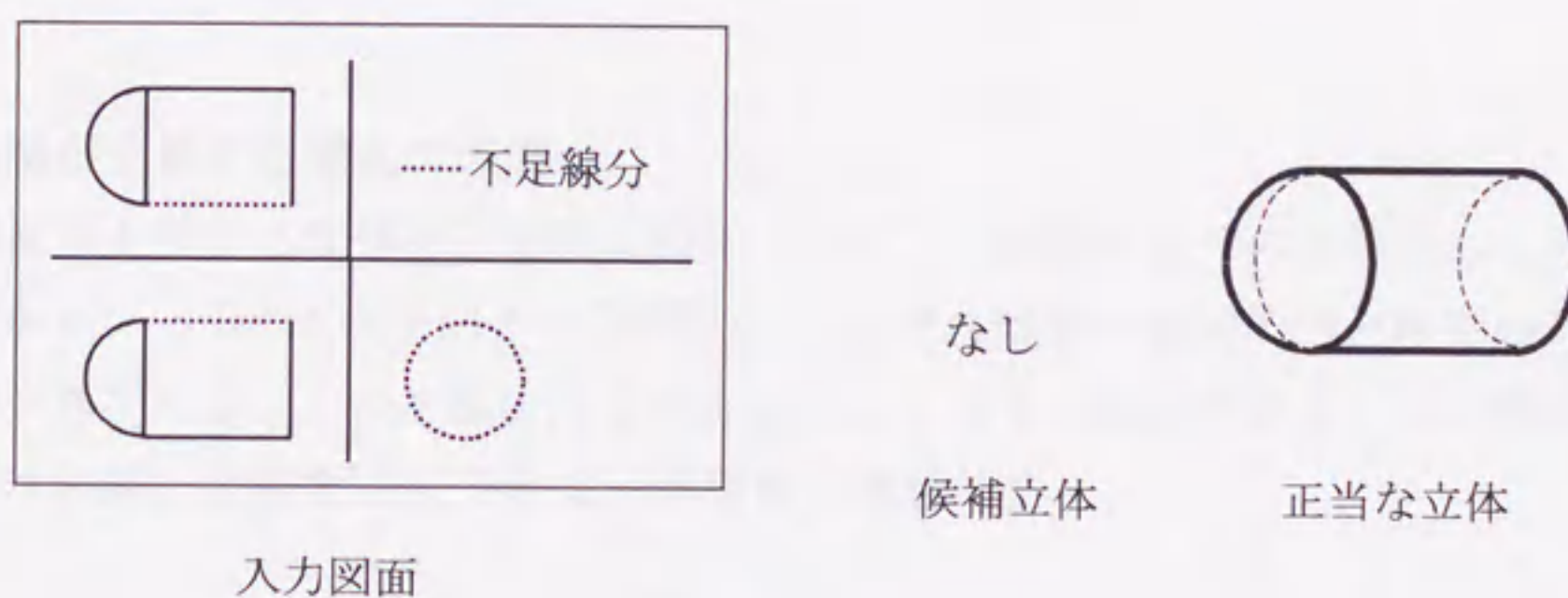


図3.10 一面図の不足円曲線線分と二面図の直線線分が引き起こす矛盾

[矛盾3] 一面図中の不足曲線線分と二面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾
 三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分があるがループは生成できず、また、もう一面図に対応する円曲線線分が見つからない
 図3.10に示すような矛盾である。

〔矛盾4〕二面図中の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

図 3.11 に示すような，三面図中の任意の一面図に1つの矩形ループと半円がつながり，この半円と同じ中心点と半径をもつ対応する2つの円，円弧曲線線分や矩形ループが他の二面図に見出せない場合の矛盾である。

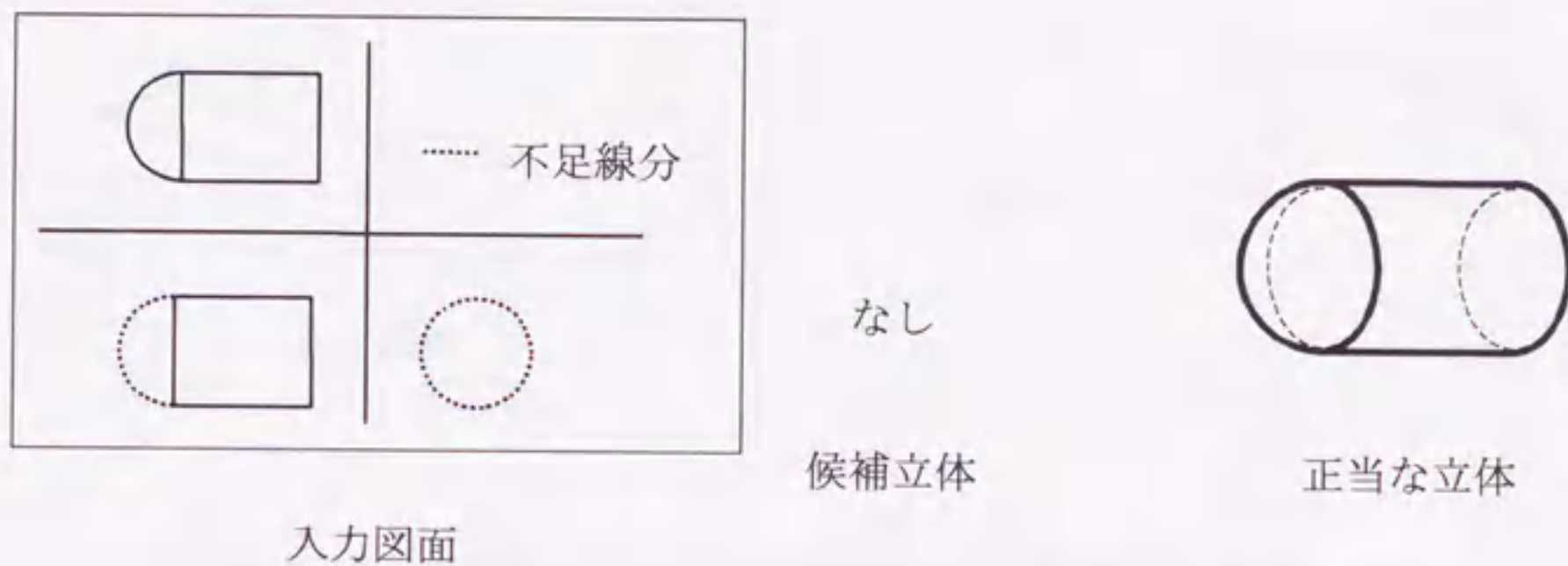


図 3.11 二面図の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

2. 球と円錐が干渉する場合の矛盾

半球と円錐が干渉する立体を三面図に投影すれば，二面図に2つの二等辺もしくは直角三角形ループと2つの半円ループが現れ，それぞれ他の一面図の円と座標の対応が取られるべきである。1つあるいは2つの面図に不足する線分があり，この関連が成り立たなければ，立体を生成できない矛盾を引き起こす。

〔矛盾1〕一面図中の不足円曲線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分および，2つの対応する二等辺もしくは直角三角形ループがあり，もう一面図に対応の円曲線線分が見つからない場合，図 3.12 に示すような，円曲線線分が不足する矛盾が現れる。

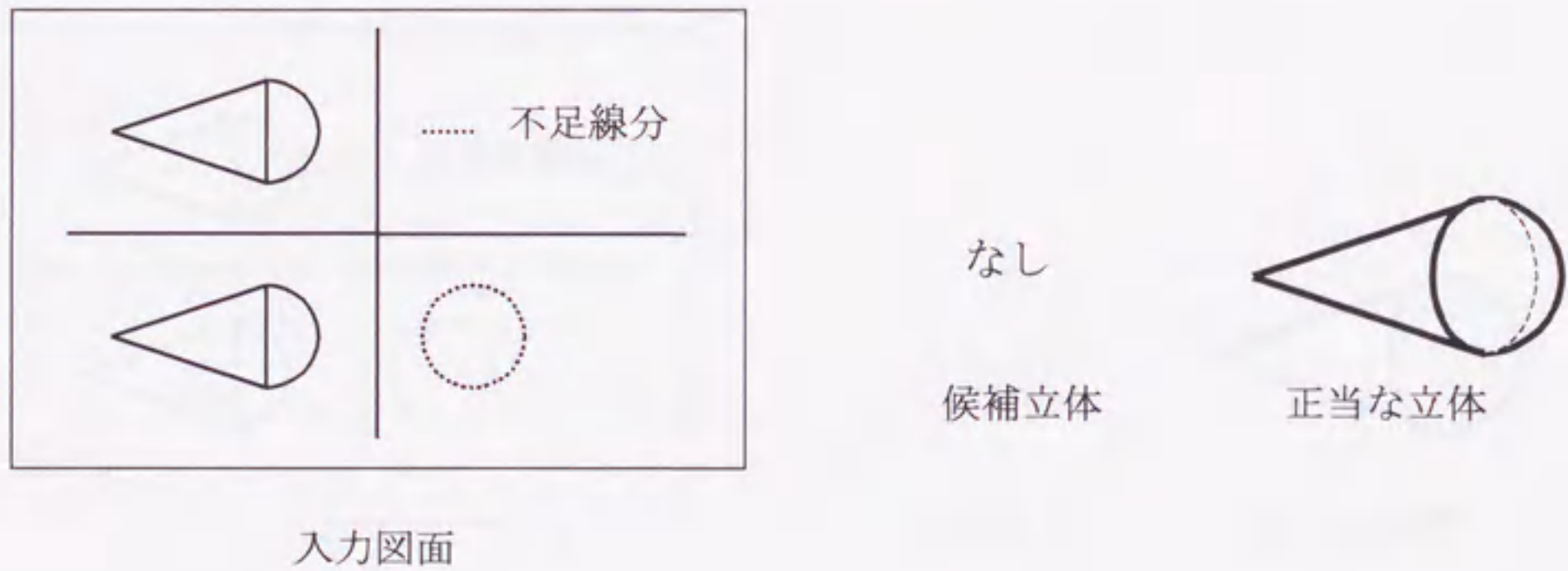


図 3.12 一面図の不足円曲線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾2〕 一面図中の不足曲線線分と一面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾
 三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分および1つの二等辺もしくは直角三角形ループがあり、他の一面図に対応する円曲線線分がない場合、図 3.13 のように、この面図に円曲線線分が不足し、もう一面図に母線を構成する直線線分が不足する矛盾が現れる。

〔矛盾3〕 一面図中の不足曲線線分と二面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾
 図 3.14 に示すような、三面図中の任意の二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの対応する半円曲線線分があり、もう一面図に対応の円曲線線分がなく、先の二面図にループが生成できない場合に現れる矛盾である。

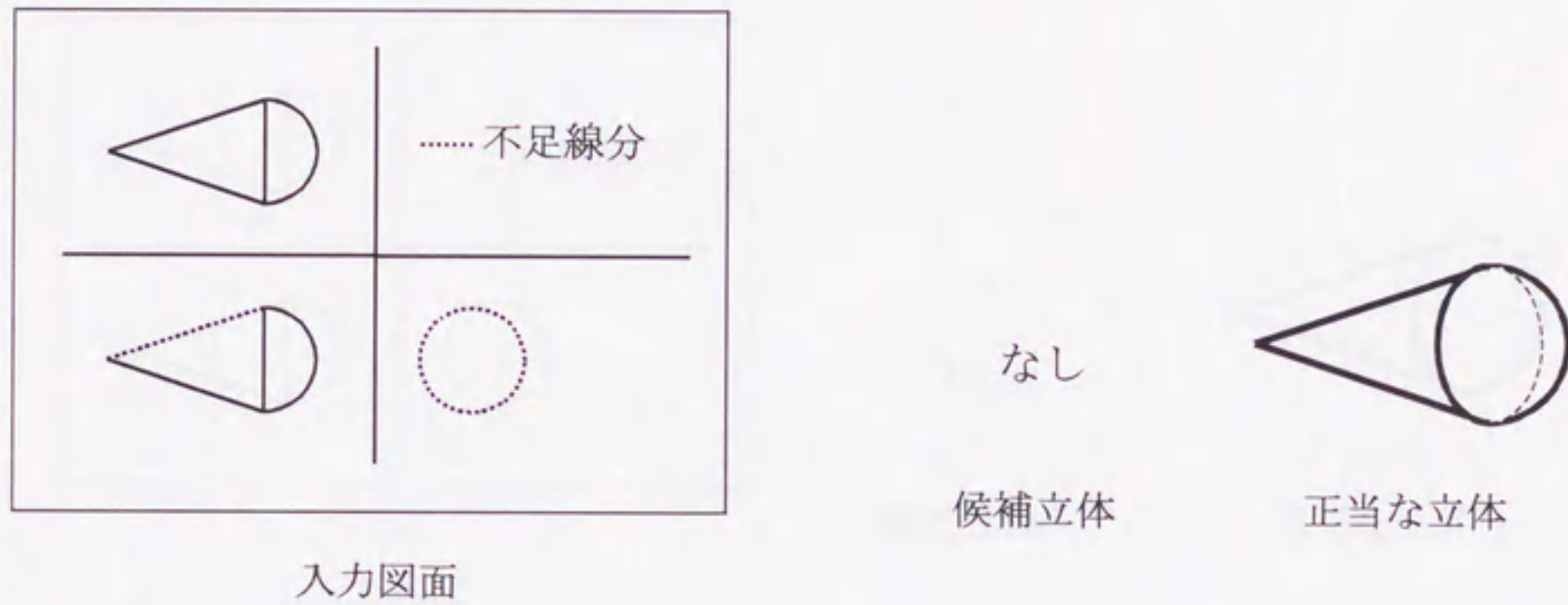


図 3.13 一面図の不足円曲線線分と一面図の直線線分が引き起こす矛盾

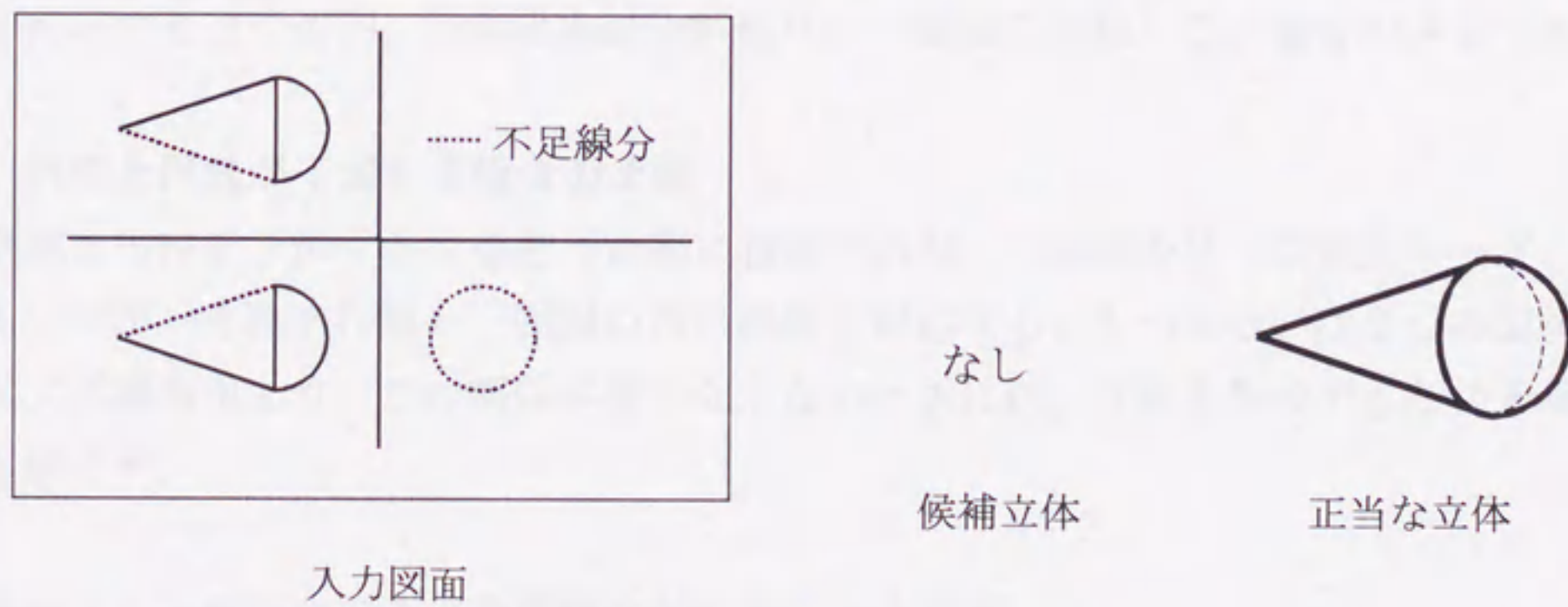


図 3.14 一面図の不足円曲線線分と二面図の直線線分が引き起こす矛盾

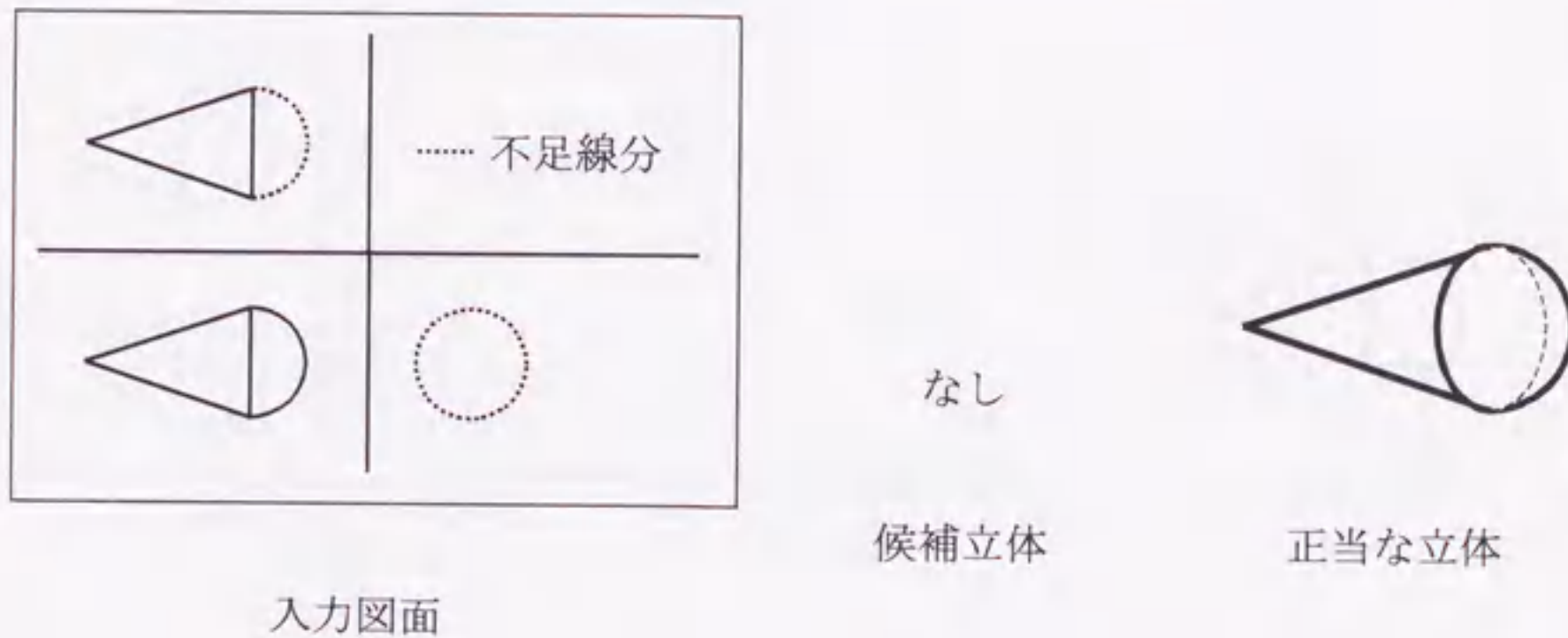


図 3.15 二面図の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾4〕二面図の不足円，円弧曲線線分が引き起こす矛盾

図 3.15 のように，三面図中の任意の二面図に対応する2つの三角形ループがあり，その一面図の1つで三角形ループと半円がつながり，この半円と同じ中心点と半径をもつ対応する2つの円，円弧曲線線分が残りの一面図に存在しない場合の矛盾である。

3. 円柱と円錐が干渉する場合の矛盾

半球と円柱が干渉する立体を三面図に投影すれば，二面図の2つの矩形ループと半円ループが，それぞれ他の一面図の円の座標と対応する。1つあるいは2つの面図に不足する線分があり，この関係が成り立たないときには，立体を生成できない矛盾を引き起こす。

〔矛盾1〕一面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の一面図に円曲線線分があり，もう一面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループと矩形ループはあるが，他の一面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループと矩形ループがない場合に発生する矛盾である（図 3.16）。

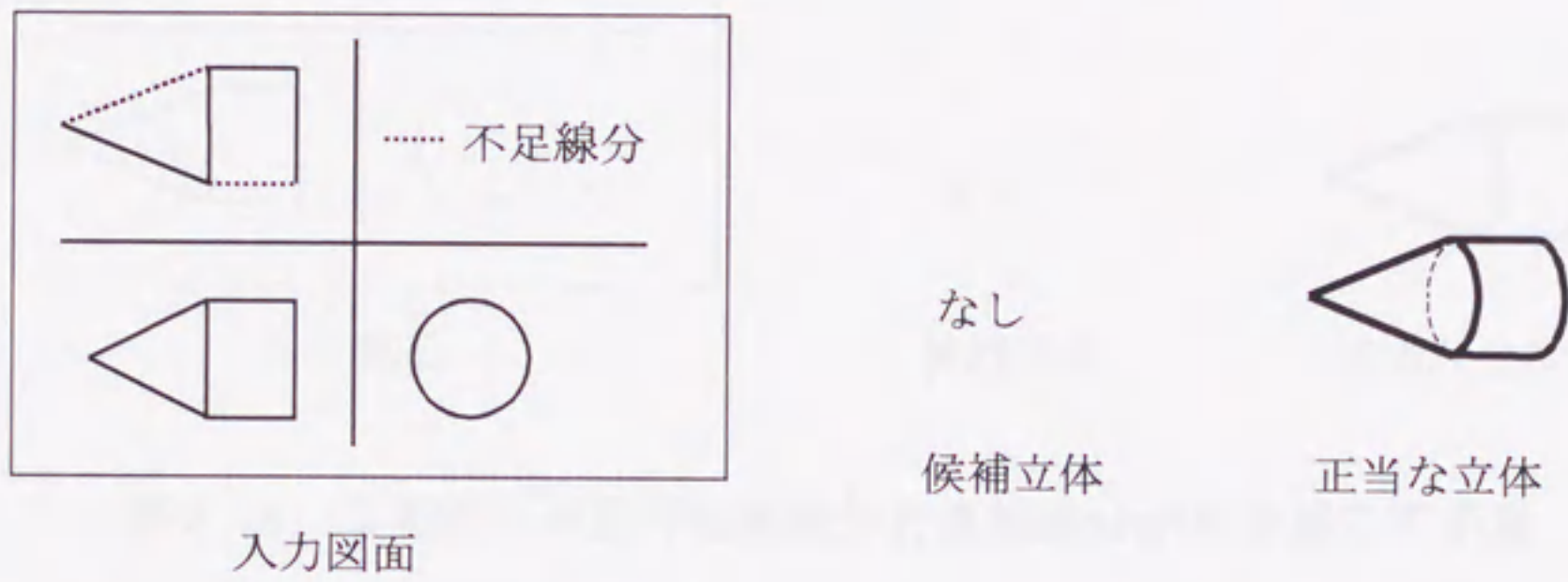


図 3.16 一面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

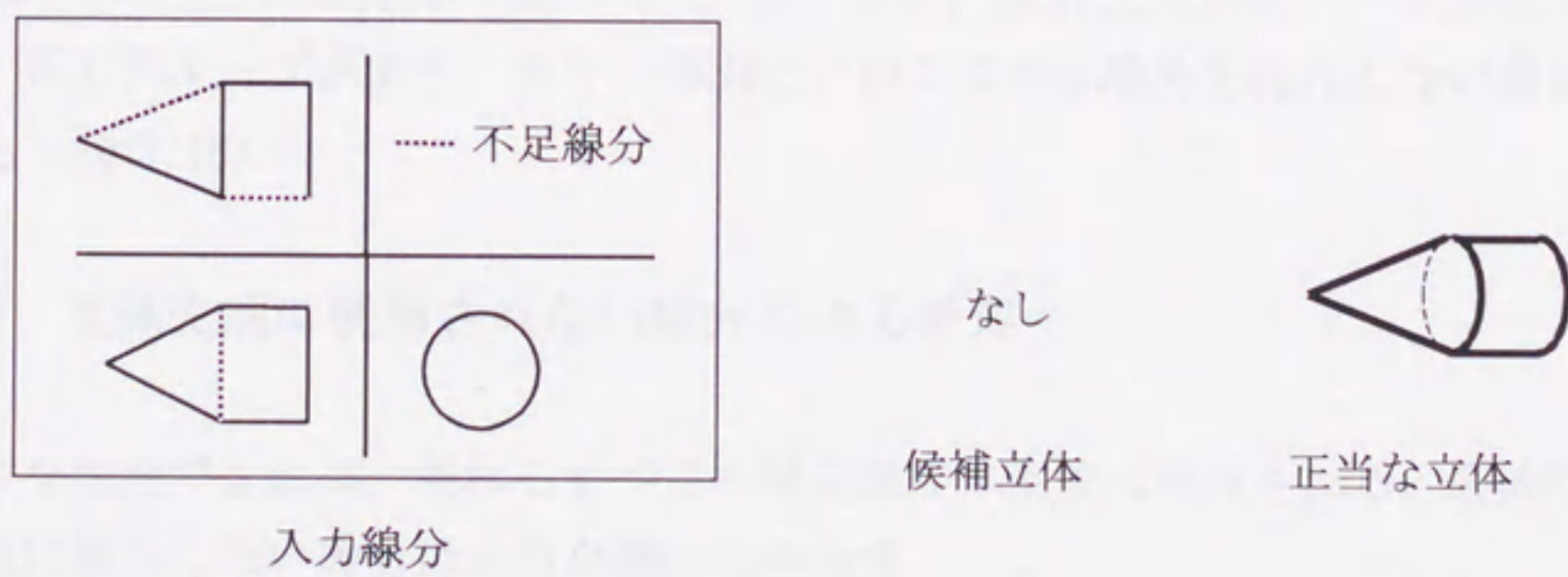


図 3.17 二面図の不足直線線分が引き起こす矛盾

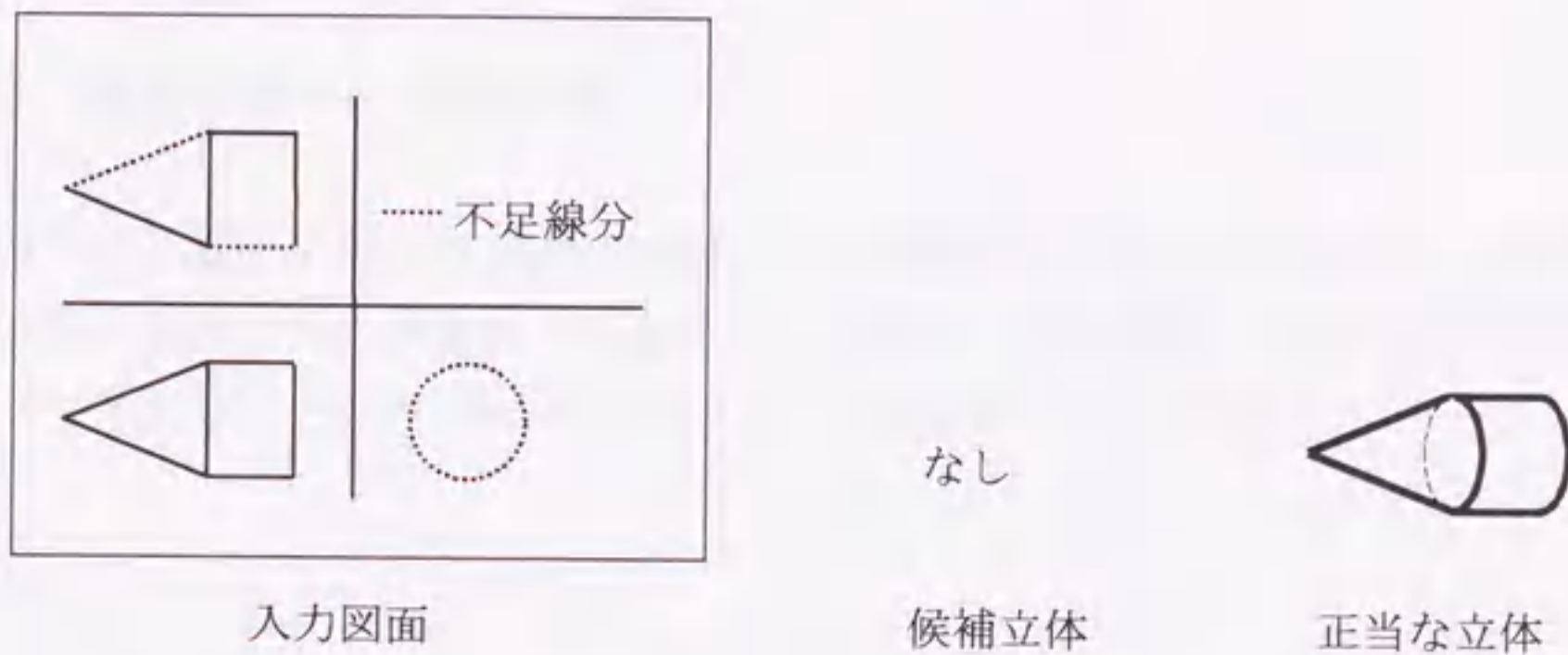


図 3.18 二面図の不足円曲線線分と直線線分が引き起こす矛盾

〔矛盾2〕二面図中の不足直線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の一面図に円曲線線分があり、もう一面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループと矩形ループがあり、さらに他の二面図に対応する円弧曲線線分、または二等辺もしくは直角三角形ループ、または矩形ループがない場合の矛盾である (図 3.17)。

〔矛盾3〕二面図中の不足曲線線分と直線線分が引き起こす矛盾

三面図中の任意の二面図に対応する2つの等辺、直角三角形ループと対応する2つの正、長方形ループがあり、もう一面図にいかなる対応線分も存在しない場合の矛盾である (図 3.18)。

3.2.4 立体生成に使用されない線分による矛盾

正当な図面であれば、現れるすべての線分が立体生成に利用される。最終的な立体の生成に関与しない線分は余分な線分とみなす。

〔矛盾〕一面図の余分な円、円弧曲線線分が引き起こす矛盾

三面図に余分な円、円弧曲線線分が存在する場合、この円、円弧曲線線分は立体の構成に用いられない。図 3.19 に示す例においては、三面図中の一面図以上に円、円弧曲線線分が存在するが、これらの円、円弧曲線線分と対応するループ存在しないと

立体が生成できないため、この円、円弧曲線線分は余分な線分として削除する。

3.2.5 線種の誤りによる矛盾

対象とする線分の種類は実線と破線の2種類である。実線、破線ともに対象とする立体の外形を表すが、投影面方向に対して立体の一部や面が介在する場合は、外形は破線で表される。このラベル付けの誤りが線種に関する矛盾である。

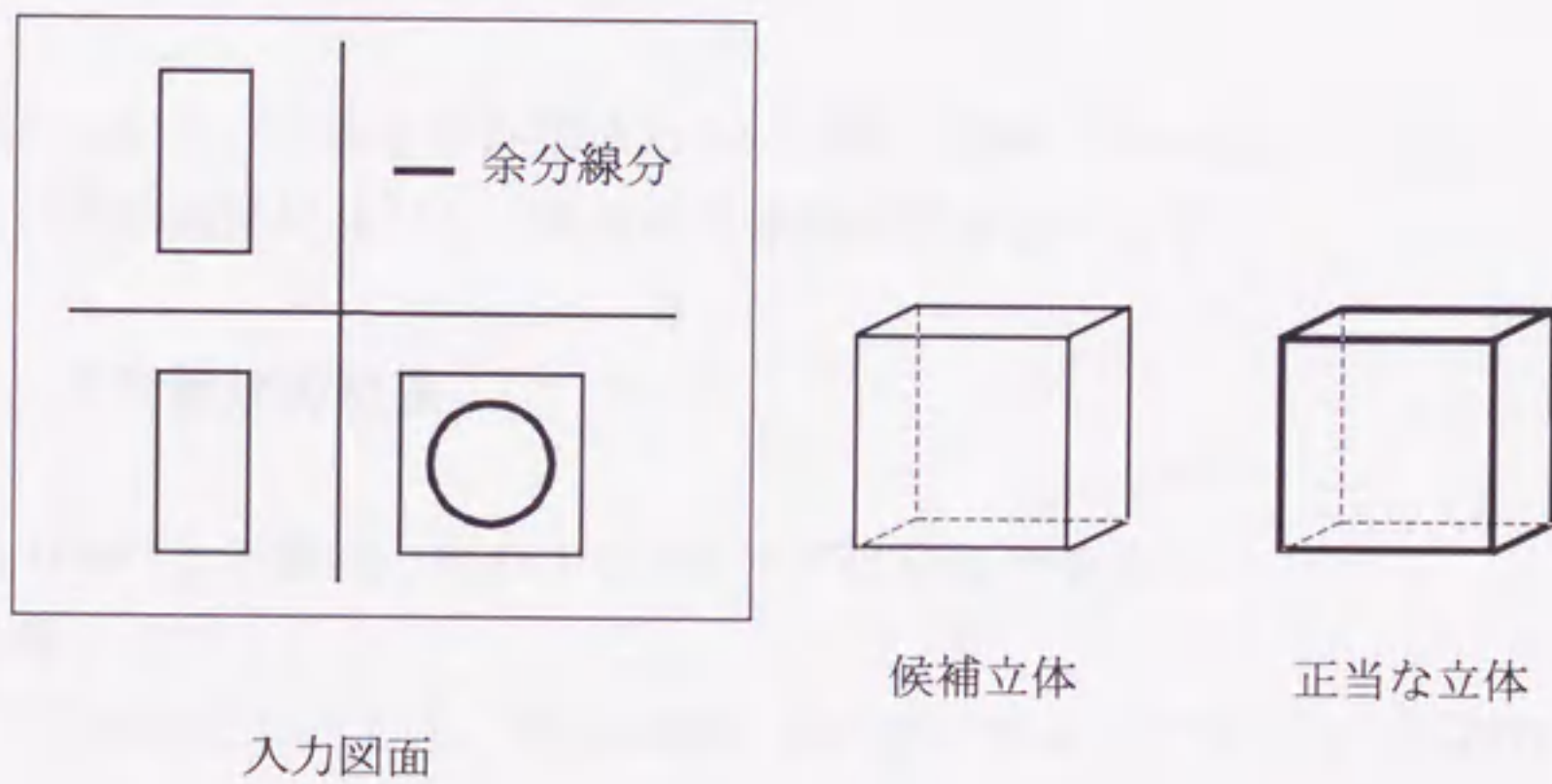


図 3.19 一面図の余分な円、円弧曲線線分が引き起こす矛盾

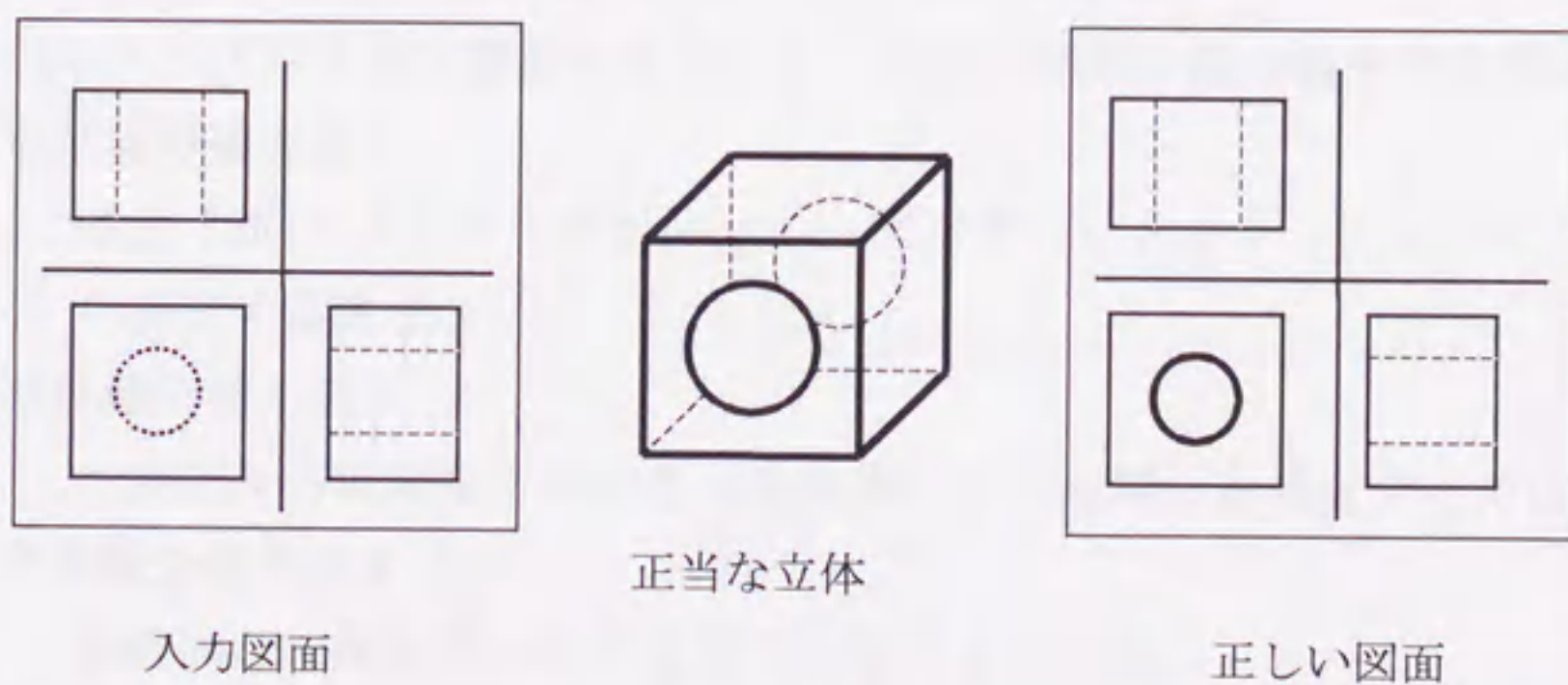


図 3.20 線種の誤りが引き起こす矛盾

[矛盾] 線種の誤りが引き起こす矛盾
実線と破線のラベル付けが誤っていることにより起こる矛盾である。

例えば図 3.20 において、入力図面の正面図の円は外形を示す実線であるのが妥当である。この矛盾は、入力図面の線分を線種の区別なく全て用い、3次元稜線、面分そして立体を構成し、その立体を各面図に再投影することで見出すことができる。

3.3 矛盾の解消と立体の推定

前節において、曲面を含む単独あるいは複合立体に現れる矛盾を調べた。本節では、これらの解析結果に基づき、矛盾の具体的解消法を与える。

3.3.1 矛盾解消の概要

前節で挙げた矛盾は、次の3つのタイプに分類できる。

- ・矛盾タイプ1

三面図における円、円弧曲線と対応すべきループが1つしか存在しない場合の矛盾。

- ・矛盾タイプ2

三面図における円、円弧曲線と対応すべきループがまったく存在しない場合の矛盾。

- ・矛盾タイプ3

三面図に円、円弧曲線が存在しない場合の矛盾。

これらのタイプの矛盾を解消するために、次の3種類の線分補充法を用いる。

- ・不足線分補充法1

曲面 CSG プリミティブが持つループパターンとのマッチングにより不足線分を補充する方法。

- ・不足線分補充法2

二面図から稜線を生成する方法を用いて不足線分を補充する方法。

- ・不足線分補充法3

経験的な知識を用いて不足線分を補充する方法。

矛盾を含んだ三面図情報から曲面をもつ立体を推定する手順の全体を図 3.21 に示す。ここで副手順1, 2, 3は、それぞれ図 3.22, 図 3.23, 図 3.24 に示す。

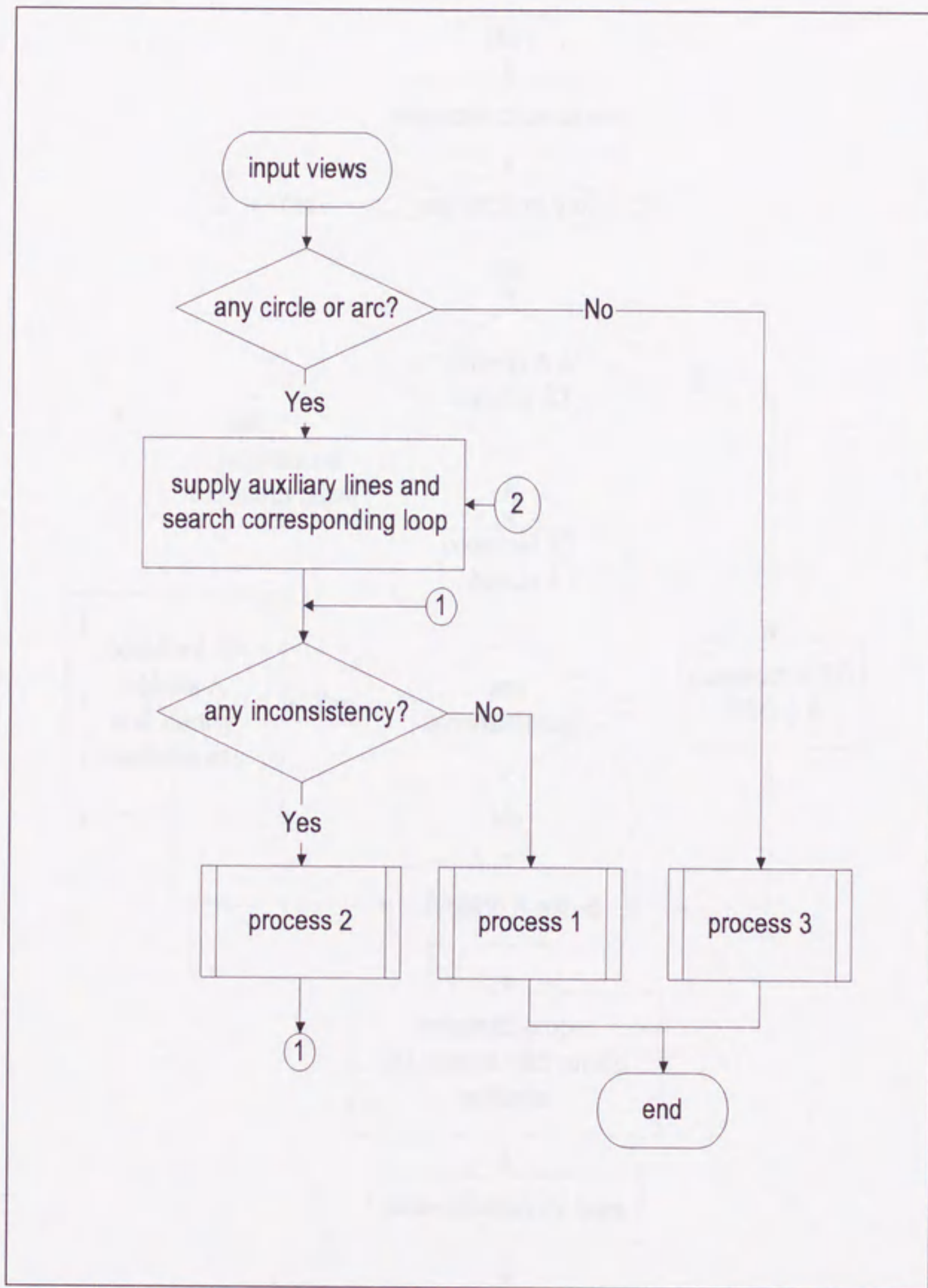


図 3.21 曲面を持つ立体の推定手順

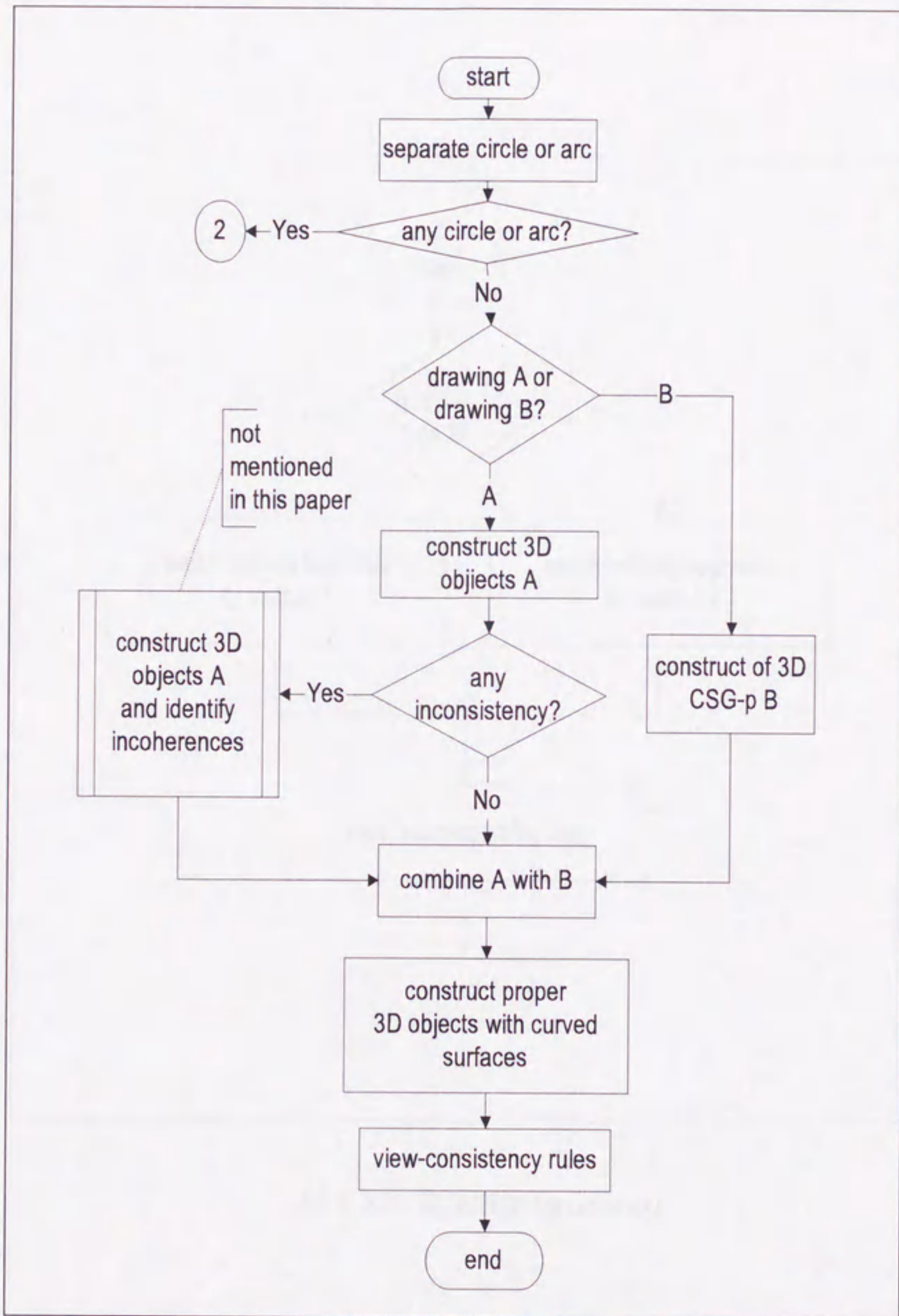


図 3.22 副手順 1 (process1)

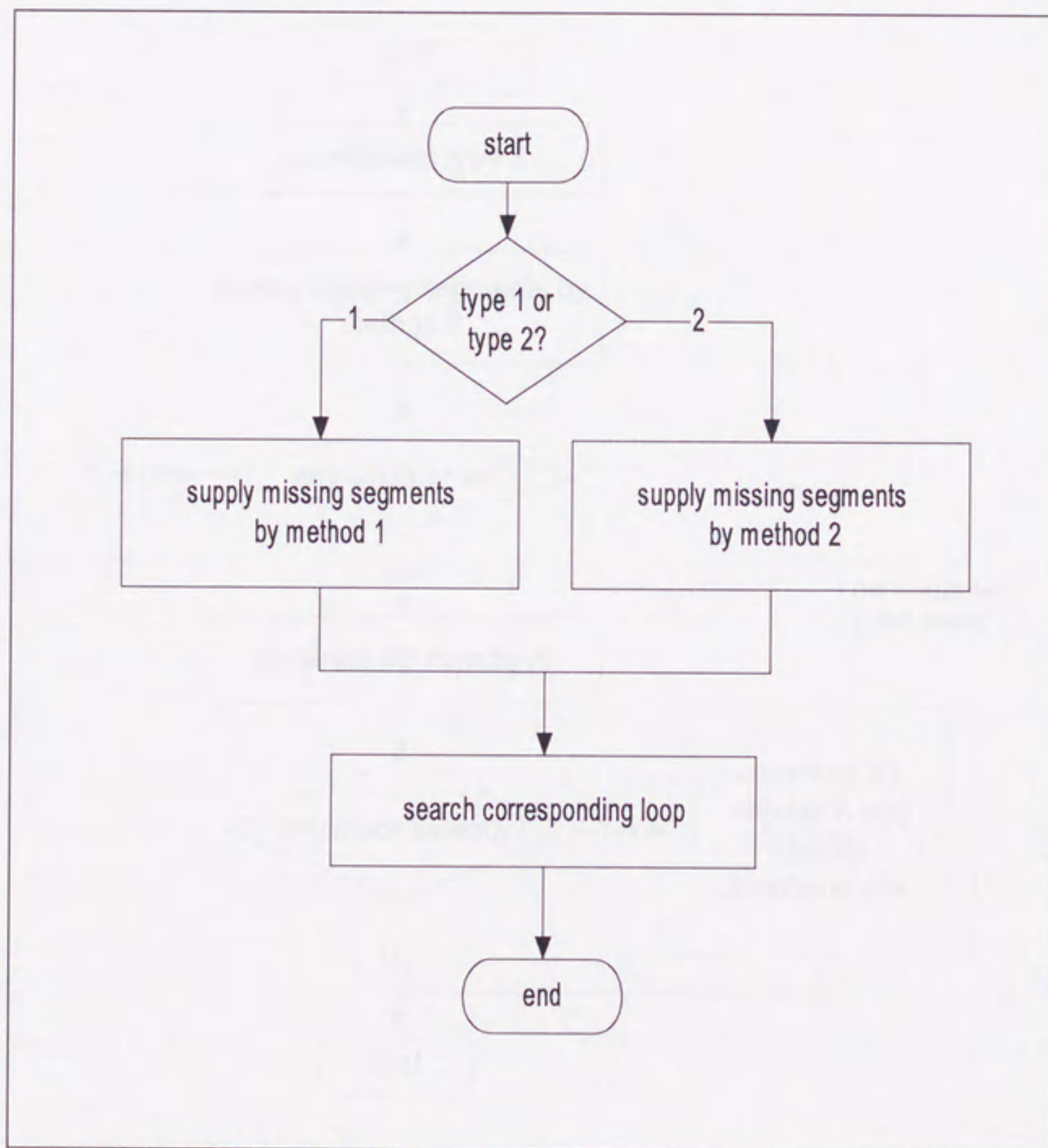


図 3.23 副手順 2 (process2)

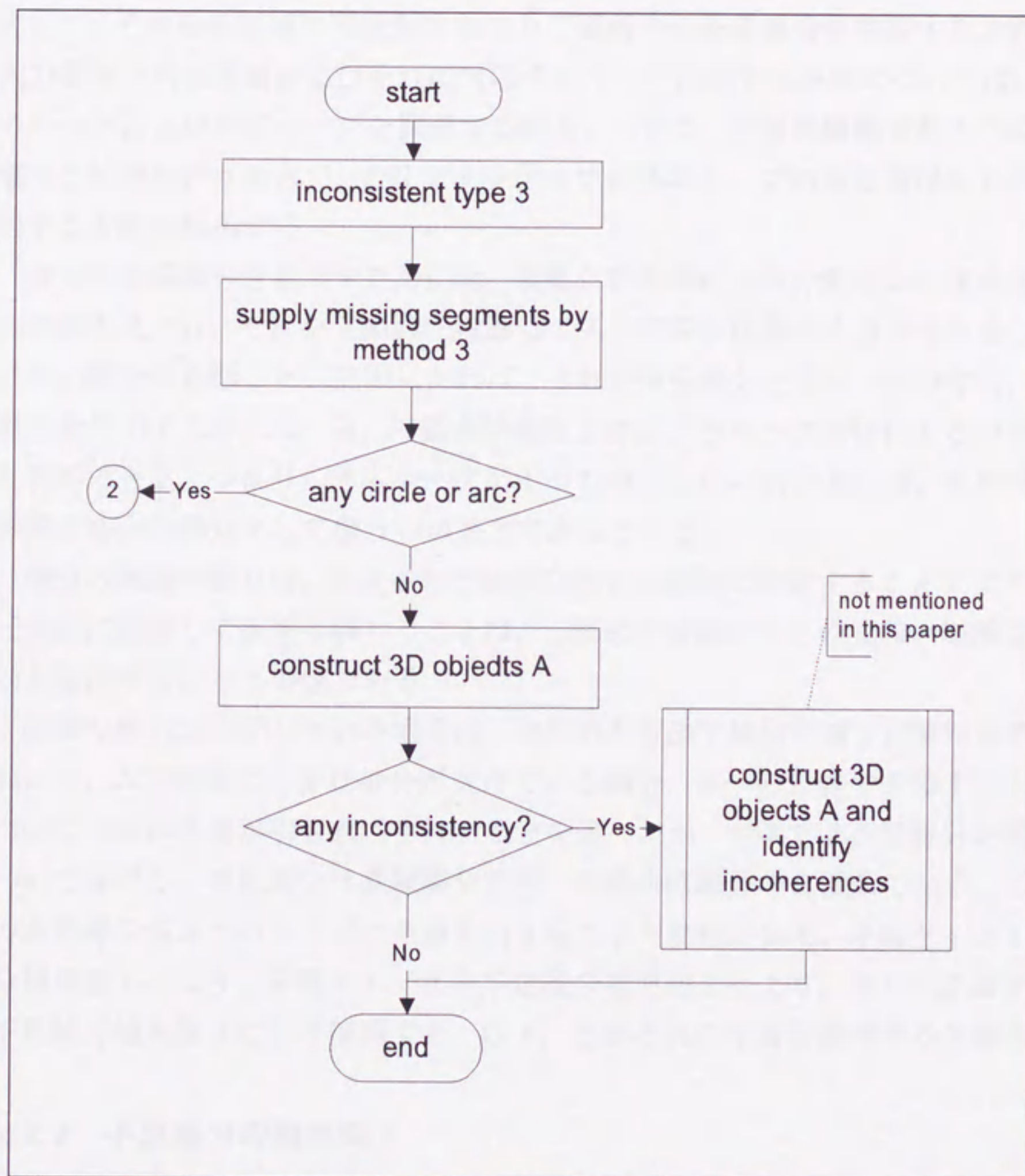


図 3.24 副手順3 (process3)

入力図面における矛盾は、前章で述べたA図面とB図面のそれぞれに対して、立体生成の過程において見出される。矩形ループのみからなるA図面に関する矛盾が発見された時点では、三面図情報に矛盾があることが分かっても、「どの線分がどういう矛盾線分であるか」までは簡単には特定できない。このため、考えられる多面体を推定して、それをA図面に再投影することで図面中の矛盾線分を特定する方針をとる。入力図面の円弧曲線およびそれに対応するループに関する矛盾については、円弧曲線のループおよび対応ループを探索する時点、つまり、円弧曲線線分を入力図面から分離する処理を行う時点で、CSGプリミティブの基本ループの対応関係から見出し、解消する方針を採用する。

余分な直線線分を見出すためには、候補立体要素群の部分集合から構成される3次元立体を見つけ、それを三面図に投影して入力図面と比較する方法をとる。入力図面にない線分が投影した三面図にあれば、それが余分線分となる。余分な円、円弧曲線線分を見出すためには、円、円弧曲線線分と対応するループが存在するかの判定条件も利用できる。つまり、対応ループが1つも存在しないのであれば、その円、円弧曲線線分を余分線分として扱うのが妥当であるとする。

線分の種類の誤りは、生成された候補立体を三面図に投影することにより検出する。三面図に投影して線種を調べることは、三面図合致則のうちの実線と破線に対する規則を適用することと等価である。

必要な線分が不足している場合は、何らかの方法で線分を補う必要がある。前節において、入力図面に必要な線分が欠けている場合、単一の立体や干渉する立体に対していくつかの矛盾が引き起こされることを述べたが、本節では不足線分を補う方法について述べる。不足線分は直線線分と円、円弧曲線線分の2種類である。この2種類の不足線分が3つのタイプの矛盾を引き起こす可能性がある。矛盾タイプ1を不足線分補充法1により、矛盾タイプ2を不足線分補充法2により、そして矛盾タイプ3を不足線分補充法3により解消する。以下、それぞれの矛盾を解消する手順を述べる。

3.3.2 不足線分の補充法1

1. 球に関する線分の補充

手続き `method_1_1`

機能 二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの円、円弧曲線線分があり、もう一面図に対応の円、円弧曲線線分が存在しない場合、不足している円、円弧曲線線分を補い、相当する球のCSGプリミティブを出力する。

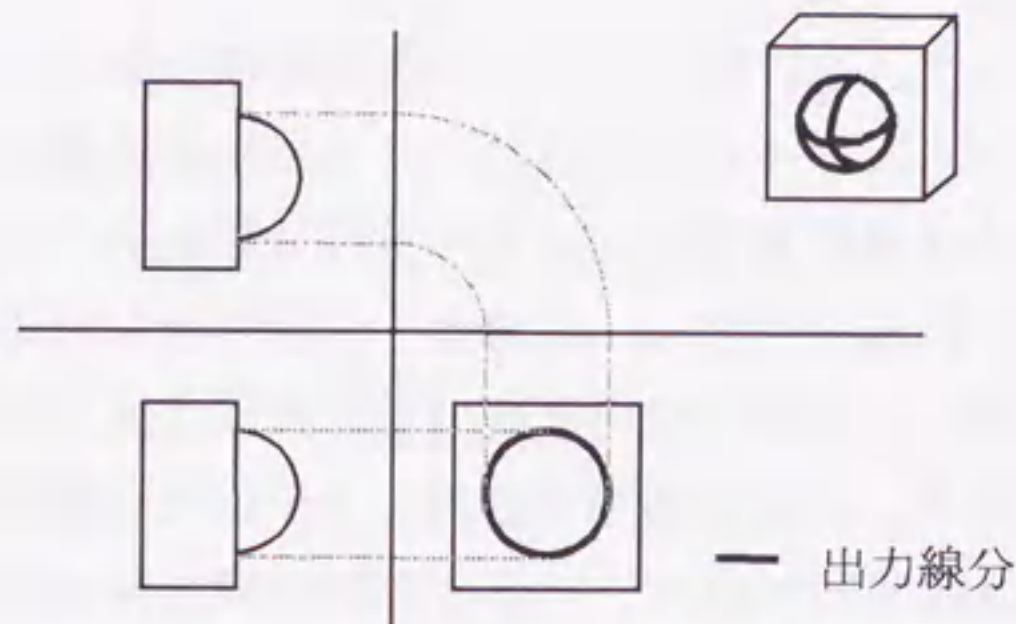


図 3.25 球の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充

入力 2つの円，円弧曲線線分のデータ。

出力 不足している2次元の円，円弧曲線線分のデータおよび3次元の球 CSG のプリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 2つの円，円弧曲線線分開始角度，終了角度，および開始角度と終了角度の差を計算する。
- 2) 1で得られた値によって，3番目の図面にかけている円，円弧曲線線分の中心点の座標値，半径および始点座標と終点座標を出力する。
- 3) 球の CSG プリミティブを生成し，出力する。終了。

2. 円柱に関する線分の補充

手続き method_1_2

機能 三面図における一面図に円，円弧曲線線分があり，他の一面図にその円，円弧曲線線分に対応している矩形ループがあり，残りの一面図に対応すべき矩形ループが存在しない場合は，欠けているループを構成する直線線分を補い，円柱の CSG プリミティブを生成する。

入力 円，円弧曲線線分のループと対応している1つの矩形ループのデータ，およ

びループを構成する円弧曲線線分，直線線分のデータ。

出力 不足している2次元の直線線分のデータおよび3次元の円柱もしくは円柱のCSGプリミティブ。

アルゴリズム

1. 円，円弧曲線線分のループおよび対応している1つの矩形ループのデータの位置関係により，欠けているループの4点の座標を求める。
2. 4点の座標値から得られた4本の直線線分を，対応ループで欠落している面図の直線線分と比較し，入力図面と同じ座標をもつ直線線分を消去する。入力図面にはない直線線分を保存し，出力する。
3. 曲線線分が円なら，円柱を直接生成し，出力する。終了。
4. 円弧と補助線を構成するループおよび対応する2つの矩形ループを入力図面から分離して，円柱のCSGプリミティブを生成し，出力する。終了。

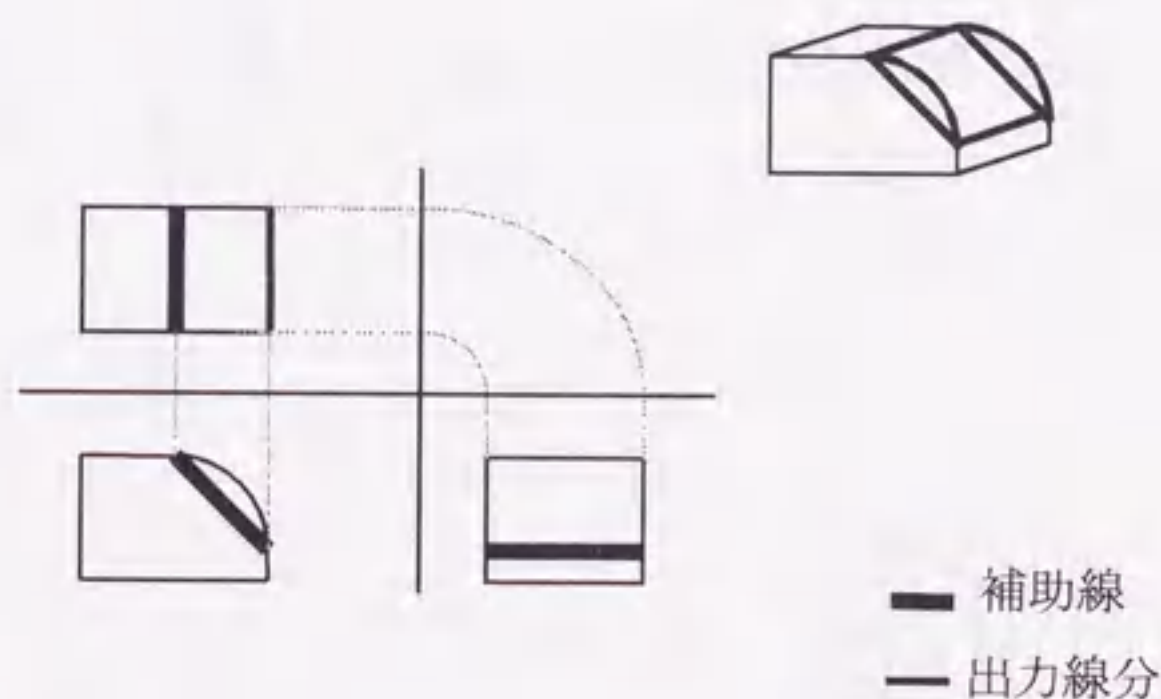


図 3.26 円柱の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充

3. 円錐に関する線分の補充

手続き method_1_3

機能 三面図における一面図に円，円弧曲線線分があり，他の一面図にその円，円弧曲線線分に対応している直角もしくは等辺三角形ループが見つかり，残りの一面図に対応すべき直角もしくは等辺三角形ループが見つからない場合は，欠けているループを構成する直線線分を補い，円錐あるいは円錐の CSG プリミティブを生成する。

入力 円弧曲線線分のループと対応している1つ二等辺もしくは直角三角形のループのデータ, およびループを構成する円弧曲線線分, 直線線分のデータ.

出力 不足している2次元の直線線分のデータおよび3次元円錐あるいは円錐のCSGプリミティブ.

アルゴリズム

- 1) 円弧曲線線分のループおよび対応している1つの二等辺もしくは直角三角形ループのデータの位置関係により, 欠けているループの3点の座標を求める.
- 2) 3点の座標値から得られた3本の直線線分と, 対応すべきループが見出せない面図の直線線分と比較し, 入力図面と同じ座標をもつ直線線分を消去する. 入力図面にない直線線分を保存し, 出力する.
- 3) 曲線線分が円ならば, 円錐のCSGプリミティブを直接に生成, 出力して終了.
- 4) 円弧と補助線を構成するループおよび対応する2つの二等辺および直角三角形ループを入力図面から分離して, 円錐のCSGプリミティブを生成, 出力して終了.

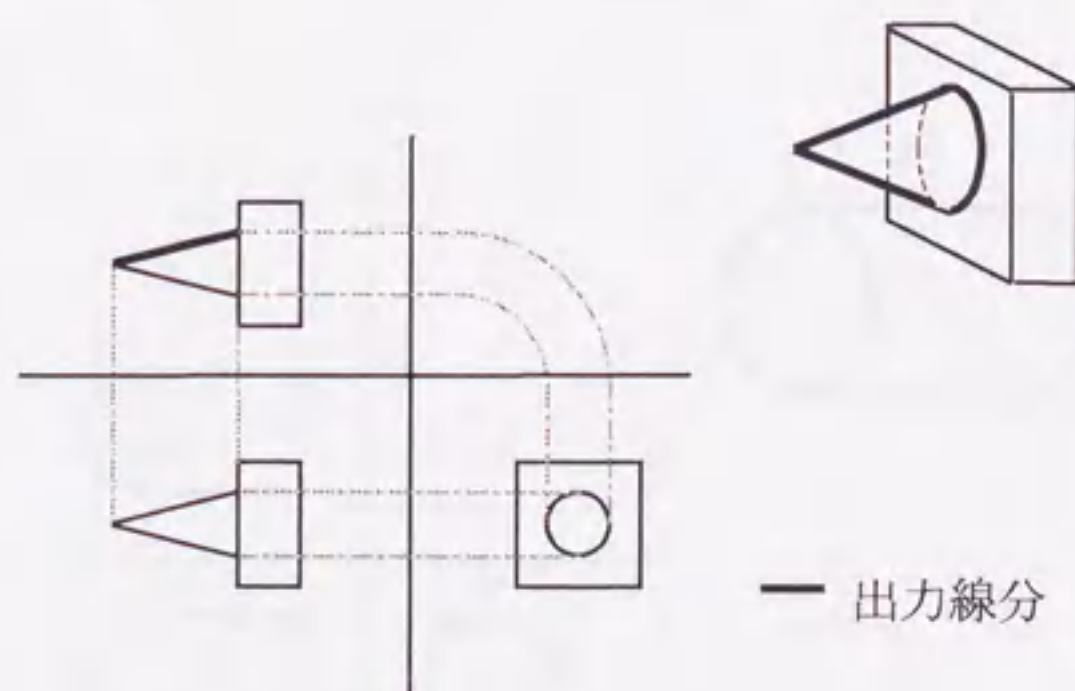


図 3.27 円錐, 円錐のCSGプリミティブのループパターンによる不足直線線分の補充

4. 球と円柱が干渉する場合の線分の補充

手続き method_1_4

機能 二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの円，円弧曲線線分があり，もう一面図に対応する円，円弧曲線線分がなく，同時に，二面図に対応する矩形ループがある場合，あるいは，一面図に矩形ループがあり，もう一面図には対応すべき矩形ループがない場合，欠落している円，円弧曲線線分と直線線分を補い，球の CSG プリミティブと円柱，円柱の CSG プリミティブを生成する。

入力 2つの円，円弧曲線線分のデータ，2つあるいは1つの矩形ループのデータおよびループを構成する直線線分のデータ。

出力 欠落している2次元の円，円弧曲線線分のデータおよび3次元の球の CSG プリミティブ，および欠けている2次元の直線線分のデータおよび3次元の円柱，円柱の CSG プリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 手続き method_1_1 を用いる。
- 2) 補った円，円弧曲線線分と他の二面図に2つ矩形ループの対応が見出されれば，直接に円柱あるいは部分円柱の CSG プリミティブを生成，出力し，終了。補った円，円弧曲線線分と1つの矩形ループの対応をとった上で，もう1つループが見つからなければ，3へ。
- 3) 手続き method_1_2 を使い，終了。

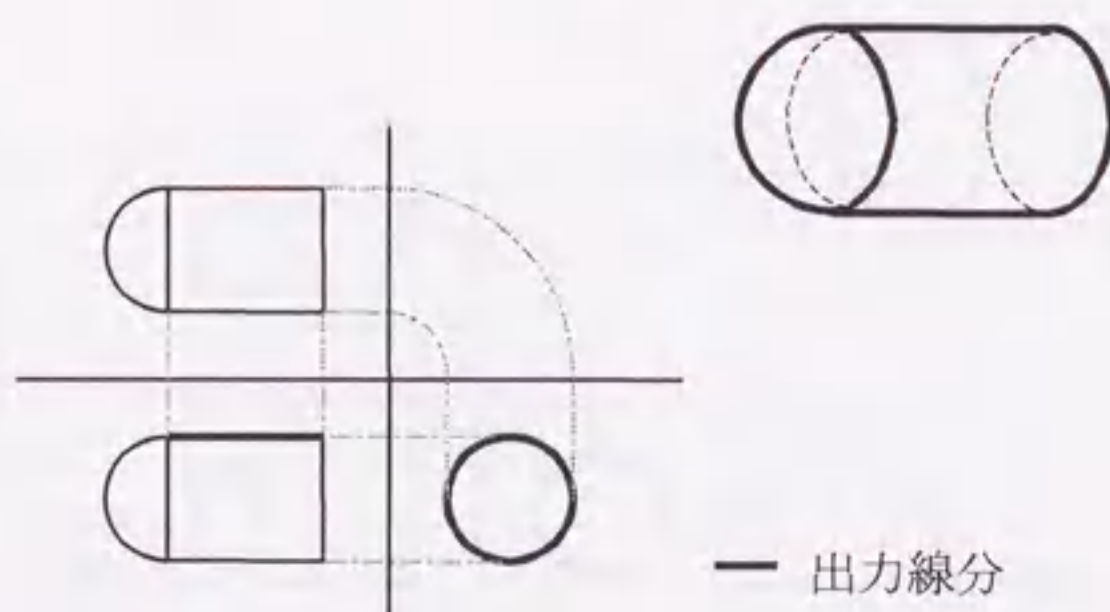


図 3.28 球の CSG プリミティブと円柱，円柱の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充（その1）

手続き method_1_5

機能 二面図に対応する矩形ループがあり、この2つのループの中に1つループとつながっている円弧曲線はあるが、この円弧曲線線分と対応するループが他面図に存在せず、2つの矩形ループと対応するループも見出せないときに、2面図に欠落している円、円弧曲線線分を補い、球の CSG プリミティブと円柱、円柱の CSG プリミティブを生成する。

入力 1つの円弧曲線線分のデータ、2つの矩形ループのデータおよびループを構成する直線線分のデータ。

出力 欠落している2次元の円、円弧曲線線分のデータと3次元の球の CSG プリミティブ、および3次元の円柱、円の CSG プリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 2つの対応する矩形ループとつながっている円弧曲線との対応の関係によって、もう1つの矩形ループとつながるべき円弧曲線を生成し、出力する。
- 2) 入力図面の円弧曲線線分と補った円弧曲線線分の座標を使い、手続き method_1_1 を利用する。
- 3) 2で補われた円、円弧曲線と2つのループを対応関係により、円柱あるいは部分円柱の CSG プリミティブを生成し、出力して終了。

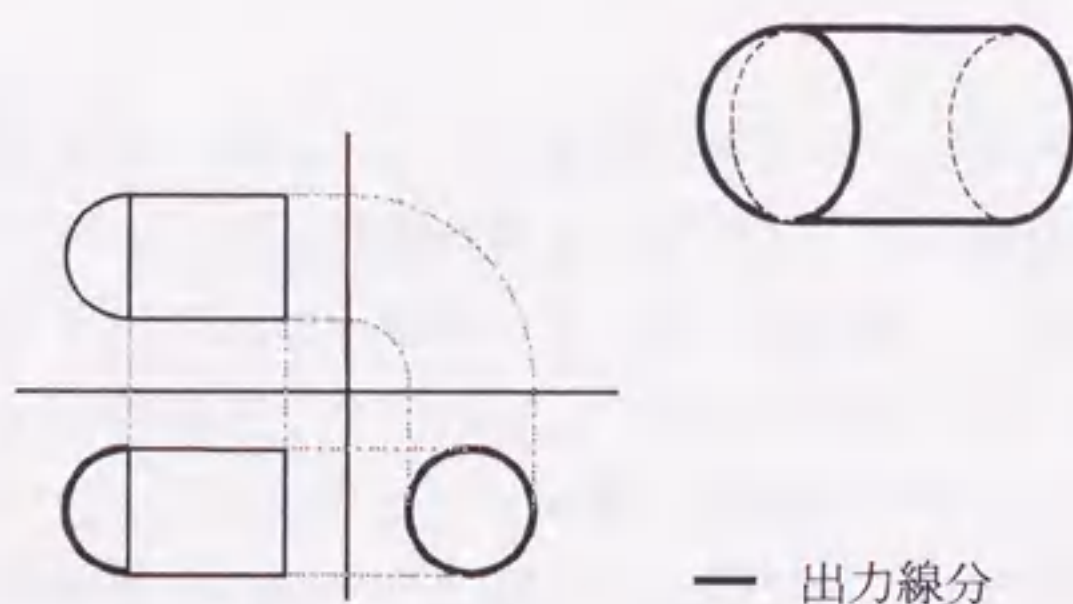


図 3.29 球の CSG プリミティブと円柱、円柱の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充 (その2)

5. 球と円錐が干渉する場合の線分の補充

手続き method_1_6

機能 二面図に同じ中心点と半径をもつ2つの円，円弧曲線線分があり，もう一面図に対応する円，円弧曲線線分がないと同時に，先の二面図で対応がある場合，あるいは，一面図に二等辺もしくは直角三角形ループがあり，もう一面図には対応すべき二等辺もしくは直角三角形ループが存在しない場合，欠落している円，円弧曲線線分と直線線分を補い，球の CSG プリミティブと円錐，円錐 CSG のプリミティブを生成する。

入力 2つの円，円弧曲線線分のデータ，2つあるいは1つの二等辺もしくは直角三角形ループのデータおよびループを構成する直線線分のデータ。

出力 欠落している2次元の円，円弧曲線線分のデータおよび3次元の球の CSG プリミティブ，欠けている2次元の直線線分のデータおよび3次元の円錐，円錐の CSG プリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 手続き method_1_1 を用いる。
- 2) 補われた円，円弧曲線線分と他の二面図に2つの二等辺もしくは直角三角形ループの対応があれば，直接円錐あるいは部分円錐の CSG プリミティブを生成，出力し，終了。補われた円，円弧曲線線分と対応する2つの矩形ループのうち，1つは存在するがもう1つのループが存在しないならば，3へ。
- 3) 手続き method_1_3 を使い，終了。

手続き method_1_7

機能 二面図に対応する二等辺もしくは直角三角形ループがあり，この2つのループの中の1つのループが円弧曲線とつながり，この円弧曲線線分の対応ループが他面図に見出されない場合，2つの二等辺もしくは直角三角形ループと対応するループが存在しなければ，二面図に欠落している円，円弧曲線線分を補い，球の CSG プリミティブと円錐，円錐の CSG プリミティブを生成する。

入力 1つの円弧曲線線分のデータ，2つの二等辺および直角三角形ループのデータおよびループを構成する直線線分のデータ。

出力 欠落している2次元の円，円弧曲線線分のデータと3次元の球の CSG プリミティブ，および3次元の円錐，円錐の CSG プリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 2つの対応する二等辺，直角三角形ループと，そのうちの1つにつながる

円弧曲線とのパターンによって、対応する長、正方形ループとつながるべき円弧曲線を生成し、出力する。

- 2) 入力図面の円弧曲線線分と補われた円弧曲線線分の座標を使い、手続き method_1_1 を利用する。
- 3) 2で補われた円、円弧曲線と2つのループの対応関係により、円錐あるいは部分円錐の CSG プリミティブを生成し、出力する。終了。

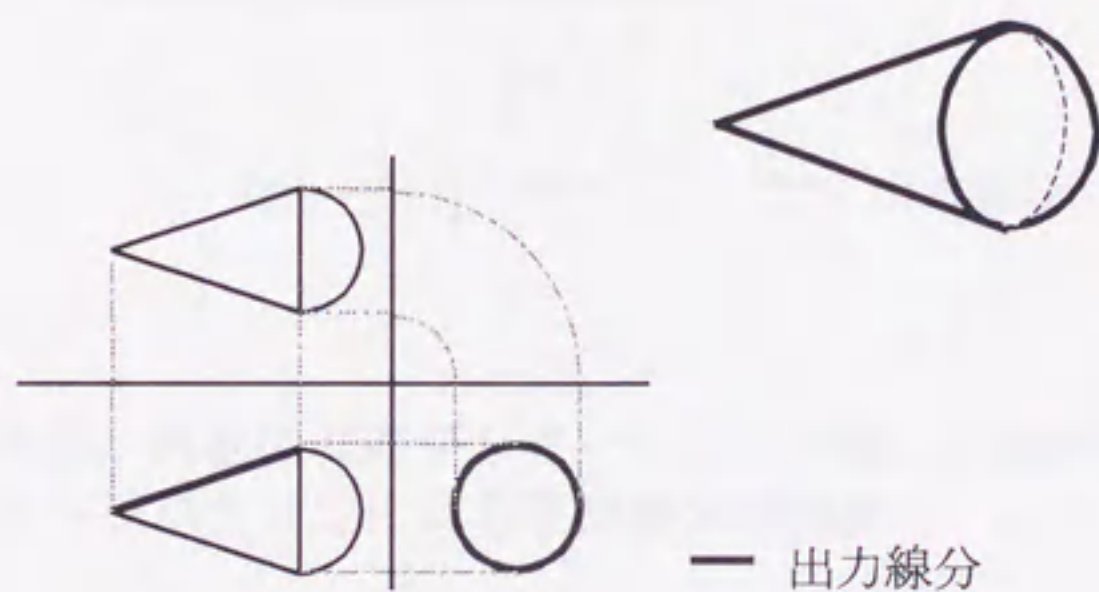


図 3.30 球の CSG プリミティブと円錐，円錐の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充（その1）

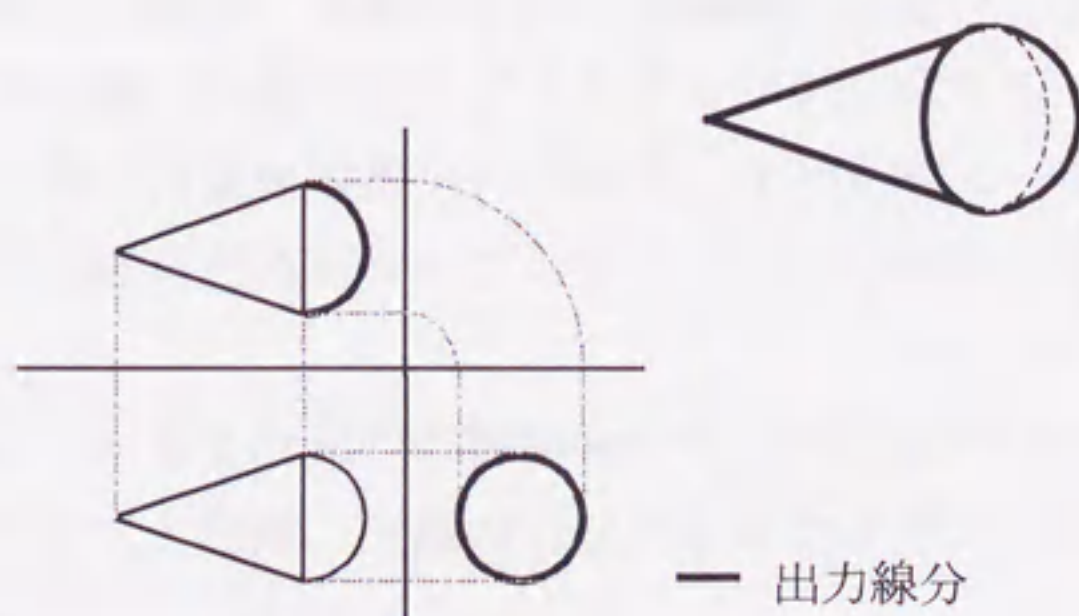


図 3.31 球の CSG プリミティブと円錐，円錐の CSG プリミティブのループパターンによる不足線分の補充（その2）

6. 円柱と円錐が干渉する場合の線分の補充

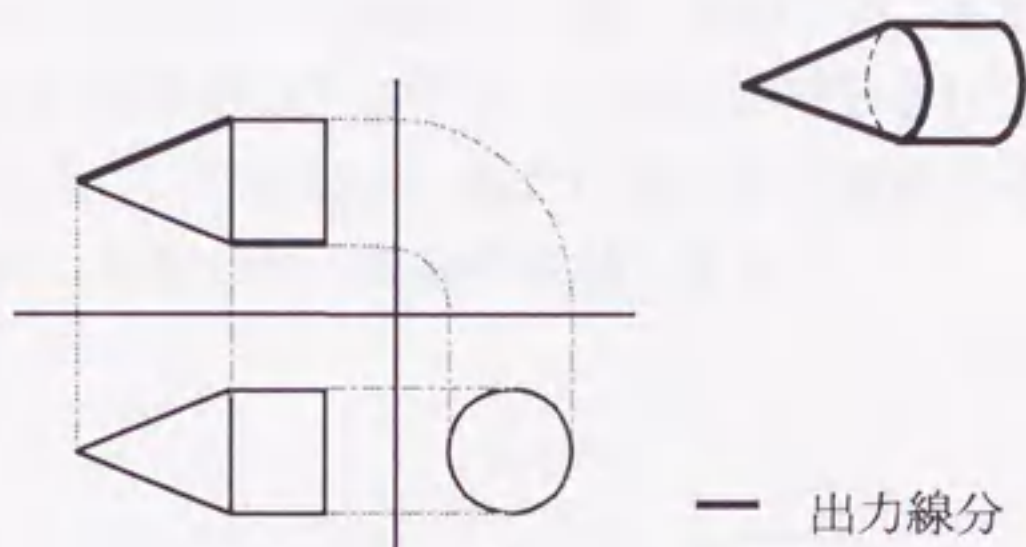


図 3.32 円柱, 円柱の CSG プリミティブと円錐, 円錐の CSG プリミティブの
ループパターンによる不足線分の補充

手続き method_1_8

機能 一面図に円, 円弧曲線線分があり, 他の一面図にその円, 円弧曲線線分が対応する矩形ループ, もしくは二等辺あるいは直角三角形ループがあり, 残りの一面図には対応すべき矩形ループ, もしくは二等辺あるいは直角三角形ループがない場合, 欠落している直線線分を補い, 円柱, 円柱の CSG プリミティブと円錐, 円錐の CSG プリミティブを生成する.

入力 1つの円, 円弧曲線線分のデータ, 1つ矩形ループのデータ, 1つの二等辺もしくは直角三角形ループのデータおよびループを構成する直線線分のデータ.

出力 欠落している2次元の直線線分のデータおよび3次元の円柱, 円柱の CSG プリミティブと円錐, 円錐の CSG プリミティブ.

アルゴリズム

1. 手続き method_1_2 を用いる.
2. 手続き method_1_3 を使い, 終了.

3.3.3 不足線分の補充法2

ここでは、ループパターンによる解消ができない矛盾、つまり、三面図中に円、円弧曲線線分と対応する直線線分のループが1つもない図面の矛盾を、二面図から3次元稜線を生成する方法で不足直線線分を補い解消する。不足している直線線分が存在するために欠けている稜線は、必ず2つの面図に投影されているという条件を入力図面に対して設けた上で、二面図から新たに得られた稜線を不足稜線候補とし、この不足稜線候補を面図に投影して不足線分候補とする。

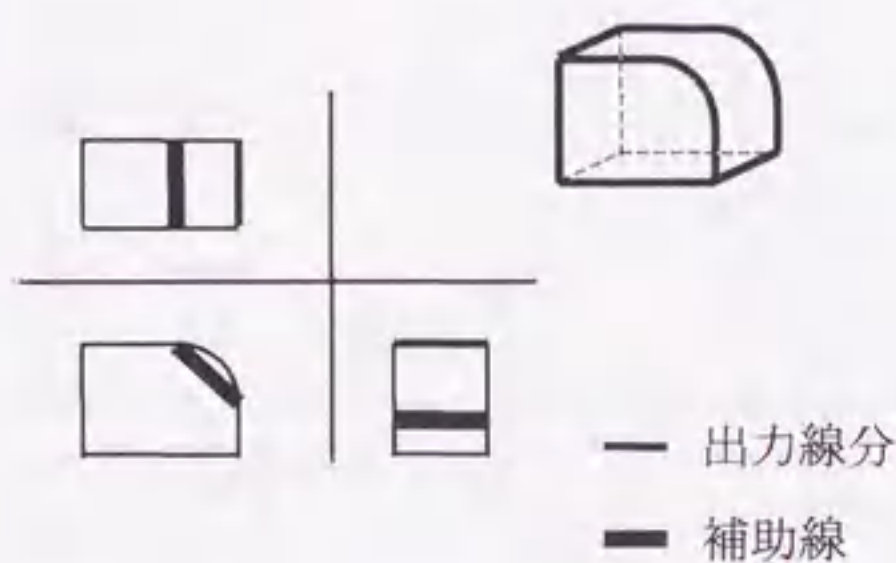


図 3.33 二面図からの稜線生成による不足線分の補充

手続き method_2_1

機能 一面図に円、円弧曲線線分があり、他の二面図にその円、円弧曲線線分に対応する矩形ループ、あるいは二等辺もしくは直角三角形ループまたは円弧ループがない場合、欠落している直線線分を補い、円柱、円柱の CSG プリミティブあるいは円錐、円錐の CSG プリミティブを生成する。

入力 1つの円、円弧曲線線分のデータおよび直線線分のデータ。

出力 欠落している2次元の直線線分のデータおよび円柱の CSG プリミティブあるいは円錐の CSG プリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 一面図に存在する1つの円、円弧曲線線分のデータより、円、円弧曲線線分自身の補助線と対応する2図面の補助線を追加し、円、円弧曲線線分を入力図面から分離する。
- 2) 残った直線線分を構成する図面から不足稜線と不足線分を列挙し、立体A

を生成する.

- 3) 立体Aを三面図を投影し, 不足線分を特定する.
- 4) 円弧自身の補助線を円弧線分を持つ図面に復元し, 対応ループを探索する.
- 5) 矩形ループが存在すれば, 対応する円柱, 円柱の CSG プリミティブを生成して終了. 二等辺もしくは直角三角形ループが存在すれば, 対応する円錐, 円錐の CSG プリミティブを生成して終了.

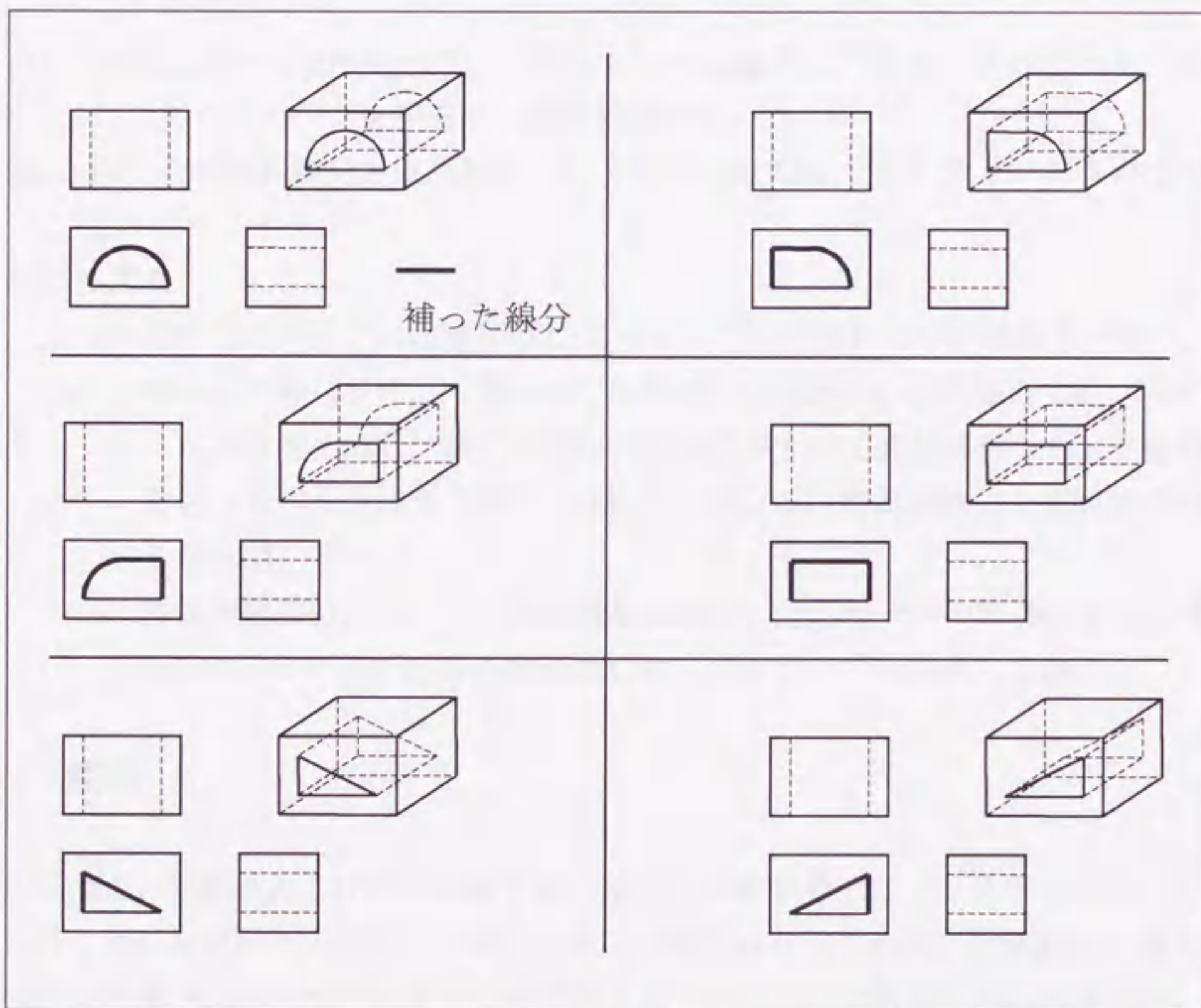


図 3.34 円弧曲線の存在を前提とした経験的な不足線分の補充

3.3.4 不足線分の補充法3

入力図面に円弧曲線成分が含まれない場合のタイプ3の矛盾の場合にも, 円弧が存

在すると仮定した時の慣習や事例に基づいた経験的な知識を用いて、欠落している線分を特定できる可能性がある。このようなケースにおいては、次のアルゴリズムをとる。

手続き method 3_1

機能 三面図に円弧が全く存在していないが、二面図に対応すると想定できる矩形ループ、二等辺もしくは直角三角形ループが存在する場合、それらの直線線分をループとして持つ円柱の CSG プリミティブあるいは円錐の CSG プリミティブを生成する。

入力 対応している矩形ループ、二等辺もしくは直角三角形ループのデータ、およびこれらのループを構成する直線線分のデータ。

出力 円、円弧曲線線分と直線線分、および円柱の CSG プリミティブあるいは円錐 CSG のプリミティブ。

アルゴリズム

- 1) 対応するループの座標関係によって、円、円弧および直線線分を補う。
- 2) 補われた線分が円、円弧のみであれば、円柱あるいは円錐の CSG プリミティブを直接生成して終了。補われた線分がすべて直線線分なら、平面のみをもつ立体を生成して終了。補われた線分が円弧曲線線分と直線線分であるならば、3へ。
- 3) 円弧曲線線分についての補助線を生成し、対応ループの関係により、円柱 CSG プリミティブあるいは円錐 CSG プリミティブを生成して終了。

3.4 結言

円筒側面、円錐面および球体曲面を持つ基本立体要素を CSG プリミティブとしてとりあげ、それらが単一に存在する場合、および複数存在してお互いに接続する場合に、三面図に投影される形状のパターンを整理した。また、入力図面に現れる矛盾を、線分に不足がある場合、線分に余剰がある場合、そして線分についての線種の指定が誤っている場合に発生する矛盾に分類し、それらが存在する場合に投影面にもたらずパターンを解析した。その上で、正当な立体が投影するパターンと矛盾が存在する投影パターンを照合することにより、矛盾の原因を特定し、あわせて完全な立体を推定するためのアルゴリズムを提案した。CSG 法では、局所的なプリミティブの結合状態により全体の立体が構成される。このため、より複雑なプリミティブから構成されている場合にも、プリミティブの部分的な組み合わせ箇所に対して本アルゴリズムを適用

すれば、対処が可能であると考えられる。

曲面が含まれる場合、その投影ループの形状には大きな特徴が表れる。本章で述べたパターン照合法は、この点に注目したものである。この方法を、境界表現法と CSG 法を併用した立体表現法を持つ立体生成過程の矛盾解消問題に対して適用することにより、曲面を含む部分的な立体の矛盾判定を、より単純な方法により置きかえることができる。このような方向からの問題のとらえ方は、既存の研究では行われておらず、本研究で初めて注目された点である。なお、本アルゴリズムの一つの問題としては、曲線線分が欠落している場合の線分の補充である。本章では、経験的な方法で曲線線分を追加する方法を提案したが、この方法の妥当性については、さらなる事例の解析等により深めていくことができると期待される。

第4章 知識を用いて不整合な三面図から曲面をもつ立体を推定するシステムの構築

4.1 緒言

第3章では第2章で提案したハイブリッド立体合成方法は矛盾を含む三面図から曲面をもつ立体の推定には有効な方法であることを示した。問題点として、90度、180度、270度と360度の円弧曲線しか処理できないことや、球冠や同じ半径を持つ二つまたは三つの円柱の相貫体などの立体の推論ができないという点があげられる。例えば、同じ半径も持つ二つ円柱の相貫体のデータが与えられた場合、第3章の推論アルゴリズムでは二つ円柱の相貫体という正しい立体プリミティブの推定ができなく、球体プリミティブという実際に存在していないものを推定してしまう。その方法で処理可能な円弧曲線の種類と推定可能なプリミティブの種類がそれぞれ図4.1と図4.2に示されている。

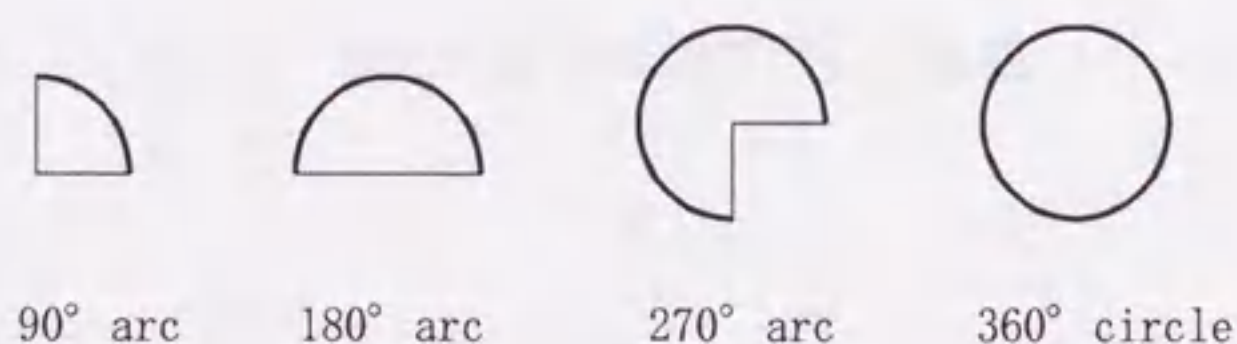


図4.1 第3章で提案した方法における処理可能な円弧の種類

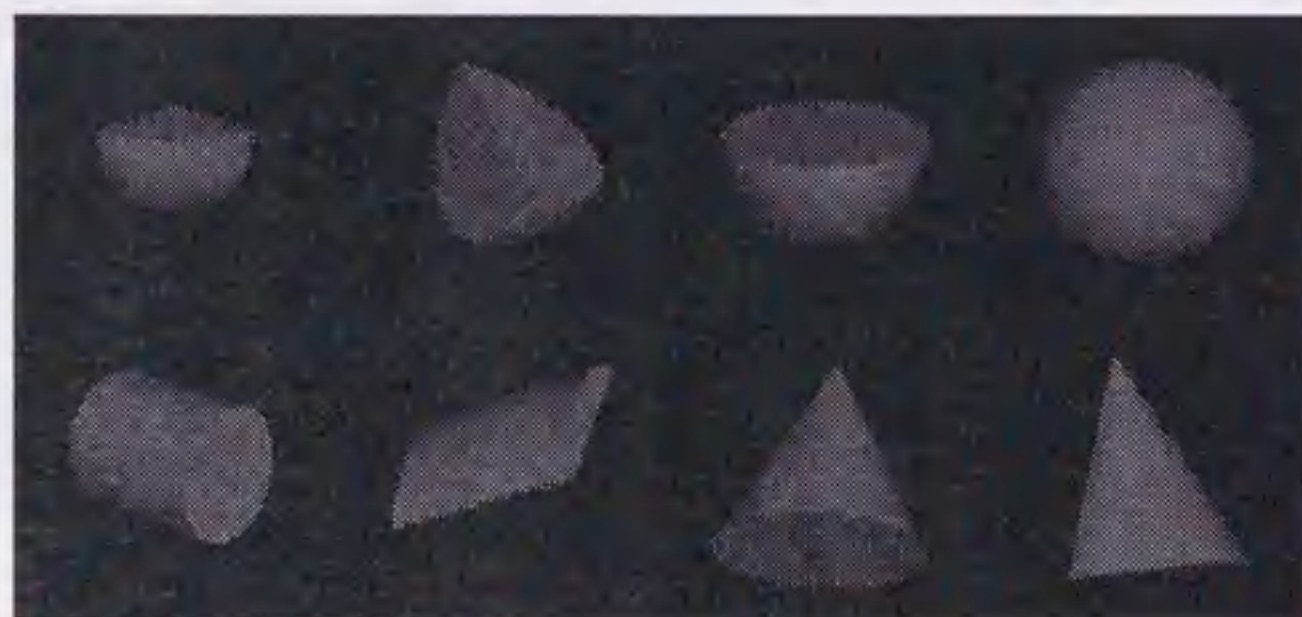


図4.2 第3章で提案した方法における推論可能なプリミティブの種類

問題点を解消するために我々は知識を用いて推論方法を提案し、その方法に基づいたシステムを実装した[13][14]。この章では知識を用いた推論方法とシステムの実装について述べる。

人間が立体推論に関する知識をシステムに取り込むことによって新たに処理できる円弧曲線の種類と推論できる曲面プリミティブの種類がそれぞれ図4.3と図4.4に示されている。それらの図から新しい方法が前の方法よりかなり補強されていることが分かる。

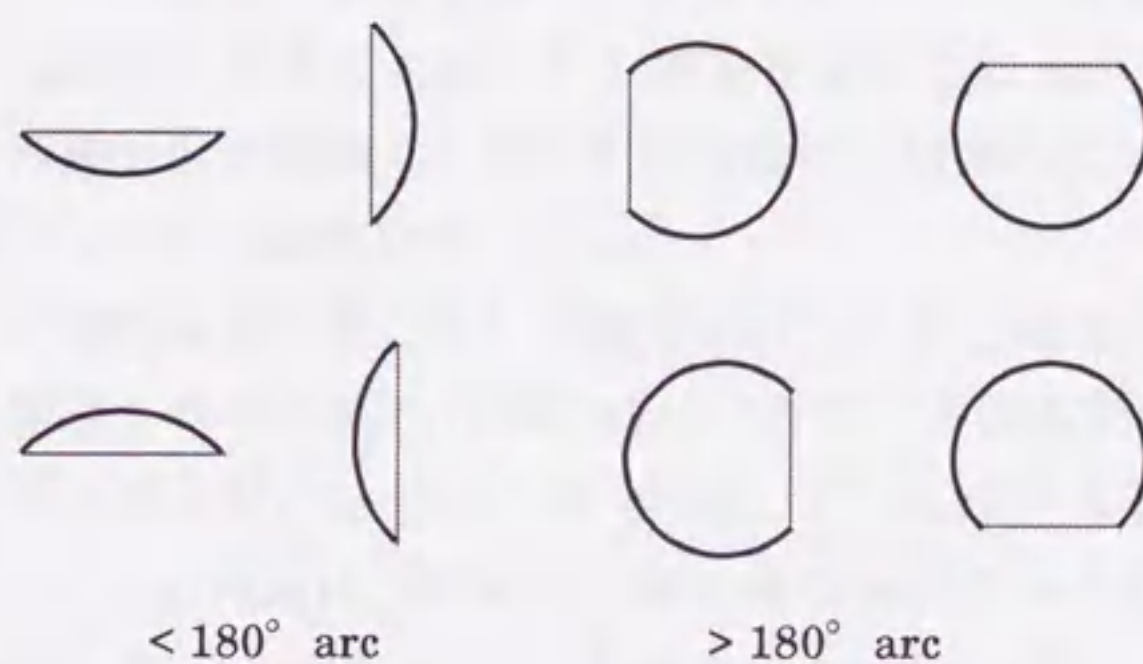


図 4.3 新たに処理可能な円弧の種類



図 4.4 新たに推論可能なプリミティブの種類

これまでに三面図情報からの三次元立体の自動合成方法は入力図面のデータを無差別に扱い、三面図間のデータの関連とある図面上のデータのつながりに対する認識も対応ループにとどまっている。このため、無駄な探索が増え、効率が悪くなってしまふ。また、矛盾が含まれている入力データだけではなく、面とループの対応関係を把握しにくい同じ半径も持つ二つまたは三つの円柱が相貫する場合や、円柱の一部分をカットされた場合の完全な入力図面に対しても、正しい立体を出力できないのが現状である。一方、人間は三面図から立体プリミティブを推定するとき、まず、特徴がある部分に注目するのは普通である。また、図面間データの関連などにも深く注意しながら推定を行う。そのため、余分な線分、欠落した線分および線種の指定が誤った線分が含まれている図面に対しても正しい立体を推定することができる。本研究では、そうした人間の推論過程を模倣し、その推論過程に使用された知識に基づいた知的な3次元立体推論システムを構築した。

本システムは、曲線線分を中心として推定を行う。ある図面の曲線線分からほかの図面に、それと関連し得る各種の立体の持つべきデータの有無からその曲線線分は、ある曲面プリミティブと対応しているか、対応していればどのようなものと対応しているかを判定する。その判定は三面図に存在し得る曲面プリミティブと対応する情報量を表す可能性値に基づいて行う。ある曲線に対応し得るプリミティブの可能性値があらかじめ設置されたしきい値以上であれば、そのプリミティブのデータが三面図に存在していると認識し、そうでなければ、そのプリミティブが三面図から導けないと判断する。つまり、あるプリミティブのデータが三面図に存在しているかどうかということは、三面図にそのプリミティブの持つべきデータがどの程度あるのかによって決定する。そのため、本システムは完全な三面図から曲面プリミティブの情報を抽出することと、矛盾を含んだ不完全三面図から適当な曲面プリミティブの推定もできるという効果が得られる。欠落した線分は関連のプリミティブが確定された時点で自動的に補われる。確定できたプリミティブのデータが図面から切り離して出力される。第3章に紹介した方法と同じく、曲面プリミティブと関連するデータが確定されたあと、多面体の合成を行う。そして、生成された曲面プリミティブと多面体を組み合わせて結果立体を出力する。立体合成の全過程に一度も使われていない線分は余分な線分と認識され、最後に残り、矛盾の分析の情報としてユーザに提供する。

我々は提案した知識に基づいて立体推論方法を用いた矛盾を含む三面図から、曲面をもつ立体に関する推定システムを試作した。提案した特定の曲面プリミティブを推定するアルゴリズムをC言語で、そして、入力三面図と出力3次元立体の理解を容易にするため、OpenGLを用いて、面図と立体の表現用プログラムをWindows NTの上で実装し、システムを構築した。システムの入力は文献[65]と違い、いかなる補助情報

を一切加えていない通常の三面図を記述するファイルである。その出力は認識された曲面プリミティブのデータファイル、合成された3次元立体と余分な線分を表現するファイルである。なお、オペレータがキーボードを用いて合成された3次元立体を自由に回転させることができる。そのため、いろいろな角度から合成された3次元立体を観察することによって、利用者にその立体に関する感性情報を全面的に与えられる。我々は各種な入力データに対して実験を行い、システムの性能を評価した。その結果、構築したシステムは矛盾を含む三面図から立体の推定に強くかつ効率がよいであることを確認した。

一般性を失わない範囲で、入力した三面図からユニークな立体を構成できるものとする。すなわち、同じ三面図に多数な立体が対応している問題は、本研究の範囲外とする[32]。また、円柱プリミティブと円錐プリミティブの中心軸は座標軸に平行することを前提とする。さらに、三面図に含まれた矛盾は欠落したデータがメインであり、余分あるいは誤りのデータは少ないものとする。

本章の構成は以下に示す。4.2節では関連の記号と用語を定義する。4.3節では各種曲面プリミティブを判断する可能性計算について説明する。4.4節では、プリミティブの確定方法について述べる。そして、4.5節で、システムの実装に関することを取り上げ、4.6節で実験結果により提案する方法の有効性を示す。最後に4.7節で、結言を与える。

4.2 記号と用語の定義

ここでは、本章に使用される記号と用語を定義する。まず、記号について説明する。

1. $P(x)$: 三面図図面上 x という点
2. $S(x)$: 点 $P(x)$ の横座標
3. $T(x)$: 点 $P(x)$ の縦座標
4. $L(x, y)$: 始点 $P(x)$ 、終点 $P(y)$ という線分
5. $C(o, R)$: 中心点を $P(o)$ 、半径を R という円
6. $A(a, b, o, R)$: 始点を $P(a)$ 、終点を $P(b)$ 、そして、中心点を $P(o)$ 、半径を R という逆時計方向円弧

なお、線分 $L(a, b)$ において $S(b) > S(a)$ が成立するかまたは $S(b) = S(a)$ の時、 $T(b) > T(a)$ が成り立つこととする。次は用語について定義する。

1. 2円柱相貫体(2-cylinder intersection): 同じ半径を持つ二つの円柱の直交相貫体プリミティブ
2. 3円柱相貫体(3-cylinder intersection): 同じ半径を持つ三つの円柱の直交

相貫体プリミティブ

3. 球冠(spherical crown): 球を投影面に平行な平面により切断したサイズは半球以下であるプリミティブ
4. 切断された球冠(cut spherical crown): 球冠が投影面に平行な平面より切断されてできたプリミティブ
5. 切断された円柱(cut cylinder): 円柱プリミティブが投影面に平行な平面により切断されてできたプリミティブ
6. カット円錐(cut cone): 円錐プリミティブが投影面に平行な平面により切断されてできたプリミティブ
7. X度線分: 水平軸の正方向とX度に相交する斜線
8. 小円弧: 半円以下の円弧線分
9. 大円弧: 半円より大きい円弧線分

4.3 各種の曲面プリミティブにおける可能性計算

この節では、各種の曲面プリミティブにおける可能性計算について述べる。あるプリミティブの可能性値は、人間がそのプリミティブに関する知識に基づいて計算する。そのため、各曲面プリミティブに対して、まず、完全な三面図においてそのプリミティブの固有の特徴を知識としてまとめる。そして、不完全な三面図を対象としたそのプリミティブに関する可能性計算のアルゴリズムを述べる。

1つの曲面プリミティブと対応する三面図は色々なパターンがあるが、全てのパターンに対して可能性計算の手順が同じであるから、ここで1つのパターンのみを例として取り上げる。また、各曲面プリミティブの可能性計算が三面図の図面毎、順番に行うが、その処理手順も原理的に同じであるから、1つの図面からの可能性計算の手順しか述べない。

4.3.1 2円柱相貫体における可能性計算

図4.5に示すケースを例として考える。図4.6に示した他のケースについては同様に処理できる。

1. 2円柱相貫体に関する知識の記述

図4.5から2円柱相貫体に対して以下のような特徴を抽出することができる。

- 1) 平面図と側面図にそれぞれ円 $C(o1, R)$ と円 $C(o3, R)$ が存在している。そこで、 $T(o1) = S(o3)$ 。

- 2) 平面図に円 $C(o_1, R)$ と水平に接する線分が 2 本存在する.
- 3) 側面図に円 $C(o_3, R)$ と接する垂直線分が 2 本ある.
- 4) 正面図に 45 度線分 $L(a, d)$ と 135 度線分 $L(b, c)$ が存在する. その二つの線分が中心点 $P(o_2)$ で交差する上, $S(o_2) = S(o_1)$, $T(o_2) = T(o_3)$, $S(a) = S(b) = S(o_1) - R$, $S(c) = S(d) = S(o_1) + R$, $T(a) = S(c) = T(o_3) - R$, $T(b) = T(d) = T(o_3) + R$ という条件が成立する.

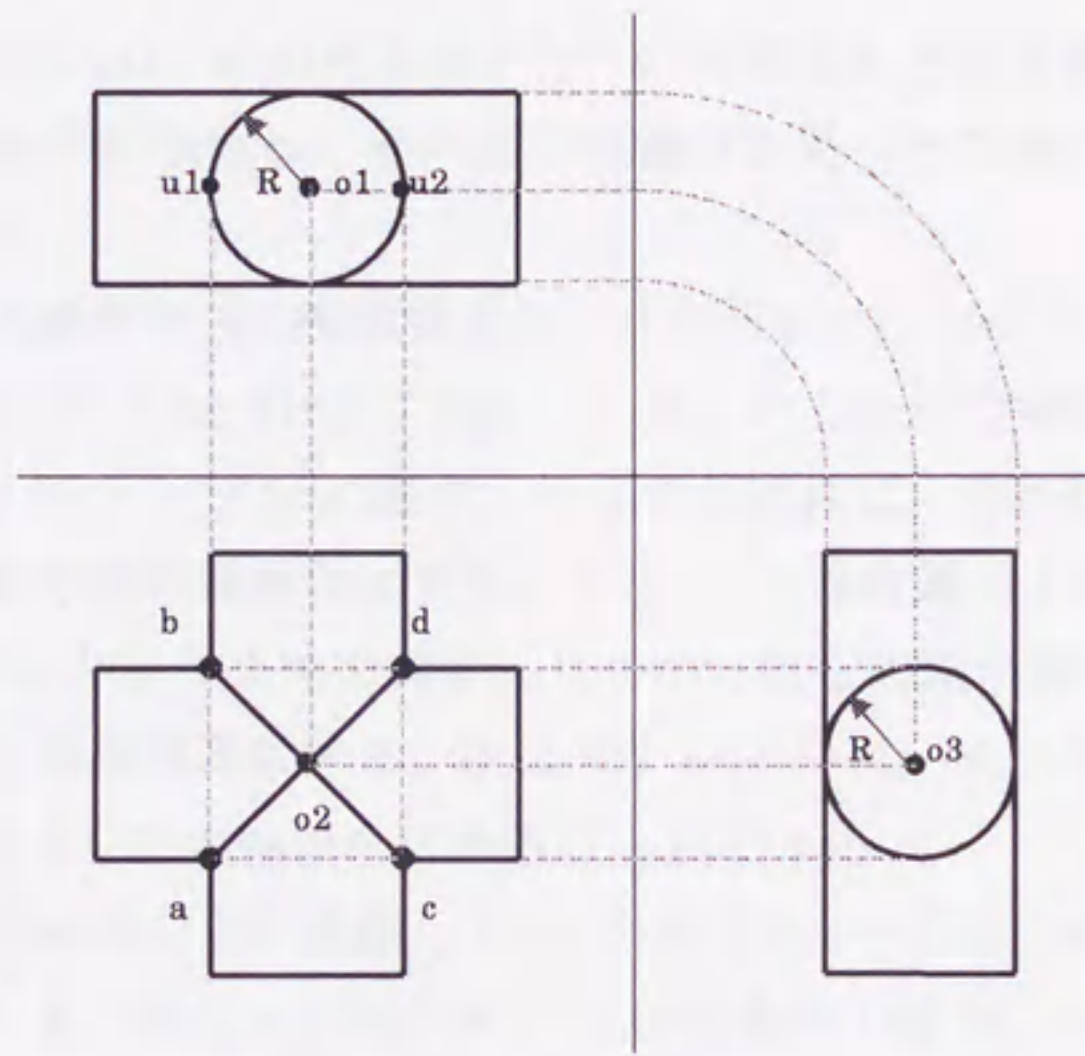


図 4.5 2 円柱相貫体の三面図の例

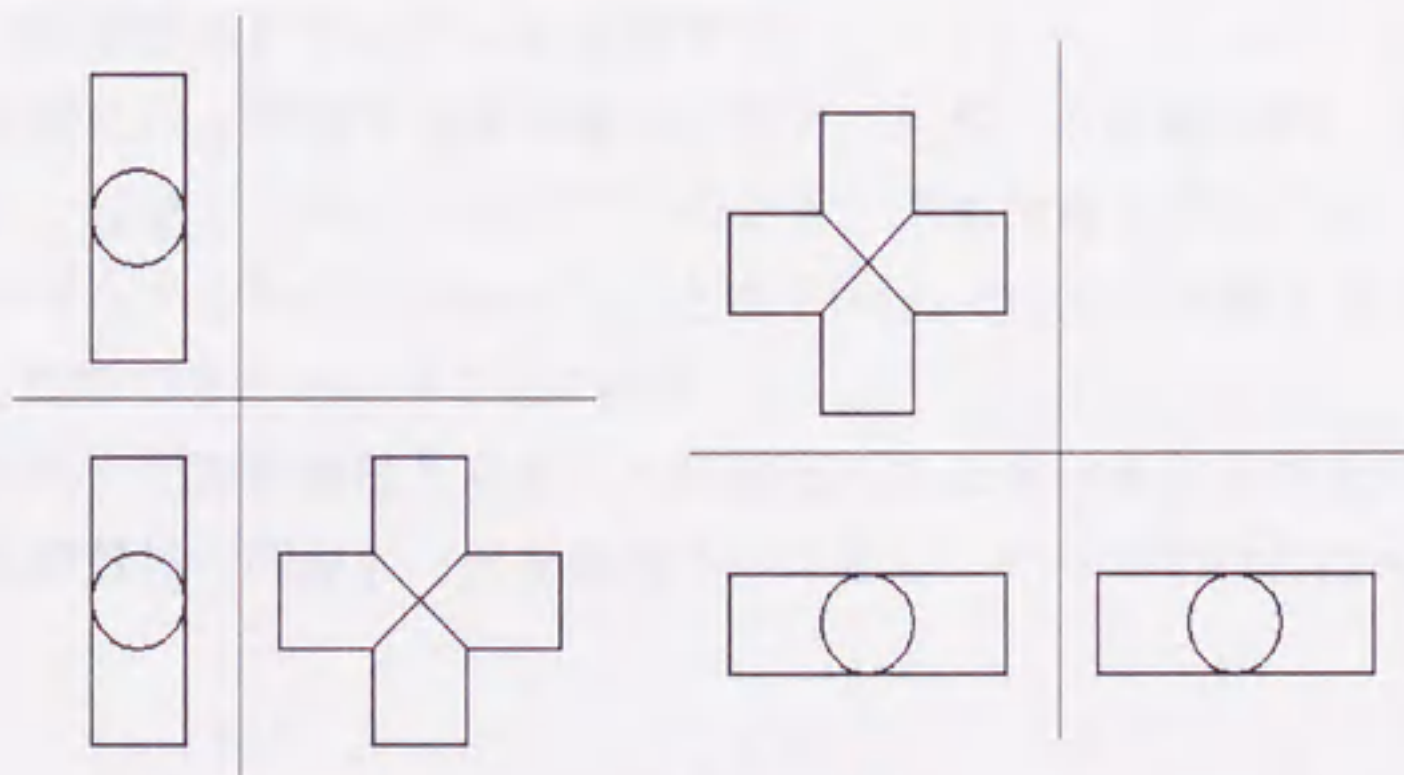


図 4.6 ほかの 2 円柱相貫体の三面図

2. 可能性計算アルゴリズム

図4.5に示したケースにおいて、可能性計算は平面図からはじめ、以下の手順で行う。

- 1) 可能性値は0に初期化する。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o1, R)$ を探す。見つかったら可能値に2ポイントを増やし、その円を処理済みにする。見つからなかったら、可能性計算を終了する。
- 3) 平面図に円 $C(o1, R)$ の中心点 $P(o1)$ の座標値とその半径 R からその円と正接する水平線分を求める。そのような線分を見つけた毎に可能性値に1ポイントを加える。
- 4) 正面図に未処理の45度線分 $L(a, c)$ を $|T(c) - T(a)| = |S(c) - S(a)|$ かつ $S(a) = S(o1) - R$, $S(c) = S(o1) + R$ という条件で探す。そのような線分がなければ、ステップ5)に移す。そうでなければ、可能性値に2ポイントを加え、その線分を処理済みにする。さらに、135度線分 $L(b, d)$ を $S(b) = S(a)$, $S(d) = S(c)$ という条件で探す。見つかったら可能性値に2ポイントを加え、その線分を処理済みにする。次はステップ6)に行く。なお、 $P(a)$ と $P(c)$ の座標によって $P(o2)$ の座標を求めることができる。
- 5) 正面図に未処理の135度線分 $L(b, d)$ を $|T(d) - T(b)| = |S(d) - S(b)|$, $S(b) = S(o1) - R$, $S(d) = S(o1) + R$ という条件で探す。そのような線分がなければステップ1)に戻る。あれば、可能性値に2ポイントを増やし、その線分を処理済みにマークする。このとき、 $P(o2)$ の座標は $P(b)$ と $P(d)$ の座標から計算できる。
- 6) 側面図に円 $C(o3, R)$ を $S(o3) = T(o1)$, $T(o3) = T(o2)$ という条件で探す。あれば可能性値に2ポイントを増やす。
- 7) 側面図に円と正接する垂直線分を探す。1本ずつ可能性値に1ポイントを増やす。注意してほしいのは、このとき、円は欠落していても正接する垂直線分が存在するかどうかということが $P(o1)$, $P(o2)$ の座標と円 $C(o1, R)$ の半径 R で判断できるということである。
- 8) 得られた可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば、1つの2円柱相貫体の関連データを見つけたとし。そうでなければステップ4)に戻る。

入力三面図は完全なものであれば、2円柱相貫体の可能値性は12ポイントとなる。

4.3.2 3円柱相貫体における可能性計算

1. 3円柱相貫体に関する知識の記述

3円柱相貫体の三面図は図4.7に示す。以下の特徴を抽出できる。

- 1) 平面図, 正面図と側面図にそれぞれ円 $C(o1, R)$, $C(o2, R)$ と $C(o3, R)$ がある。そこで, $S(o1) = S(o2)$, $T(o1) = S(o3)$, $T(o2) = T(o3)$.
- 2) 各図面に2本の45度の斜線線分と2本の135度の斜線線分がある。平面図のケースを例として, これらの線分 $L(a1, c1)$, $L(f1, h1)$, $L(b1, d1)$ と $L(e1, g1)$ は次の性質を持っている。 $S(a1) = S(b1) = S(o1) - R$, $S(c1) = S(d1) = S(o1) - \sqrt{2}R$, $S(h1) = S(g1) = S(o1) + R$, $S(e1) = S(f1) = S(o1) + \sqrt{2}R$, $S(h1) = S(g1) = S(o1) + R$, $T(a1) = T(g1) = T(o1) - R$, $T(c1) = T(e1) = T(o1) - \sqrt{2}R$, $T(d1) = T(f1) = T(o1) + \sqrt{2}R$, $T(b1) = T(h1) = T(o1) + R$. また, $P(o1)$ の座標が分かれば, $P(a1)$, $P(b1)$, $P(c1)$, $P(d1)$, $P(e1)$, $P(f1)$, $P(g1)$ と $P(h1)$ の座標が求められる。逆に, $L(a1, c1)$, $L(f1, h1)$, $L(b1, d1)$ と $L(e1, g1)$ の一本が分かれば, $P(o1)$ の座標を求めることもできる。

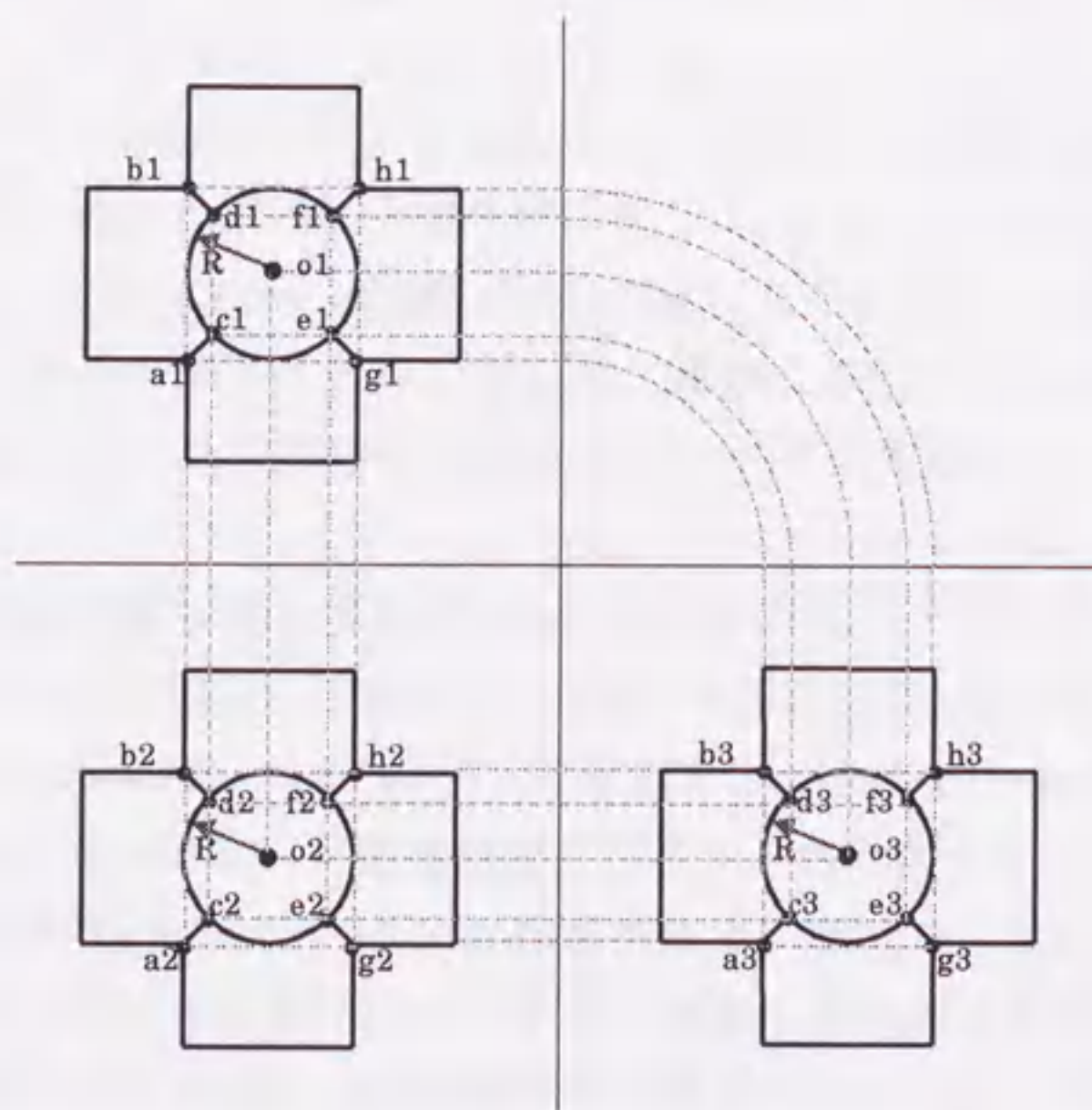


図4.7 3円柱相貫体の三面図

2. 可能性計算アルゴリズム

3 円柱相貫体における平面図から可能性計算は以下の手順を行う。

- 1) 可能値性を 0 に設定する。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o_1, R)$ を探し、見つかったら可能性値を 2 ポイント増やし、その円を処理済みとマークする。見つからなかったら、可能性計算を終了する。
- 3) 円の中心点 $P(o_1)$ の座標値と半径 R によって、平面図に以上に示した条件を満たす 45 度線分 $L(a_1, c_1)$, $L(f_1, h_1)$ と 135 度線分 $L(b_1, d_1)$, $L(f_1, h_1)$ を探す。見つかった線分毎に、可能性値に 1 ポイントを加える。
- 4) 正面図に未処理の円 $C(o_2, R)$ を $S(o_2) = S(o_1)$ という条件で探す。そのような円が存在していなければ、ステップ 5) に移す。そうではなければ、可能性値を 2 ポイントふやし、その円を処理済みとマークする。続いてステップ 3) と同じ、この面の 45 度線分 $L(a_2, c_2)$, $L(f_2, h_2)$ と 135 度線分 $L(b_2, d_2)$, $L(f_2, h_2)$ を探す。見つかった線分毎に、可能性値に 1 ポイントを足しこむ。そして、ステップ 9) にいく。
- 5) 正面図から未処理の 45 度線分 $L(a_2, c_2)$ を $S(a_2) = S(a_1)$, $S(c_2) = S(c_1)$, $T(c_2) > T(a_2)$, $|T(c_2) - T(a_2)| = |S(c_1) - S(a_2)|$ の条件で探す。そのような線分がなければ、ステップ 6) に移す。逆に、その線分を処理済みとマークし、可能性値を 1 ポイント増やす。そして、 $P(a_2)$ と $P(c_2)$ の座標から仮の円心 $P(o_2)$ の座標を求め、関連の $L(f_2, h_2)$, $L(b_2, d_2)$, $L(f_2, h_2)$ が図面にあるかどうかをチェックする。発見した線分に対してそれぞれ可能性値を 1 ポイント増やし、その線分を処理済みとマークしてから、ステップ 9) に行く。
- 6) 正面図から未処理の 135 度線分 $L(b_2, d_2)$ を $S(a_2) = S(a_1)$, $S(c_2) = S(c_1)$, $T(b_2) > T(d_2)$, $|T(d_2) - T(b_2)| = |S(d_1) - S(b_2)|$ という条件で探す。そのような線分がなければ、ステップ 7) に移動する。そうではなければ、その線分を処理済みとマークし、可能性値を 1 ポイントプラスする。そして、 $P(b_2)$ と $P(d_2)$ の座標から仮の円心 $P(o_2)$ の座標を求め、関連の $L(f_2, h_2)$, $L(f_2, h_2)$ が図面にあるかどうかをチェックする。発見したものそれぞれに対して可能性値を 1 ポイント増やし、その線分を処理済みとマークしてから、ステップ 9) に移す。
- 7) 正面図から未処理の 45 度線分 $L(f_2, h_2)$ を $S(f_2) = S(f_1)$, $S(h_2) = S(h_1)$, $T(h_2) > T(f_2)$, $|T(h_2) - T(f_2)| = |S(h_1) - S(f_2)|$ の条件で探す。そのような線分がなければ、ステップ 8) に移動する。逆に、その線分を処理済みと

マークし、可能性値を1ポイント増やす。そして、 $P(h2)$ と $P(f2)$ の座標から仮の円心 $P(o2)$ の座標を求め、関連の $L(e2, g2)$ が図面にあるかどうかをチェックする。発見すれば、可能性値を1ポイント増やし、その線分を処理済みとマークしてから、ステップ9)に移す。

- 8) 正面図から未処理の135度線分 $L(e2, g2)$ を $S(e2) = S(e1)$, $S(g2) = S(g1)$, $T(e2) > T(g2)$, $|T(e2) - T(g2)| = |S(e2) - S(g2)|$ という条件で探索する。そのような線分がなければ、ステップ1)に戻る。そうではなければ、その線分を処理済みとマークし、可能性値を1ポイント加える。そして、 $P(e2)$ と $P(g2)$ の座標から仮の円心 $P(o2)$ の座標を求め、ステップ9)に移す。
- 9) 側面図を処理する。まず、 $P(o3)$ の座標を $S(o3) = T(o1)$, $T(o3) = T(o2)$ で求める。そして、円 $C(o3, R)$ を探す。見つかったら、可能性値を2ポイント増やす。次は、 $P(o3)$ の座標値と半径 R で45度の斜線と135度の斜線 $L(a3, c3)$, $L(f3, h3)$, $L(b3, d3)$ と $L(e3, g3)$ を探索する。発見した線分毎に可能性値を1ポイント増やす。
- 10) もし可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば、3円柱相貫体の関連データを発見したとする。そうではなければステップ4)へ戻る。

入力三面図は完全であれば、3円柱相貫体の可能性値はポイントとなる。

4.3.3 球面プリミティブにおける可能性計算

本システムは球面プリミティブとしてあつかうものの三面図サンプルは図4.8に示す。すなわち、球面プリミティブは球、半球、1/4球と1/8球を指す。

1. 球面プリミティブに関する知識の記述

図4.8に示した三面図から以下の特徴を抽出できる。

- 1) 平面図、正面図と側面図にそれぞれ円 $C(o1, R)$, $C(o2, R)$, $C(o3, R)$ が存在するかつ $S(o1) = S(o2)$, $T(o1) = S(o3)$, $T(o2) = T(o3)$ が成立すれば、その三つの円は図4.8(a)に示した球の三面図のデータである。
- 2) 平面図に円 $C(o1, R)$ 、正面図と側面図に円弧 $A(b2, a2, o2, R)$, $A(b3, a3, o3, R)$ がそれぞれ存在するかつ $S(o1) = S(o2)$, $T(o1) = S(o3)$, $T(o2) = T(o3) = T(a2) = T(b2) = T(a3) = T(b3)$, $S(ai) = S(oi) + R$, $S(bi) = S(oi) - R$ ($i = 2, 3$)が成立すれば、それらの円・円弧は図4.8(b)に示した半球のデータである。
- 3) 平面図、正面図と側面図に円弧 $A(a1, b1, o1, R)$, $A(b2, a2, o2, R)$, $A(b3,$

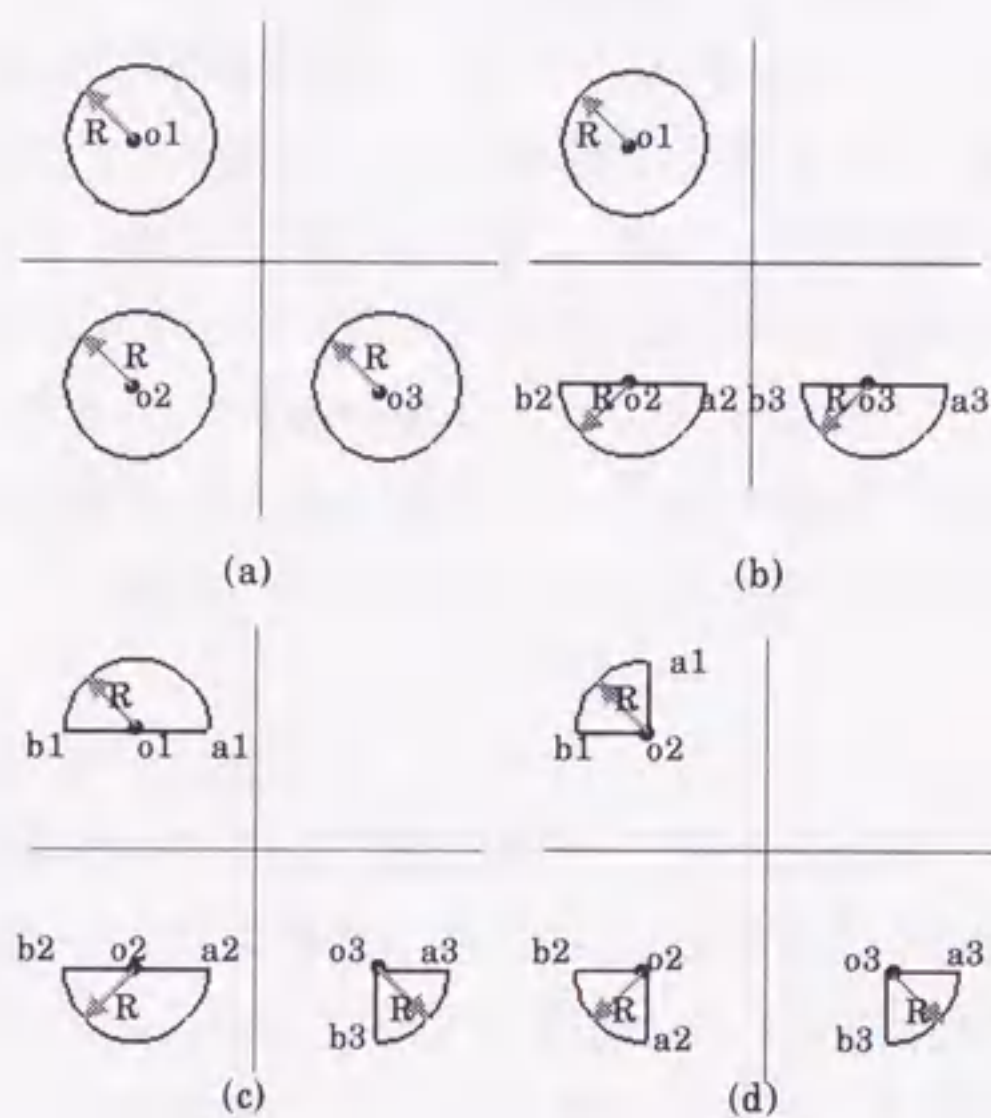


図 4.8 球面プリミティブの三面図サンプル

a_3, o_3, R が存在するかつ $S(o_1) = S(o_2), T(o_1) = S(o_3), T(o_2) = T(o_3), S(a_i) = S(o_i) + R, T(a_i) = T(o_i) (i = 1, 2, 3), S(b_1) = S(b_2) = S(o_1) - R, T(b_i) = T(o_i) (i = 1, 2), S(b_3) = S(o_3), T(b_3) = T(o_3) - R$ が成立するとき、これらの円弧は図 4.8(c)に示した 1/4 球の三面図データである。

4) 平面図，正面図と側面図に円弧 $A(a_1, b_1, o_1, R), A(b_2, a_2, o_2, R), A(b_3, a_3, o_3, R)$ が存在するかつ $S(o_1) = S(o_2), T(o_1) = S(o_3), T(o_2) = T(o_3), S(a_i) = S(o_i) (i = 1, 2), S(a_3) = S(o_3) + R, T(a_1) = T(o_1) + R, T(a_2) = T(o_2) - R, T(a_3) = T(o_3)$ が成立するとき、それらの円弧データは図 4.8 に示した 1/8 球の三面図データである。

2. 可能性計算アルゴリズム

図 4.8 に示した三面図の場合，球，半球，1/4 球と 1/8 球プリミティブのそれぞれの可能性計算が平面図から始まり，以下のように行う。

a. 球の場合

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o_1, R)$ を探す。見つければ，可能性値を 1 ポイント増やし，ステップ 3)に移す。見つからなければ，可能性計算を終了する。

- 3) 正面図で $S(o_2) = S(o_1)$ の条件で円 $C(o_2, R)$ を探す。なければ、ステップ 4) へ。見つければ、可能性値に 1 ポイントを加える。さらに側面図で $S(o_3) = T(o_1)$, $T(o_3) = T(o_2)$ という条件を満たす円 $C(o_3, R)$ が存在すれば、可能性値を 1 ポイント増やす。そして、ステップ 5) に移す。
- 4) 側面図で $S(o_3) = T(o_1)$, $T(o_3) = T(o_2)$ という条件を満たす円 $C(o_3, R)$ を探す。見つければ、可能性値を 1 ポイント増やす。
- 5) もし可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば、球の関連データを発見したとする。そうではなければステップ 1) へ戻る。

b. 半球の場合

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o_1, R)$ を探す。見つければ、可能性値を 1 ポイント増やし、ステップ 3) に移す。見つからなければ、可能性計算を終了する。
- 3) 正面図で $S(o_2) = S(o_1)$ と $T(a_2) = T(b_2) = T(o_2)$ の条件で円弧 $A(b_2, a_2, o_2, R)$ を探す。なければ、ステップ 4) へ。見つければ、可能性値に 1 ポイントを加える。さらに側面図で $S(o_3) = T(o_1)$, $T(o_3) = T(o_2)$ と $T(a_3) = T(b_3) = T(o_3)$ という条件を満たす円弧 $A(b_3, a_3, o_3, R)$ が存在すれば、可能性値を 1 ポイント増やす。そして、ステップ 5) に移す。
- 4) 側面図で $S(o_3) = T(o_1)$ と $T(a_3) = T(b_3) = T(o_3)$ という条件を満たす円弧 $A(b_3, a_3, o_3, R)$ を探す。見つければ、可能性値を 1 ポイント増やす。
- 5) もし可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば、1/2 球プリミティブの関連データを発見するしたとする。そうではなければステップ 1) へ戻る。

c. 1/4 球の場合

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく。
- 2) 平面図から $S(a_1) = S(o_1) + R$, $T(a_1) = T(o_1)$, $S(b_1) = S(o_1) - R$, $T(b_1) = T(o_1)$ という条件で未処理の円弧 $A(a_1, b_1, o_1, R)$ を探す。見つければ、可能性値に 1 ポイントを増やし、ステップ 3) に移す。見つからなければ、可能性計算を終了する。
- 3) 正面図で $S(o_2) = S(o_1)$ と $S(a_2) = S(o_2) + R$, $T(a_2) = T(o_2)$, $S(b_2) = S(o_2) - R$, $T(b_2) = T(o_2)$ という条件の円弧 $A(b_2, a_2, o_2, R)$ を探す。なければ、ステップ 4) へ。見つければ、可能性値に 1 ポイントを増やす。さらに側面図で $S(o_3) = T(o_1)$, $T(o_3) = T(o_2)$ および $S(a_3) = S(o_3) + R$, $T(a_3) = T(o_3)$, $S(b_3) = S(o_3)$, $T(b_3) = T(o_3) - R$ という条件を満たす円弧 $A(b_3, a_3, o_3, R)$ が存在すれば、可能性値に 1 ポイントを増やす。そして、ステップ 5) に移す。

- 4) 側面図で $S(o3) = T(o1)$, $T(o3) = T(o2)$ および $S(a3) = S(o3) + R$, $T(a3) = T(o3)$, $S(b3) = S(o3)$, $T(b3) = T(o3) - R$ という条件を満たす円弧 $A(b3, a3, o3, R)$ を探す. 見つかれば, 可能性値を1ポイント増やす.
- 5) もし可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば, 1/4 球の関連データを見つかったとし, そうではなければステップ1)へ戻る.

d. 1/8 球の場合

- 1) 可能性値を0に設定しておく.
- 2) 平面図から $S(a1) = S(o1)$, $T(a1) = T(o1) + R$, $S(b1) = S(o1) - R$, $T(b1) = T(o1)$ という条件で未処理の円弧 $A(a1, b1, o1, R)$ を探す. 見つかれば, 可能性値を1ポイント増やし, ステップ3)に移す. 見つからなければ, 可能性計算を終了する.
- 3) 正面図で $S(o2) = S(o1)$ と $S(a2) = S(o2)$, $T(a2) = T(o2) - R$, $S(b2) = S(o2) - R$, $T(b2) = T(o2)$ という条件で円弧 $A(b2, a2, o2, R)$ を探す. なければ, ステップ4)へ. 見つかれば, 可能性値に1ポイントを加える. さらに側面図で $S(o3) = T(o1)$, $T(o3) = T(o2)$ および $S(a3) = S(o3) + R$, $T(a3) = T(o3)$, $S(b3) = S(o3)$, $T(b3) = T(o3) - R$ という条件を満たす円弧 $A(b3, a3, o3, R)$ が存在すれば, 可能性値を1ポイント増やす. そして, ステップ5)に移す.
- 4) 側面図で $S(o3) = T(o1)$ と $T(o3) = T(o1)$ および $S(a3) = S(o3) + R$, $T(a3) = T(o3)$, $S(b3) = S(o3)$, $T(b3) = T(o3) + R$, $T(a3) = T(o3)$ という条件を満たす円弧 $A(b3, a3, o3, R)$ を探す. 見つかれば, 可能性値を1ポイント増やす.
- 5) もし可能性値はあらかじめ設定したしきい値以上であれば, 1/2球プリミティブの関連データを発見したとする. そうではなければステップ1)へ戻る.

入力三面図は完全であれば, 球, 半球, 1/4 球と 1/8 球の可能性値はすべて3ポイントとなる.

4.3.4 円柱プリミティブにおける可能性計算

図4.9は円柱プリミティブのサンプル三面図である.

1. 円柱プリミティブに関する知識の記述

図4.9に示している円柱プリミティブの三面図から以下の特徴を抽出できる.

- 1) 平面図に円 $C(o, R)$ がある.
- 2) 正面図に垂直線分 $L(a, b)$, $L(c, d)$ が存在している. そこで, $S(a) = S(b) =$

- $S(o) - R$, $S(c) = S(d) = S(o) + R$, $T(a) = T(c)$, $T(b) = T(d)$ が成り立つ.
- 3) 面図に垂直線分 $L(e, f)$, $L(g, h)$ が存在している. そこで, $S(e) = S(f) = T(o) - R$, $S(g) = S(h) = T(o) + R$, $T(e) = T(g) = T(a) = T(b)$, $T(f) = T(h) = T(b) = T(d)$ が成立する.

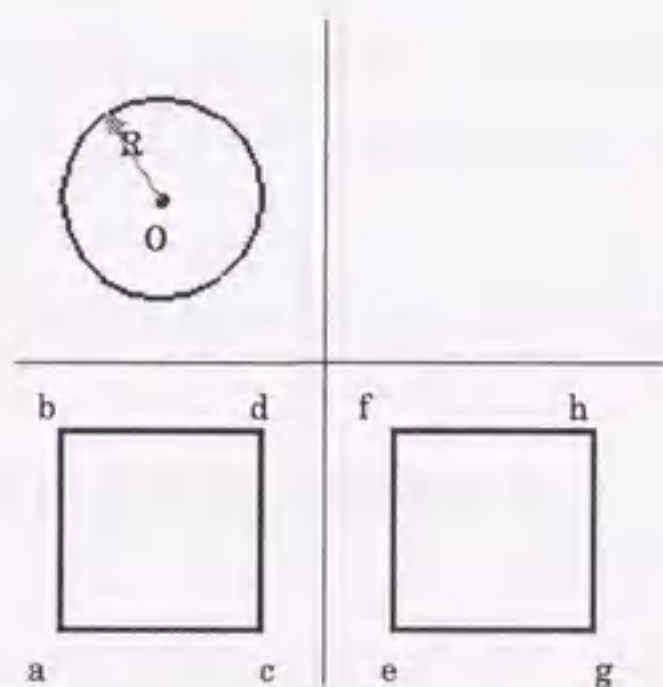


図 4.9 円柱プリミティブ三面図サンプル

2. 可能性計算アルゴリズム

図 4.9 に示した三面図の場合, 円柱プリミティブにおける可能性計算が平面図から以下のように処理する.

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく.
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o, R)$ を探す. 見つければ, 可能性値を 2 ポイント増やし, ステップ 3)に移す. 見つからなければ, 可能性計算を終了する.
- 3) 正面図から $S(a) = S(b) = S(o) - R$ を満たす未処理の直線線分 $L(a, b)$ を探す. 存在しなければ, ステップ 4)へ移る. そうではなければ, 可能性値に 1 ポイントを加える. $P(c)$ と $P(d)$ の座標値を $S(c) = S(d) = S(o) + R$, $T(c) = T(a)$, $T(d) = T(b)$ で決め, 線分 $L(c, d)$ を探す. その線分が存在すれば, 可能性値を 1 ポイント増やす. また, $P(b)$, $P(d)$ を通る線分 $L(b, d)$ あるいは $P(a)$, $P(c)$ を通る線分 $L(a, c)$ があれば, それぞれ 1 ポイントを可能性値に足す.
- 4) 正面図から $S(c) = S(d) = S(o) + R$ を満たす未処理の直線線分 $L(c, d)$ を探す. 存在しなければ, ステップ 1)に戻る. そうではなければ, 可能性値に 1 ポイントを加え, $P(a)$ と $P(b)$ の座標値を $S(a) = S(b) = S(o) - R$, $T(a) = T(c)$, $T(b) = T(d)$ で求め, $P(b)$, $P(d)$ を通る線分 $L(b, d)$ あるいは $P(a)$, $P(c)$ を通る線分

$L(a, c)$ にそれぞれ対し1ポイントを可能性値に加える。

- 5) 側面図にある $P(f)$, $P(e)$, $P(g)$ と $P(h)$ の座標値を次のように決定する。 $S(e) = S(f) = T(o) - R$, $S(g) = S(h) = T(o) + R$, $T(e) = T(g) = T(a)$, $T(g) = T(h) = T(b)$ 。線分 $L(e, f)$ と $L(g, h)$ を探し、見つけた線分毎に可能性値に1ポイントをプラスする。また、 $P(e)$ と $P(g)$ あるいは $P(f)$ と $P(h)$ を通る線分毎に可能性値にも1ポイントを加える。
- 6) もし可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば、円柱プリミティブの関連データを発見したことになる。そうではなければステップ3)へ戻る。

入力三面図は完全であれば、円柱プリミティブの可能性値は10ポイントとなる。

4.3.5 円錐プリミティブにおける可能性計算

円錐プリミティブのサンプル三面図は図4.10に示す。

1. 円錐に関する知識の記述

図4.10に示している円錐プリミティブの三面図から以下の特徴を抽出できる。

- 1) 平面図に円 $C(o, R)$ がある。
- 2) 正面図に線分 $L(a, b)$, $L(b, c)$ が存在している。そこで、 $S(a) = S(o) - R$, $S(b) = S(o)$, $S(c) = S(o) + R$, $T(a) = T(c)$ が成り立つ。
- 3) 側面図に線分 $L(d, e)$, $L(e, f)$ が存在している。そこで、 $S(d) = T(o) - R$, $S(e) = T(o)$, $S(f) = T(o) + R$, $T(d) = T(f) = T(a)$ が成り立つ。

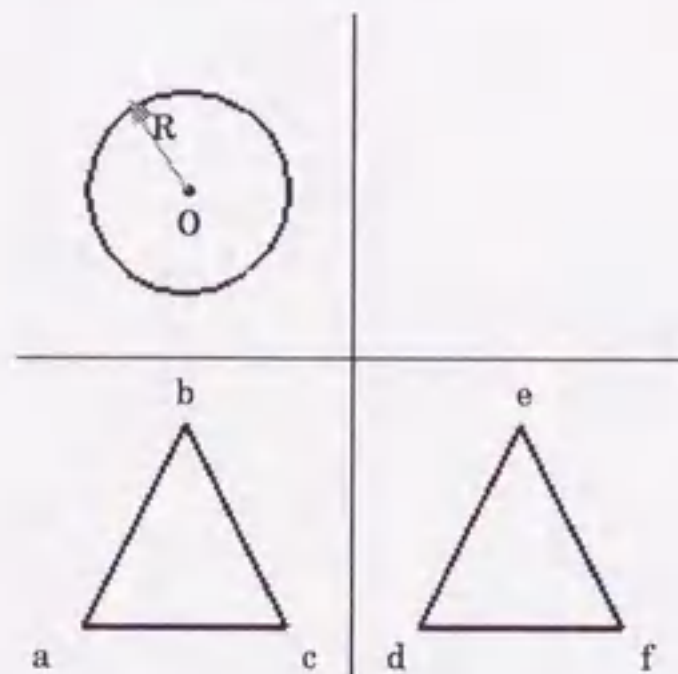


図4.10 円錐プリミティブ三面図サンプル

2. 可能性計算アルゴリズム

図 4.10 に示した三面図の場合、円錐プリミティブにおける可能性計算が平面図から以下のように処理する。

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o, R)$ を探す。見つければ、可能性値を 2 ポイント増やす。見つからなければ、可能性計算を終了する。
- 3) 正面図から $S(a) = S(o) - R$, $S(b) = S(o)$ を満たす未処理の直線線分 $L(a, b)$ を探す。存在しなければ、ステップ 4) へ移る。そうではなければ、可能性値に 1 ポイントを加える。 $P(c)$ の座標値を $S(c) = S(o) + R$, $T(c) = T(a)$ で決め、線分 $L(b, c)$ を探す。その線分が存在すれば、可能性値を 1 ポイント増やす。そして、ステップ 5) へ。
- 4) 正面図から $S(b) = S(o)$, $S(c) = S(o) + R$ を満たす未処理の直線線分 $L(b, c)$ を探す。存在しなければ、ステップ 1) に戻る。そうではなければ、可能性値に 1 ポイントを加える。
- 5) 側面図にある $P(d)$, $P(e)$ と $P(f)$ の座標値を次のように決定する。 $S(d) = T(o) - R$, $S(f) = T(o) + R$, $S(e) = S(o)$, $T(d) = T(f) = T(c)$, $T(e) = T(b)$ 。線分 $L(d, e)$ と $L(e, f)$ を探し、見つけた線分毎に可能性値に 1 ポイントを増やす。
- 6) もし可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば、円錐プリミティブの関連データを発見したことになる。そうではなければステップ 3) へ戻る。

入力三面図は完全であれば、円錐プリミティブの可能性値は 6 ポイントとなる。

4.3.6 切断された円柱における可能性計算

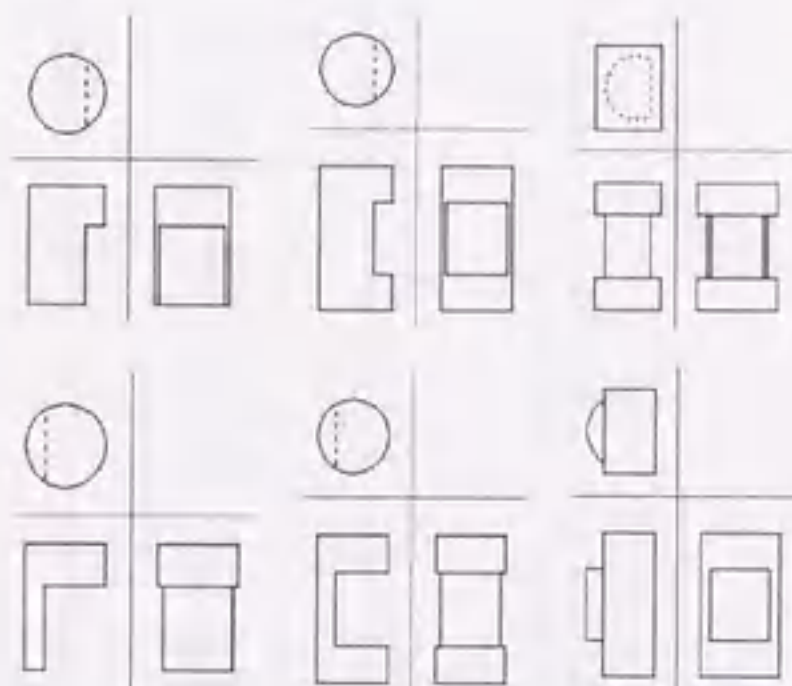


図 4.11 切断された円柱の三面図例

切断された円柱のいくつかの三面図例を図 4.11 示す, これらの三面図から抽出した代表的な 2 種類の三面図の各種パターンは図 4.12 に示す.

1. 切断された円柱に関する知識の記述

図 4.12 に示した三面図から以下の特徴を抽出できる.

- 1) 平面図に $S(d) = S(e)$ が成り立つ円弧 $A(d, e, o, R)$ が存在する.
- 2) 正面図に $S(a1) = S(a2) = S(d)$ という条件を満たす線分 $L(a1, a2)$ がある.
- 3) 正面図に $P(i1)$ と $P(i2)$ を通る垂直線分が存在する. そこで, $S(i1) = S(i2) = S(o) - R$, $T(i1) = T(a1)$, $T(i2) = T(a2)$ が成り立つ.
- 4) 側面図に $S(b1) = S(b2) = T(e)$, $S(c1) = S(c2) = T(d)$, $T(b1) = T(c1) = T(a1)$ と $T(b2) = T(c2) = T(a2)$ を満たす線分 $L(b1, b2)$ と $L(c1, c2)$ がある.
- 5) 円弧 $A(d, e, o, R)$ が大円弧であれば, 側面図に $P(j1)$ と $P(j2)$ または $P(k1)$ と $P(k2)$ を通る垂直線分がそれぞれ存在する. そこで, $S(j1) = S(j2) = T(v1)$, $S(k1) = S(k2) = T(v2)$, $T(j1) = T(k1) = T(b1)$ と $T(j2) = T(k2) = T(b2)$ が成り立つ.

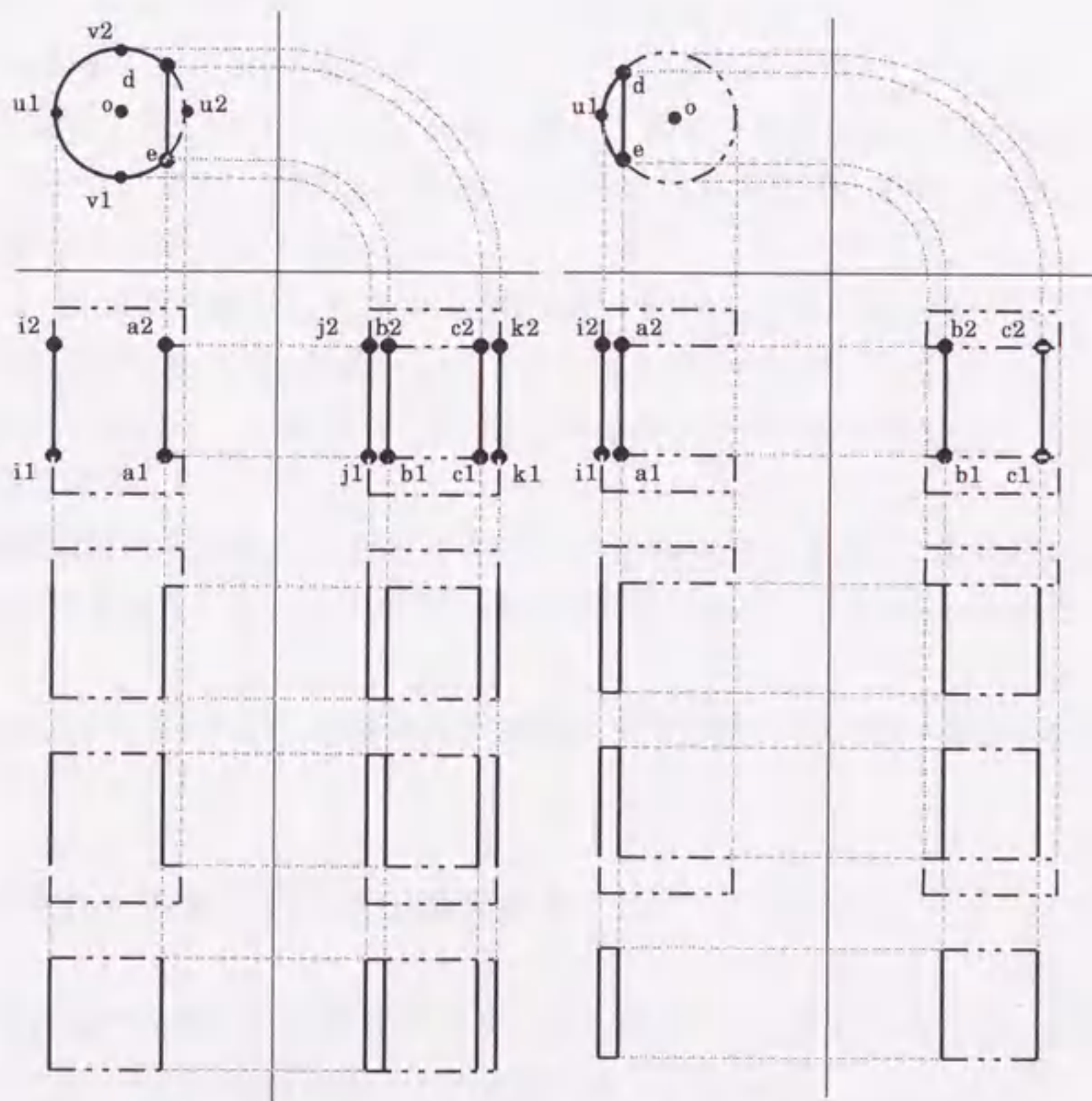


図 4.12 切断された円柱の 2 種類の各種パターン

2. 可能性計算アルゴリズム

図4.12に示した三面図の場合, 切断された円柱における可能性計算が平面図から以下のように処理する.

- 1) 可能性値を0に設定しておく.
- 2) 平面図から未処理の円弧 $A(d, e, o, R)$ を $S(e)=S(d)$ の条件で探す. 見つければ, 可能性値を2ポイント増やす. 見つからなければ, 可能性計算を終了する.
- 3) 正面図から $S(a1) = S(a2) = S(d)$ を満たす未処理の直線線分 $L(a1, a2)$ を探す. 存在しなければ, ステップ4)へ移る. そうでなければ, 可能性値に1ポイントを加える. ステップ5)へ.
- 4) 正面図に始点か終点を $P(a1)$ または $P(a2)$ とした唯一な水平線分が存在すれば, $L(a1, a2)$ が不足すると認識し, 可能性値を1ポイント増やす. そうでなければ, ステップ1)に戻る.
- 5) $P(i1)$ と $P(i2)$ の座標値を $S(i1) = S(i2) = S(o) - R$, $T(i1) = T(a1)$, $T(i2) = T(a2)$ で決め, $P(i1)$, $P(i2)$ を通る線分があれば, 1ポイントを可能性値に足す.
- 6) 側面図にある $P(b1)$, $P(b2)$, $P(c1)$ と $P(c2)$ の座標値を次のように決定する. $S(b1) = S(b2) = T(e)$, $S(c1) = S(c2) = T(d)$, $T(b1) = T(c1) = T(a1)$, $T(b2) = T(c2) = T(a2)$. 線分 $L(b1, b2)$ と $L(c1, c2)$ を探し, 見つけた線分毎に可能性値に1ポイントを増やす. また, 点 $P(b1)$ と $P(c1)$ あるいは点 $P(b2)$ と $P(c2)$ を通る線分毎に可能性値にも1ポイントを加える.
- 7) $A(d, e, o, R)$ は大円弧である場合, 側面図に $P(j1)$, $P(j2)$ または $P(k1)$, $P(k2)$ を通った線分につき, 可能性値を1ポイント加える. そこで, $S(j1) = S(j2) = T(o) - R$, $S(k1) = S(k2) = T(o) + R$, $T(j1) = T(k1) = T(b1)$ および $T(j2) = T(k2) = T(b2)$ が成り立つ.
- 8) もし可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば, 切断された円柱の関連データを発見したことになる. そうでなければステップ3)へ戻る.

入力三面図は完全であれば, 切断された円柱の可能性値は大円弧の場合10, 小円弧の場合は8ポイントとなる.

4.3.7 切断された円錐における可能性計算

切断された円錐の代表的な2種類のパターンを図4.13に示す. ここで, 側面図にある線分 $L(i, j)$ と $L(j, 1)$ は曲線を近似表現したものである.

1. 切断された円錐に関する知識の記述

図4.13に示した三面図から以下の特徴を抽出できる.

- 1) 平面図に $S(a) = S(b)$ が成り立つ円弧 $A(a, b, o, R)$ が存在する.
- 2) $A(b, a, o, R)$ は大円弧である場合, 正面図に線分 $L(c, d)$, $L(d, f)$, $L(e, f)$ がある. そこで, $S(e) = S(f) = S(a)$, $S(c) = S(o) - R$, $S(d) = S(o)$, $T(c) = T(e)$ という条件を満たす. さらに, $L = T(d) - T(e)$, $H = T(f) - T(e)$, $M = S(a) - S(o)$ とすると, $L/H = R/(R-M)$ が成り立つ.
- 3) $A(b, a, o, R)$ は小円弧である場合, 正面図に線分 $L(c, f)$, $L(e, f)$ が存在する. そこで, $S(e) = S(f) = S(a)$, $S(c) = S(o) - R$, $T(c) = T(e)$ ということが成り立つ.
- 4) 側面図に線分 $L(i, j)$, $L(j, l)$ が存在する. そこで, $S(i) = T(a)$, $S(j) = T(o)$, $S(l) = T(b)$, $T(j) = T(e)$, $T(i) = T(l) = T(e)$ が成り立つ.
- 5) $A(b, a, o, R)$ は大円弧であれば, 側面図に線分 $L(h, k)$, $L(k, m)$ が存在する. そこで, $S(h) = T(o) - R$, $S(k) = T(o)$, $S(m) = T(o) + R$, $T(k) = T(d)$, $T(h) = T(m) = T(e)$ が成り立つ.

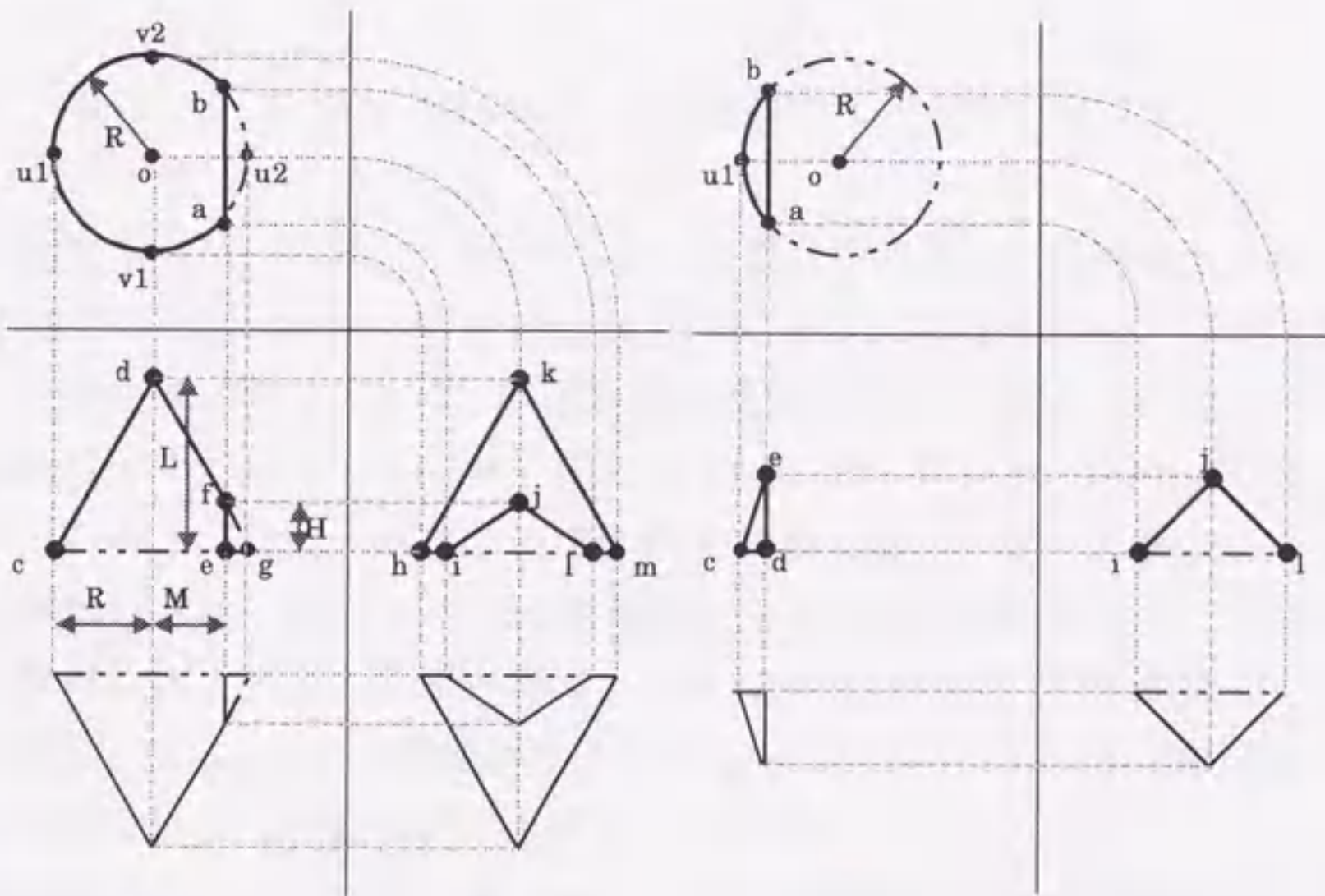


図4.13 切断された円錐の2種類のパターン

2. 可能性計算アルゴリズム

図4.13に示した三面図の場合, 切断された円錐における可能性計算が平面図から

以下のように処理する。

- 1) 可能性値を0に設定しておく。
- 2) 平面図から未処理の円弧 $A(b, a, o, R)$ を $S(a) = S(b)$ の条件で探す。見つければ、可能性値を2ポイント増やす。見つからなければ、可能性計算を終了する。
- 3) $A(b, a, o, R)$ は大円弧であれば、ステップ4)へ移る。そうではなければ、ステップ7)へ移動する。
- 4) 正面図から $S(e) = S(f) = S(a)$ を満たす未処理の直線線分 $L(e, f)$ を探す。存在しなければ、ステップ5)へ移る。そうではなければ、可能性値に1ポイントを加える。次に、 $P(c)$ の座標値は $T(c) = T(e)$, $S(c) = S(o) - R$ で決定する。 $M = S(a) - S(o)$, $H = T(f) - T(e)$ になり、 $S(d) = S(o)$ かつ $L = T(d) - T(e)$ とすると、 $L/H = R/(R-M)$ を成り立たせる線分 $L(c, d)$ と $L(d, f)$ を探す。見つけた線分毎につき、可能性値を1ポイント増加する。そして、ステップ9)へ。
- 5) 正面図から $S(c) = S(o) - R$, $S(d) = S(o)$ を満たす未処理の直線線分 $L(c, d)$ を探す。存在しなければ、ステップ6)へ移る。そうではなければ、可能性値に1ポイントを増やす。次に、 $P(f)$ の座標値は $S(f) = S(a)$, $T(f) = T(c) + H$ で決定する。そこで、 $H = L(R-M)/R$, $L = T(d) - T(c)$, $M = S(a) - S(o)$ が成り立つ。線分 $L(d, f)$ が存在すれば、可能性値を1ポイント増加する。そして、ステップ9)へ移る。
- 6) 正面図から $S(d) = S(o)$, $S(f) = S(a)$ を満たす未処理の直線線分 $L(d, f)$ を探す。存在しなければ、ステップ1)に戻る。そうではなければ、可能性値に1ポイントをプラスする。次に、 $P(e)$ の横座標値は $S(e) = S(a)$ で、また、 $P(e)$ の縦座標値は $L = T(d) - T(e)$, $M = S(a) - S(o)$, $H = T(f) - T(e)$ と $L/H = R/(R-M)$ から、 $T(e) = T(d) - R(T(d) - T(f))/M$ で求める。ステップ9)へ。
- 7) 正面図から $S(e) = S(f) = S(a)$ を満たす未処理の直線線分 $L(e, f)$ を探す。存在しなければ、ステップ8)へ移る。そうではなければ、可能性値に1ポイントを増やす。次に、 $P(c)$ の座標値は $T(c) = T(e)$, $S(c) = S(o) - R$ で決定する。 $L(c, f)$ が存在すれば、可能性値に1ポイントを加え、ステップ9)へ。
- 8) 正面図から $S(c) = S(o) - R$, $S(f) = S(a)$ を満たす未処理の線分 $L(c, f)$ があれば、可能性値を1ポイント増やし、ステップ9)へ移る。そうではなければ、ステップ1)に戻る。
- 9) 側面図に $P(i)$, $P(j)$, $P(l)$ の座標値は次のように決定する。 $S(i) = T(a)$, $S(l) = T(b)$, $S(j) = S(o)$, $T(i) = T(l) = T(e)$, $T(j) = T(f)$ 。線分 $L(i, j)$ と $L(j, l)$ を探す。見つけた線分毎に可能性値を1ポイント増やす。また、 $A(b, a, o, R)$ は大円弧である場合、 $P(k)$, $P(h)$ と $P(m)$ の座標値は $S(h) = T(o) - R$, $S(m) = T(o)$

+ R, $S(k) = S(o)$, $T(h) = T(m) = T(e)$, $T(k) = T(d)$ で求める. 線分 $L(h, k)$ と $L(k, m)$ が存在すれば, それぞれ可能性値に1ポイントを加える.

- 10) もし得られた可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば, 切断された円錐の関連データを発見することとし, そうではなければステップ3)へ戻る.

入力三面図は完全であれば, 切断された円錐の可能性値は大円弧の場合9, 小円弧の場合は6となる.

4.3.8 球冠における可能性計算

球冠の三面図例を図4.14に示す.

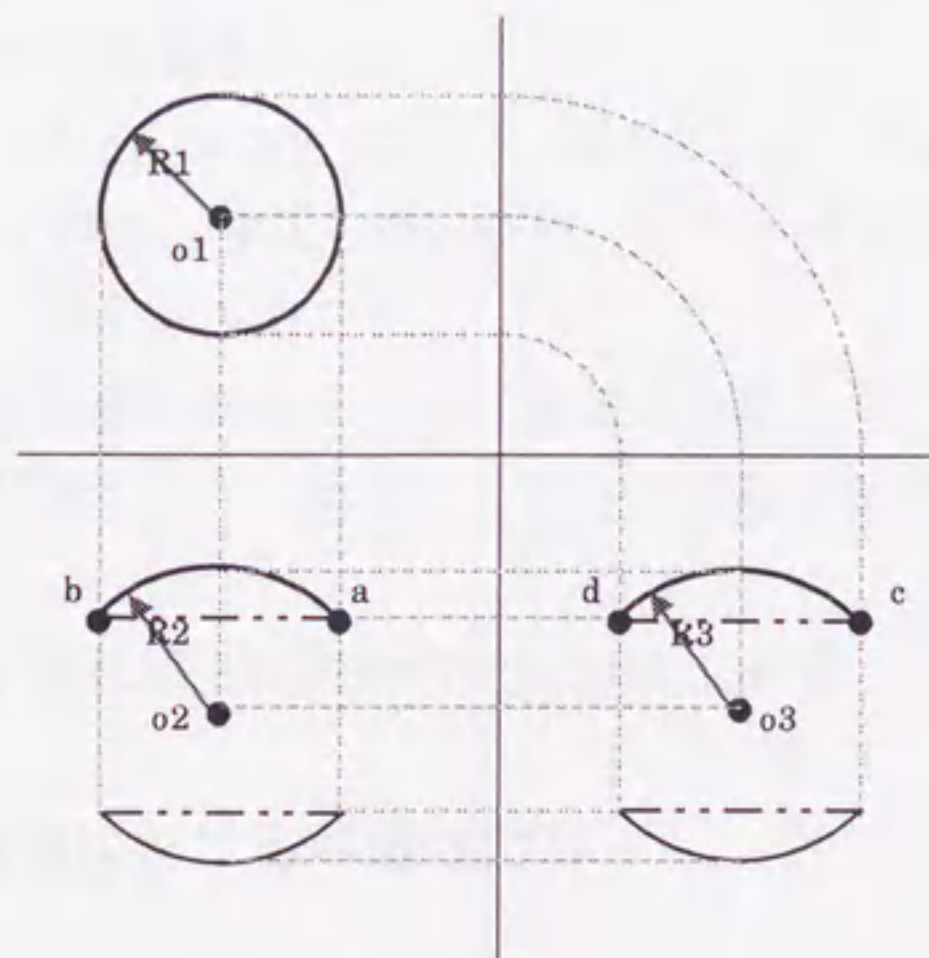


図4.14 球冠の三面図例

1. 球冠プリミティブに関する知識の記述

図4.14に示した三面図から以下の特徴を抽出できる.

- 1) 平面図に円線分 $C(o1, R1)$ が存在する.
- 2) 正面図に円弧 $A(a, b, o2, R2)$ が存在する. そこで, $S(a) = S(o1) + R1$, $S(b) = S(o1) - R1$, $T(a) = T(b)$, $T(o1) = T(o2)$.
- 3) 側面図に円弧 $A(c, d, o3, R3)$ が存在する. そこで, $S(c) = T(o1) + R1$, $S(b) =$

$T(o1) - R1, T(c) = T(d) = T(a), S(o3) = T(o1), T(o3) = T(o2), R3 = R2$ が成り立つ。

2. 可能性計算アルゴリズム

図 4.14 に示した三面図の場合、球冠プリミティブにおける可能性計算が平面図から以下のように処理する。

- 1) 可能性値を 0 に設定しておく。
- 2) 平面図から未処理の円 $C(o1, R1)$ を探す。見つければ、可能性値を 1 ポイント増やす。見つからなければ、可能性計算を終了する。
- 3) 正面図から $S(a) = S(o1) + R1, S(b) = S(o) - R, T(a) = T(b)$ を満たす未処理の円弧線分 $A(a, b, o2, R2)$ を探す。存在しなければ、ステップ 4) へ移る。そうでなければ、可能性値に 1 ポイントを増やし、側面図にある $P(c)$ と $P(d)$ の座標値を $S(c) = T(o1) + R1, S(d) = T(o1) - R1, T(c) = T(d) = T(a)$ で求め、 $R3 = R2$ を満たす円弧 $A(c, d, o3, R3)$ が存在すれば、可能性値を 1 ポイント増やす。そして、ステップ 5) へ移る。
- 4) 側面図に $S(c) = T(o1) + R1, S(d) = T(o1) - R1, T(c) = T(d)$ を満たす円弧 $A(c, d, o3, R3)$ を探す。存在しなければ、ステップ 1) に戻る。そうではなければ、可能性値を 1 ポイント増やす。
- 5) もし得られた可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば、球冠の関連データを発見したことになる。そうではなければステップ 3) へ戻る。

入力三面図は完全であれば、球冠の可能性値は 3 ポイントとなる。

4.3.9 切断された球冠における可能性計算

切断された球冠に代表的な 2 種類の三面図の各種パターンは図 4.15 に示す。

1. 切断された球冠に関する知識の記述

図 4.15 に示した三面図から以下の特徴を抽出できる。

- 1) 平面図に $S(a) = S(b)$ を満たす円弧 $A(b, a, o1, R1)$ が存在する。
- 2) 正面図に円弧 $A(d, c, o2, R2)$ が存在する。そこで、 $S(d) = S(a), S(c) = S(o1) - R1, S(o2) = S(o1), T(d) > T(c)$ 。
- 3) 正面図に線分 $L(u, d)$ が存在する。そこで、 $S(u) = S(d), T(u) = T(c)$ 。
- 4) 側面図に円弧 $A(g, f, o3, R3)$ が存在する。そこで、 $S(f) = T(a), S(g) = T(b), T(f) = T(g) = T(c), S(o3) = T(o1), T(o3) = T(o2), R3 = T(d) - T(o2)$ が成り立つ。さらに、 $A(b, a, o1, R1)$ は大円弧の場合、 $S(e) = T(o1) - R1, S(h) =$

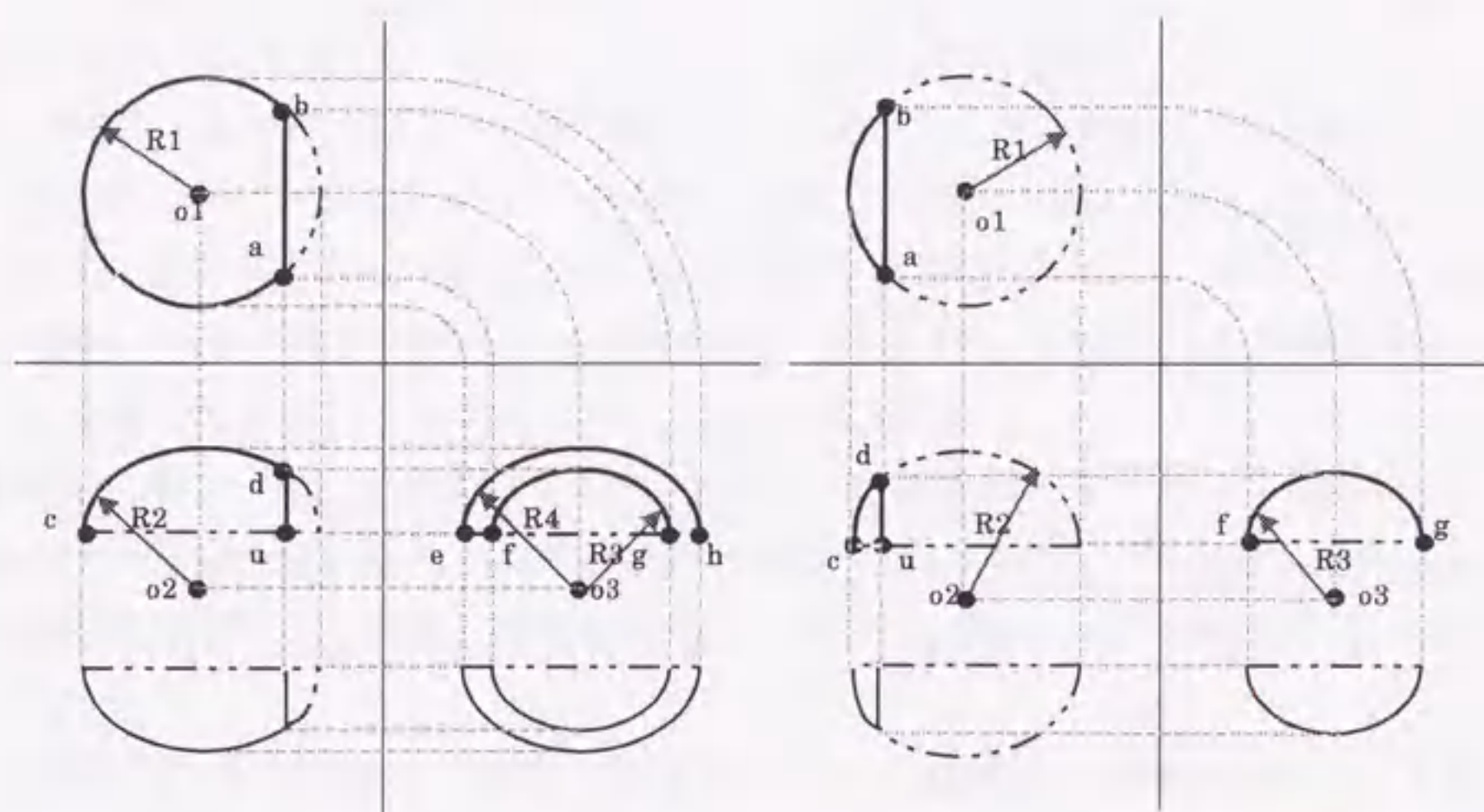


図 4.15 切断された球冠の三面図のパターン

$T(o1) + R1$, $T(e) = T(h) = T(c) = T(f)$, $R4 = R2$ を満たす円弧 $A(h, e, o3, R4)$ が存在する.

2. 可能性計算アルゴリズム

図 4.15 に示した三面図の場合、切断された球冠における可能性計算が平面図から以下のように処理する.

- 1) 可能性値を 0 にセットしておく.
- 2) 平面図から $S(a) = S(b)$ を満たす未処理の円弧 $A(b, a, o1, R1)$ を探す. 見つければ、可能性値を 2 ポイント増やす. 見つからなければ、可能性計算を終了する.
- 3) 正面図に $S(d) = S(a)$, $S(c) = S(o1) - R1$, $S(o2) = S(o1)$, $T(d) > T(c)$ という条件を満たす未処理の円弧 $A(d, c, o2, R2)$ を探す. そのような円弧がなければ、ステップ 4) に移る. そうでなければ、可能性値を 1 ポイント増やす. $P(u)$ の座標値を $S(u) = S(a)$, $T(u) = T(a)$ で求めておく. 次は側面図に $S(f) = T(a)$, $S(g) = T(b)$, $T(f) = T(g) = T(c)$, $S(o3) = T(o1)$, $T(o3) = T(o2)$, $R3 = T(d) - T(o2)$ を満たす円弧 $A(g, f, o3, R3)$ を探す. 見つければ、可能性値に 1 ポイントを加える. また、 $A(b, a, o1, R1)$ は大円弧であれば、 $S(e) = T(o1) - R1$, $S(h) = T(o1) + R1$, $T(e) = T(h) = T(c) = T(f)$, $R4 = R2$ を満たす円弧 $A(h, e, o3, R4)$ が存在すれば、可能性値に 1 ポイントを足す. ステップ 5) に移る.

- 4) 側面図から $S(f) = T(a)$, $S(g) = T(b)$, $T(f) = T(g)$, $S(o3) = T(o1)$ を満たす未処理の円弧 $A(g, f, o3, R3)$ を探す. そのような円弧がなければ, ステップ 1) に戻る. 見つければ, 可能性値を 1 ポイント増やす. $P(d)$ と $P(u)$ の座標値をそれぞれ $S(d) = S(a)$, $T(d) = T(o3) + R3$, $S(u) = S(a)$, $T(u) = T(f)$ で求めておく. さらに, $A(b, a, o1, R1)$ は大円弧であれば, $S(e) = T(o1) - R1$, $S(h) = T(o1) + R1$, $T(e) = T(h) = T(f)$ を満たす円弧 $A(h, e, o3, R4)$ が存在すれば, 可能性値に 1 ポイントを足す. ステップ 5) に移る.
- 5) 正面図に線分 $L(u, d)$ を探す. 見つければ, 可能性値を 1 ポイント増やす.
- 6) 得られた可能性値はあらかじめ設定されたしきい値以上であれば, 切断された球冠の関連データを発見したことになる. そうではなければステップ 3) へ戻る.

入力三面図は完全であれば, 切断された球冠の可能性値は大円弧の場合 5, 小円弧の場合 4 となる.

4.4 曲面プリミティブの決定方法

完全な三面図に対して, それぞれの曲面プリミティブの可能性値は 4.3 節に述べた. しかし, 入力図面に関連線分が不足している際に得られた可能性値はそれより小さくなるはずである. その時, 各曲面プリミティブを決定するために, 人間の推定過程を模倣する. まず, 各曲面プリミティブを判定するための可能性値におけるしきい値を設定しておく. 得られた特定の曲面プリミティブの可能性値がそのしきい値以上であれば, その曲面プリミティブデータは入力図面に存在してであると推定する. さもなければ, その曲面プリミティブデータは三面図に存在し得ないと判断する. 完全な三面図でなくても, 曲面プリミティブに関する可能性値計算は行えることにより, 入力図面に不足線分があっても, 立体の推定は可能である.

第3章に紹介した方法では, 矛盾を解決するため, その矛盾の種類を特定してから, 解決方法を決定する. それと違って, 知識に基いた方法では, 具体的な矛盾を解析するよりも, 三面図の全体から総合的に観察するという特徴がある.

それぞれの曲面プリミティブにおける完全な入力図面ときの可能性値と本論文で設定したしきい値を表 4.1 に示す. そのしきい値は必要に応じて変更できることに注目されたい.

一方, 可能性値計算手続きから分かるように, ある曲面プリミティブに対して, 一定の強い条件を満たさなければならない. 例えば, 3 円柱相貫体を確定するために, 各図面に少なくとも, 関連な円または特徴線分は 1 本以上がなければならない.

表 4.1 各種曲面プリミティブに関するしきい値

CSG プリミティブ	可能性値	
	完全な三面図	しきい値
3 円柱相貫体	18	9
2 円柱相貫体	12	7
球, 半球, 1/4 球, 1/8 球	3	2
円柱	6	5
円錐	6	4
球冠	3	2
切断された球冠 (大円弧)	5	3
切断された球冠 (小円弧)	4	3
切断された円柱 (大円弧)	10	6
切断された円柱 (小円弧)	8	5
切断された円錐 (大円弧)	9	5
切断された円錐 (小円弧)	6	4

4.5 システムの実装

我々は提案した方法に基づいて C 言語および OpenGL で Windows NT 上にシステム実装した。そのシステムの入力は矛盾を含む三面図ファイル、出力は自由に回転できる合成立体である。入力三面図ファイルから合成した立体を出力する処理の流れを図 4.16 に示す。

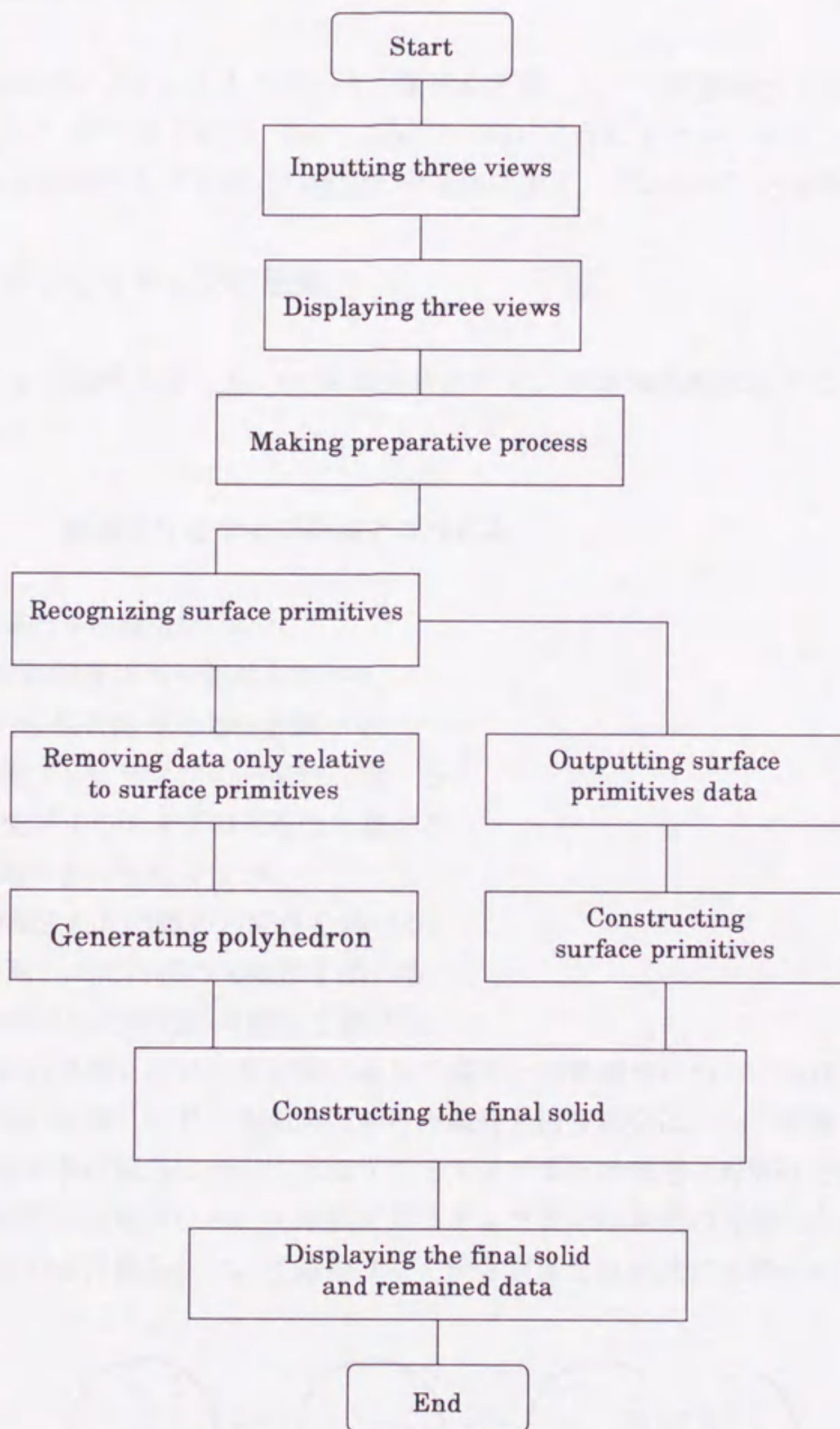


図 4.16 システムの処理の流れ図

4.5.1 前処理

入力三面図ファイルから入力データを読込んだ後、全ての直線線分 $L(x, y)$ に対して $S(x) < S(y)$ または $S(x) = S(y)$, $T(x) < T(y)$ ようにリセットする。その上、処理状態を示す処理フラグを全ての線分の構造体に加え、“unused”と初期化する。

4.5.2 曲面プリミティブの認識

三面図から可能性計算に基いた曲面プリミティブの認識過程は以下に示すアルゴリズムで行う。

曲面プリミティブ認識アルゴリズム

- 1 平面図の各円線分について
 - a) 3円柱相貫体の可能性を調べる。
 - b) 2円柱相貫体の可能性を調べる。
 - c) 円錐プリミティブの可能性を調べる。
 - d) 円柱プリミティブの可能性を調べる。
- 2 平面図の各円弧線分について
 - a) 切断された円錐の可能性を調べる。
 - b) 切断された円柱の可能性を調べる。
 - c) 切断された球冠の可能性を調べる。
- 3 平面図の処理と同じ、正面図にある円線分と円弧線分について処理する。
- 4 平面図の処理と同じ、側面図にある円線分と円弧線分について処理する。
- 5 平面図の各円線分について球面プリミティブまたは球冠の可能性を調べる。
- 6 正面図の各円線分について球面プリミティブまたは球冠の可能性を調べる。
- 7 側面図の各円線分について球面プリミティブまたは球冠の可能性を調べる。

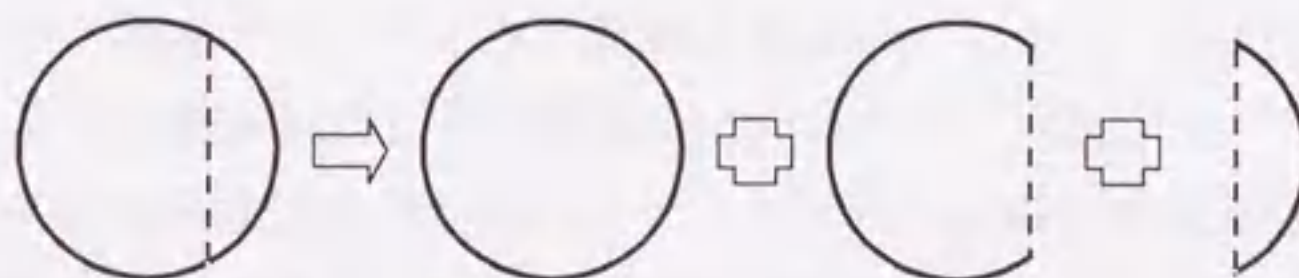


図 4.17 内部に線分が存在する場合

上の各処理は新しいプリミティブが生成できなくなるまで繰り返して行う。図4.17に示す内接に線分をもつ円は1つの円と2つの円弧として処理する。

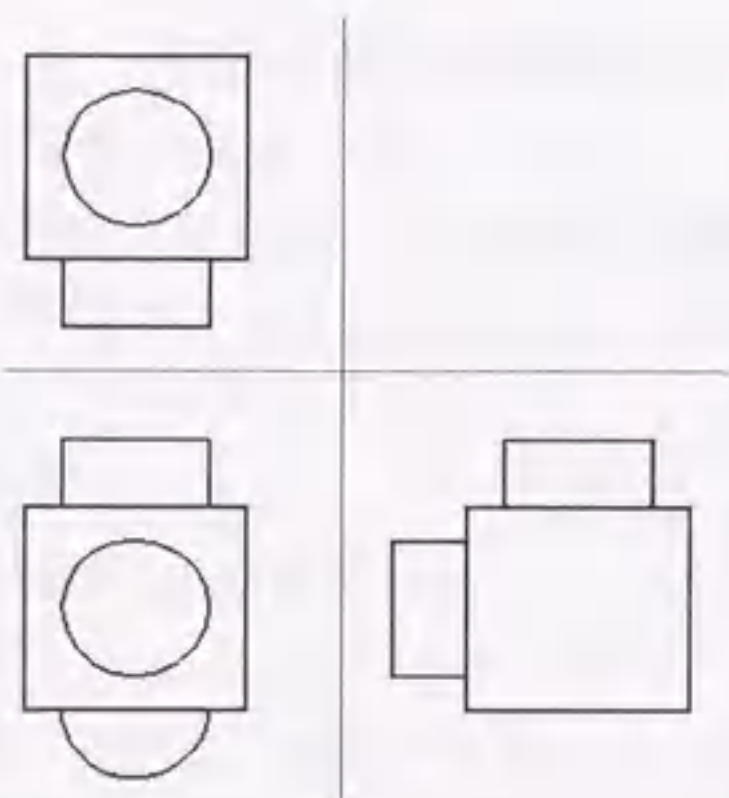


図 4.18 曲面プリミティブの決定

曲面プリミティブの認識は各面図から順番に行うため、同じプリミティブは何回も生成されてしまうこともあり得る。例えば、3円柱相貫体の場合では、どの図面からも同じプリミティブを得ることができる。さらに、偽プリミティブが生成されてしまう可能性もある。例えば、図4.18に示す三面図では、平面図の円線分は球プリミティブにおける可能性値は2ポイントとなり、球プリミティブのしきい値以上であるので、実際に存在していない球プリミティブが生成されてしまう。このような不都合を避けるために、プリミティブは確定された後、関連データの処理フラグを“used”とマークする。そうすると、新たなプリミティブを確定するとき、その関連データに少なくとも一つのデータの処理フラグは“unused”のままでなければならない。

そうすると、図4.18に示している三面図を処理するとき、平面図の円線分は3円柱相貫体、2円柱相貫体および円錐プリミティブにおける可能性値はそれらのしきい値より小さいので、関連プリミティブが認識されない。しかし、その円線分は円柱プリミティブにおける可能性値がしきい値以上になるので、円柱プリミティブが生成される。そのとき、その円線分が“used”とマークされた。続いて正面図の円弧線分を処理し、平面図の円弧線分と同じ、円柱プリミティブのデータと認識され、“used”とマークされた。正面図にある円弧線分は切断された円柱、切断された円錐と切断された球冠における可能性値は、すべてそれらのしきい値より小さいので、何も生成さ

れない。また、側面図に曲線線分がないため、何の処理もしない。そして、再び平面図に戻り、平面図にある円線分が球プリミティブまたは球冠と対応するかどうかを調べる。その円線分は正面図の円線分と一緒に球面プリミティブにおける可能性値をしきい値以上にさせるが、2つ円線分とも“used”であるため、新しい曲面プリミティブと認識されない。その一方、平面図にある円線分は正面図にある“unused”円弧線分と一緒に計算した半球の可能性値は2ポイントであり、半球のしきい値(2ポイント)以上になっておりかつそのプリミティブを構成する線分に“unused”であるものがあるため、新しいプリミティブとして生成される。図4.18の三面図から生成した立体を4.6節の例1に示す。

4.5.3 CSG プリミティブデータの出力

CSG プリミティブを確認した時点、関連データを三面図から分離する。その時、システムは不足するデータを自動的に補い、関連データの修正も行う。代表的な例を図4.19に示す。P(g)–P(f)以上の部分はプリミティブのデータとして図面から分離する場合、線分L(g, c)のデータを出力データに加え、線分L(c, f)をマスクし、線分L(g, f)を図面に追加する。P(g)–P(f)以下の部分を分離すると、線分L(g, f)のデータを出力データに加え、線分L(c, f)をマスクにし、線分L(g, c)を図面に追加する。さらに、いずれの場合も、線分L(a, b)は点P(g)で2本に分割される。一本はCSGプリミティブのデータとして出力され、もう一本は図面に残す。

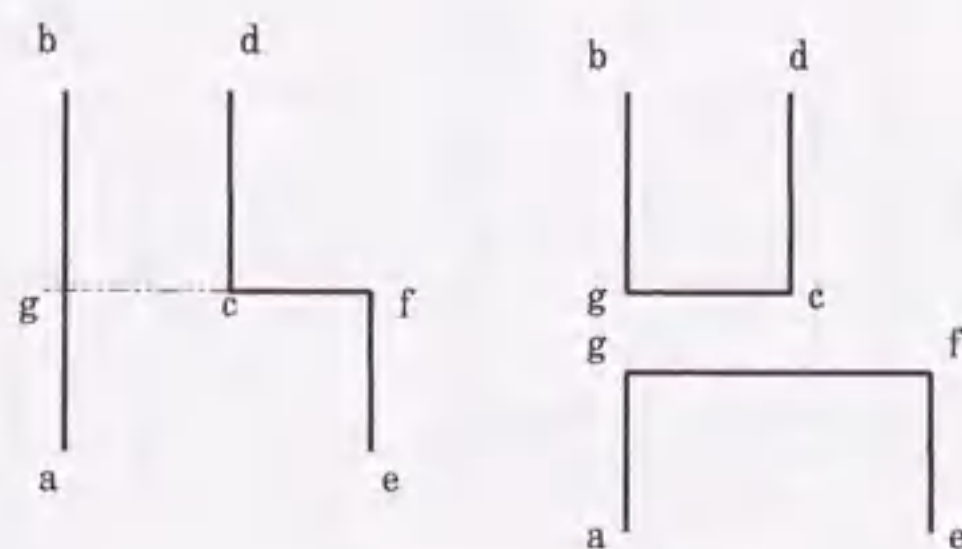


図4.19 三面図からデータの分離

また、2円柱相貫体または3円柱相貫体の関連データを三面図から分離するとき、各円柱の長さを決定しなければならない。例えば、図4.20に示している三面図から2

円柱相貫体に関連データを分離する場合、平面図および正面図において、水平方向に $X1$ から $X2$ までの部分、また、正面図と側面図において、垂直方向に $Y1$ から $Y2$ の部分は2円柱相貫体に属することは明らかである。そのとき、 $X1$, $X2$ を表す横座標、または $Y1$, $Y2$ を表す縦座標をそれぞれ $S(x1)$, $S(x2)$, $T(y1)$, $T(y2)$ とすると、 $S(x1)$ は以下の手続きで決定できる。

1. $S(x1)$ を-1にする。
2. 平面図に $P(u1)$ を通る円線分の水平接線 $L(a, c)$ が存在すれば、 $S(x1) = S(a)$ とする。
3. 平面図に $P(u2)$ を通る円線分の水平接線 $L(b, d)$ が存在すれば、 $S(b)$ を求める。もし $S(x1) < 0$ または $S(x1) > 0$ かつ $S(x1) < S(b)$ であれば、 $S(x1) = S(b)$ とする。
4. 正面図に $P(h)$ を終点とする水平線 $L(e, h)$ が存在する場合、 $S(e)$ を求める。もし $S(x1) < 0$ または $S(x1) > 0$ かつ $S(x1) < S(e)$ であれば、 $S(x1) = S(e)$ とする。

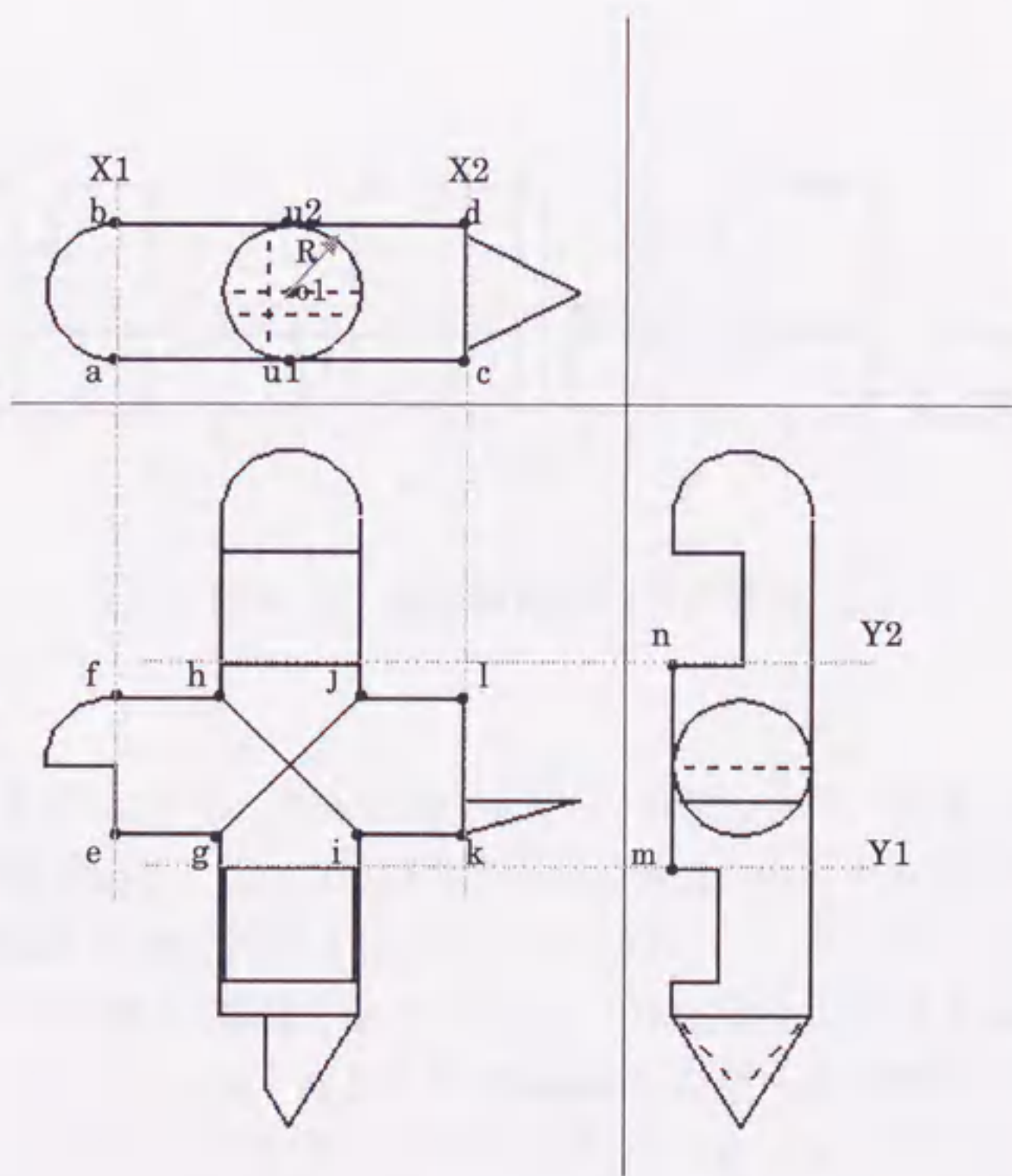


図 4.20 三面図から2円柱相貫体データの確定

5. 正面図に $P(i)$ を終点とする水平線 $L(f, i)$ が存在する場合, $S(f)$ を求める. もし $S(x1) < 0$ または $S(x1) > 0$ かつ $S(x1) < S(f)$ であれば, $S(x1) = S(f)$ とする.

6. $S(x1) < 0$ であれば, $S(x1) = S(o1) - R$ とする.

$S(x2)$ または $T(y1)$, $T(y2)$ についても同様の方法で決定できる. また, 三面図から 3 円柱相貫体の関連データを分離するときも同じ手法で行う. 実際の例は 4.6 節の例 2 に示されている.

4.5.4 多面体の生成

全ての CSG プリミティブ認識された後, 円と円弧データは三面図から削除する. “used” とフラグの付いた直線線分の各データに対し, 他の 2 つ面図に対応する “unused” のデータと同時に存在するかどうかによって, それらの円・円弧削除後に継続して存在する可能性を調べる. 対応する線分があれば, 多面体のデータと認識し, フラグ “unused” とリセットする. そうでなければ, そのデータは円または円弧だけにした対応しないと考え, 三面図から削除する.

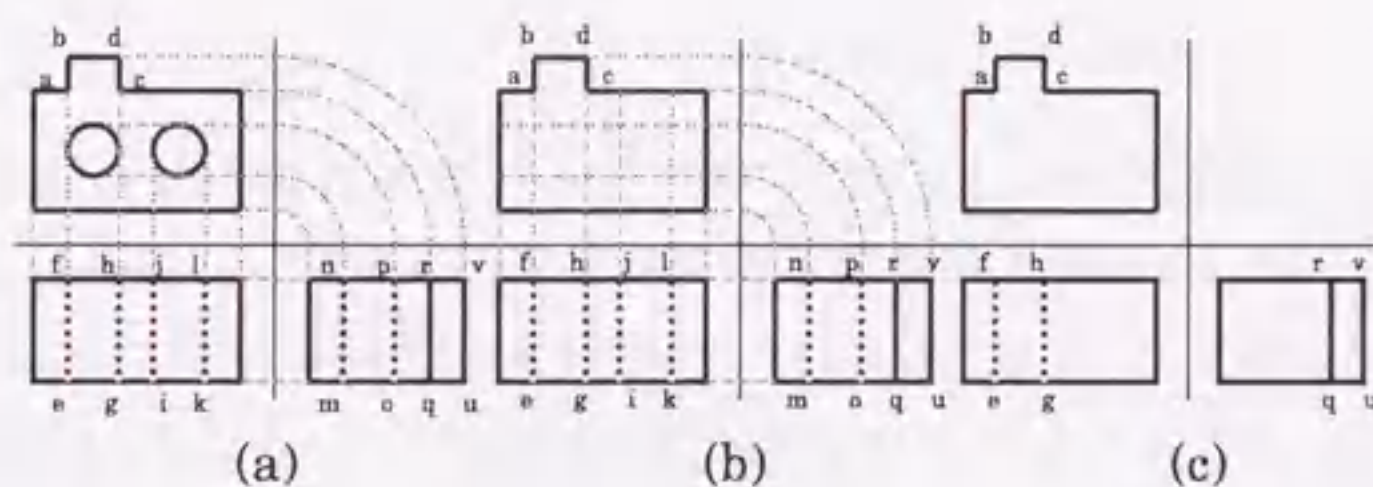


図 4.21 多面体用データの確定

1 つの例を図 4.21 に示す. 図 4.21(a) は入力三面図である. 図 4.21(b) は円データが削除された図面である. 図 4.21(c) は多面体の構成に使用する図面である. 円柱プリミティブを確認した後, 線分 $L(e, f)$, $L(g, h)$, $L(i, j)$, $L(k, l)$, $L(m, n)$ と $L(o, p)$ は “used” が付く. 線分 $L(e, f)$ と $L(g, h)$ は平面図にある $L(a, b)$, $L(c, d)$, 側面図にある $L(q, r)$, $L(u, v)$ という “unused” なデータと同時に対応しているため, “unused” とリセットされる. その一方, $L(i, j)$, $L(k, l)$, $L(m, n)$ と $L(o, p)$ はそのように同時に “used” の付いたデータと対応しないため, 三面図から除去される.

4.5.5 最終的な立体の合成

CSG プリミティブは可能性計算によってそれぞれ独立に生成される。多面体は[70][71]に紹介した方法を用いて構成される。そして、最後の立体は[72][73]に紹介した方法で CSG プリミティブと多面体を組合せて合成する。立体を推定するアルゴリズムをC言語で、そして、入力三面図と出力3次元立体の理解を容易にするための三面図と立体の表現用プログラムをOpenGLでWindows NTの上で実装し、システムを構築した。ユーザが構成した3次元立体をキーボードで自由に回転させながら観察できる。図面に残留したデータはエラー分析の情報として出力する。

4.6 実験結果

我々は構築したシステムを用いて実際の三面図から立体の生成実験を行った。ここでは、代表性がある8つ例をあげる。

4.6.1 例1

図4.22は図4.18に示した曲面プリミティブの決定という三面図からの立体生成例である。図(a)は側面図に不足円弧が存在する不整合な三面図で、図(b)は完全な三面図である。図(a)、(b)から不足円弧を補い、(1)、(2)と(3)の3つの三面図を分離した。そして、図(1)、(2)と(3)から生成した曲面プリミティブをそれぞれ図(1P)、(2P)と(3P)に示す。残した線分の図(4)から多面体を生成した。図(1P)、(2P)と(3P)のプリミティブと多面体を組合せ、最終の立体を合成する。この例は曲面プリミティブの決定の手法が確認できた。

4.6.2 例2

図4.23(b)は完全な三面図で、図(a)では、不足線分、余分な線分と線種の指定が誤った線分がある不整合な三面図である。可能性計算で切断された円柱を確定することができた後、不足線分が加えられる同時、切断された円柱の平面図にある大円弧線分のかたちから、正面図にある線分が破線か実線かを判断できる。図面にある関連線分の種類と矛盾すれば、それを直していく。図4.23(1)、(2)、(3)と(4)の4つの三面図は図(a)または(b)から分離してできた三面図である。一度も使っていない線分は余

分な線分と認識し，図(5)に残る．図(1)，(2)，(3)と(4)からそれぞれのプリミティブ(1P)，(2P)，(3P)と(4P)を生成し，これらのプリミティブを組合せた後，切断された円柱が合成できる．ここでは，不足線分が追加されと種類が誤っている線分が改正されたことは確認できた．

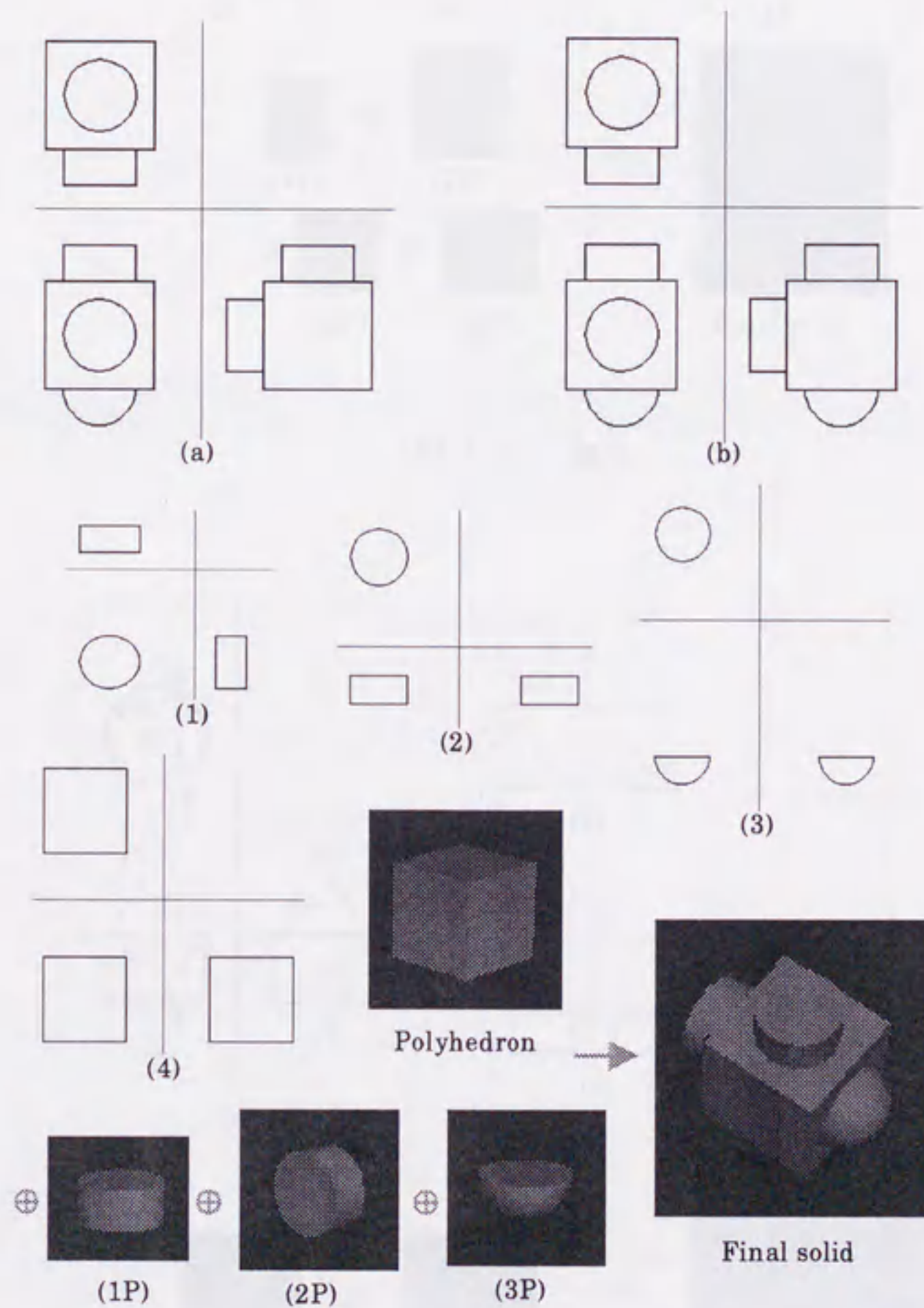


図 4.22 例 1

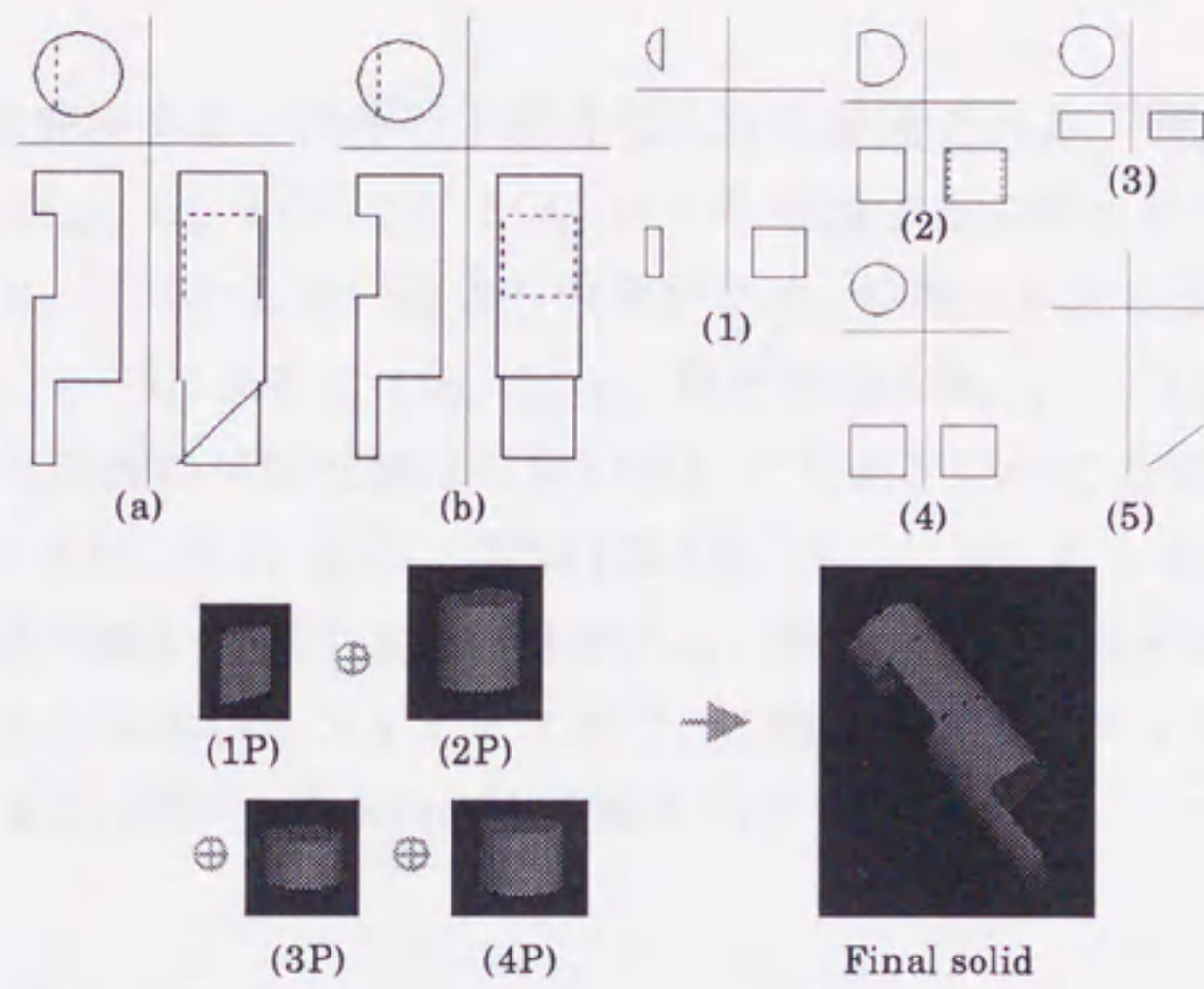


図 4.23 例 2

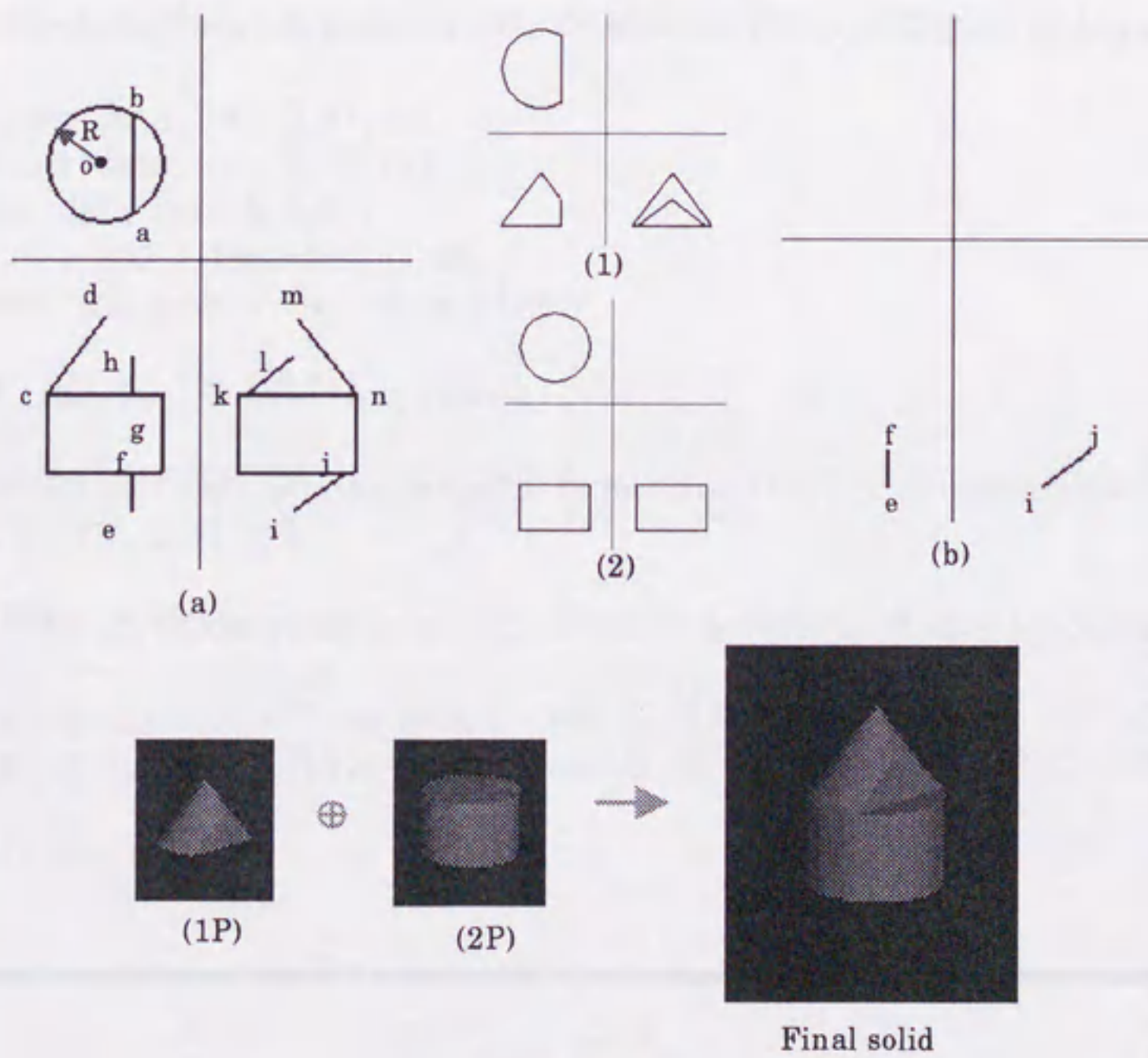
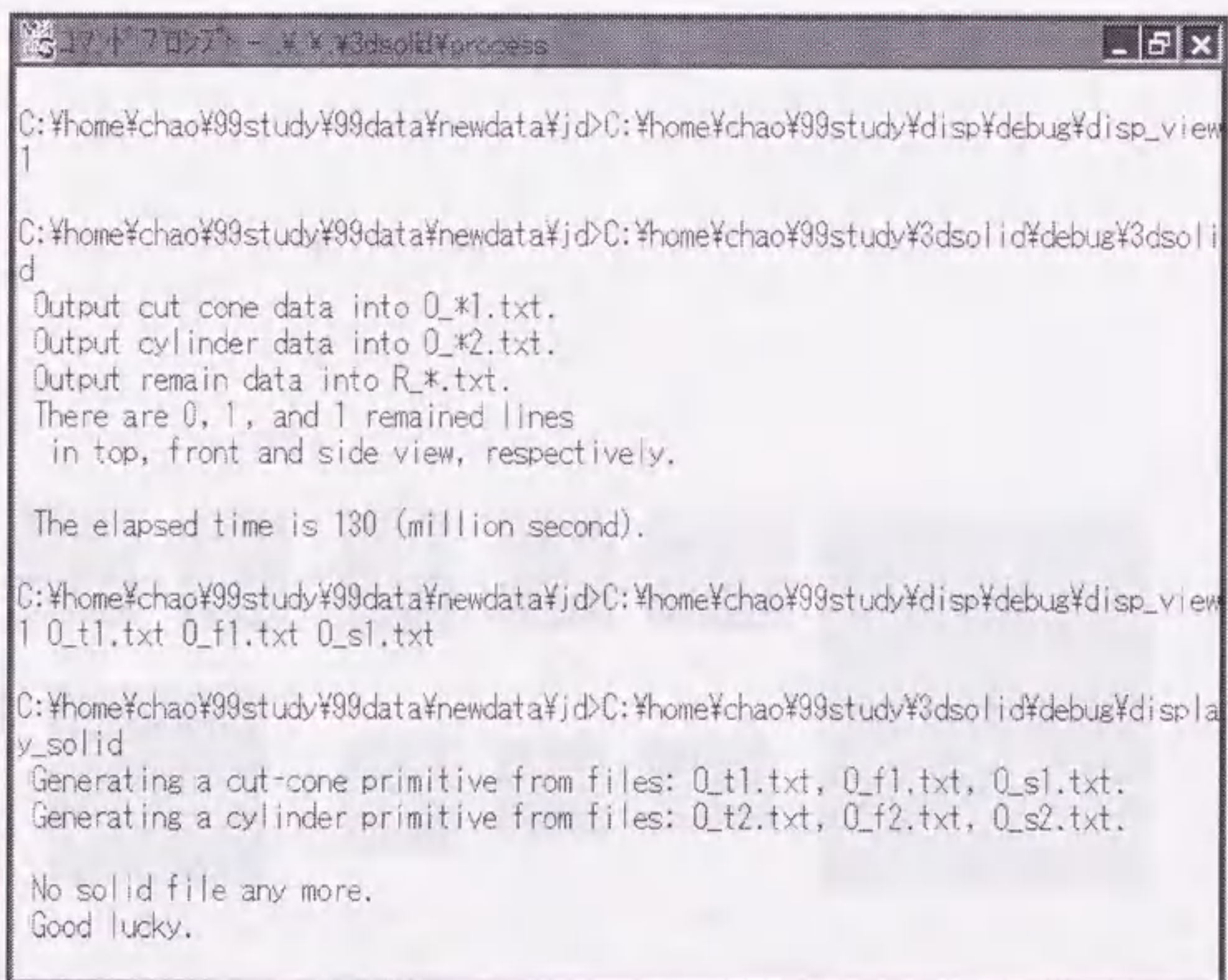


図 4.24 例 3

4.6.3 例3

図4.24(a)はある曲面をもつ立体の不整合な入力三面図である。円弧 $A(b, a, o, R)$ と線分 $L(c, d)$, $L(g, h)$, $L(k, l)$, $L(m, n)$ から構成する切断された円錐に関する可能性値は6になり、そのしきい値より大きいため、切断された円錐と確定された。一方、円弧 $A(b, a, o, R)$ または $A(a, b, o, R)$ と線分 $L(e, f)$, $L(i, j)$ は一緒に構成する切断された円錐の可能性値はしきい値により小さいので三面図(b)に残された。実際には、線分 $L(e, f)$, $L(i, j)$ は円弧 $A(b, a, o, R)$ と $A(a, b, o, R)$ とともに一緒に切断された円錐を構成する可能性がある。図(1P)と(2P)はそれぞれ分離された三面図(1)と(2)から生成したプリミティブで、この2つプリミティブから最終の立体を組合せた。図4.25はシステムの実行結果を示す。



```
C:\home\chao\99study\99data\newdata\jd>C:\home\chao\99study\disp\debug\disp_view
1
C:\home\chao\99study\99data\newdata\jd>C:\home\chao\99study\3dsolid\debug\3dsolid
d
Output cut cone data into O_*1.txt.
Output cylinder data into O_*2.txt.
Output remain data into R_*.txt.
There are 0, 1, and 1 remained lines
in top, front and side view, respectively.

The elapsed time is 130 (million second).

C:\home\chao\99study\99data\newdata\jd>C:\home\chao\99study\disp\debug\disp_view
1 O_t1.txt O_f1.txt O_s1.txt
C:\home\chao\99study\99data\newdata\jd>C:\home\chao\99study\3dsolid\debug\display_solid
Generating a cut-cone primitive from files: O_t1.txt, O_f1.txt, O_s1.txt.
Generating a cylinder primitive from files: O_t2.txt, O_f2.txt, O_s2.txt.

No solid file any more.
Good lucky.
```

図4.25 例3のシステムの実行結果

4.6.4 例4

図4.26は図4.20に示した三面図から2円柱相貫体データの確定という三面図からの立体生成例である。図(b)は完全な三面図で、図(a)は不足線分、余分な線分と線種の指定が誤った線分が存在する不整合な三面図である。システムは図(a)のデータを読み込み、一連の可能性計算をした時点で、不足線分を追加してから、9つの三面図を分離し、これらの三面図から9つのプリミティブを生成して、最後に最終の立体を出力する。一度も使っていない線分を図(c)に示す。ここでは、9つの三面図の表現は省略される。この例を通して、2円柱相貫体データの確定の手法が確認できた。

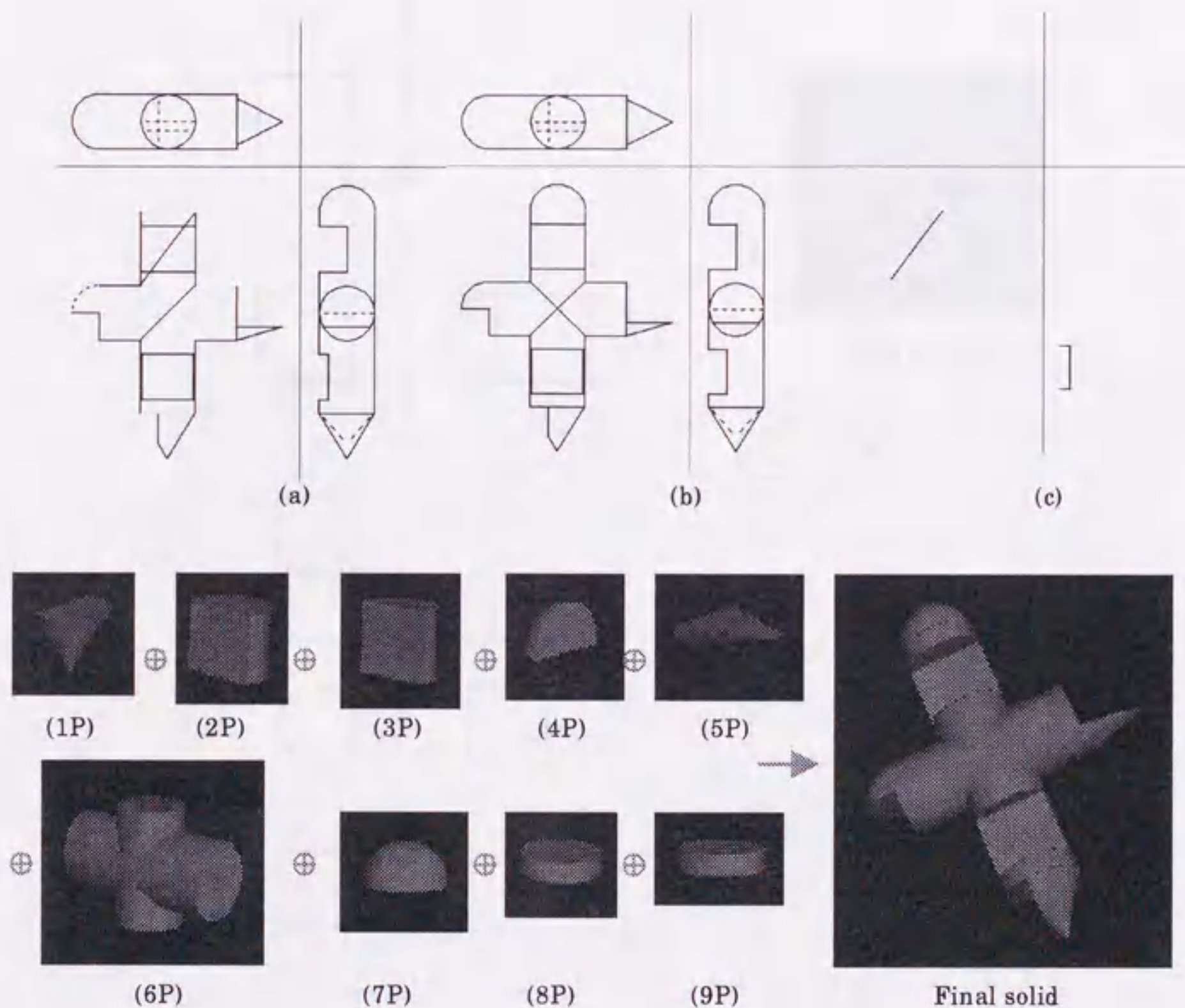


図4.26 例4

4.6.5 例5

図4.27には正しい立体が推定できるが、1つの実際に存在しないプリミティブを生成してしまう例を示す。図4.27(a)は完全な三面図である。この三面図から合成した最終立体を右側に示す。図(a)から本システムを実行すると、3つのプリミティブが推定した。この3つプリミティブはそれぞれ分離した三面図(1)、(2)と(3)から生成する。三面図(4)から多面体も生成して、最後に3つのプリミティブとこの多面体を組合せ、最終立体が生成できる。最終立体と三面図(a)と照合すれば、正しい立体であることが分かる。ただし、三面図(1)から生成した円柱プリミティブは実際には存在しないものである。最終立体を合成する時、多面体に囲まれているため、円柱プリミティブが現れなく最終立体を正しく表示できた。これは本システムの1つの特例である。

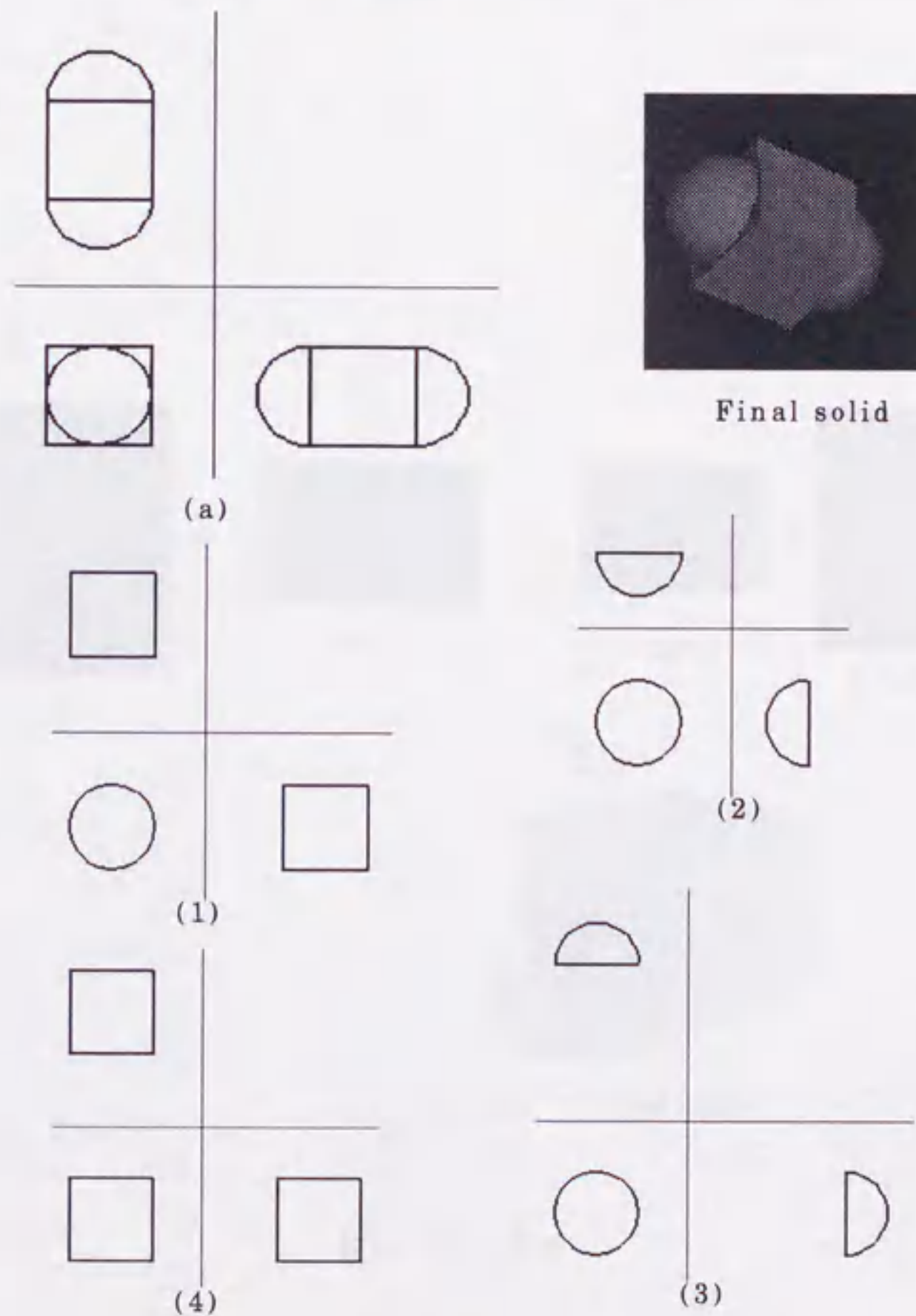


図4.27 例5

4.6.6 例6

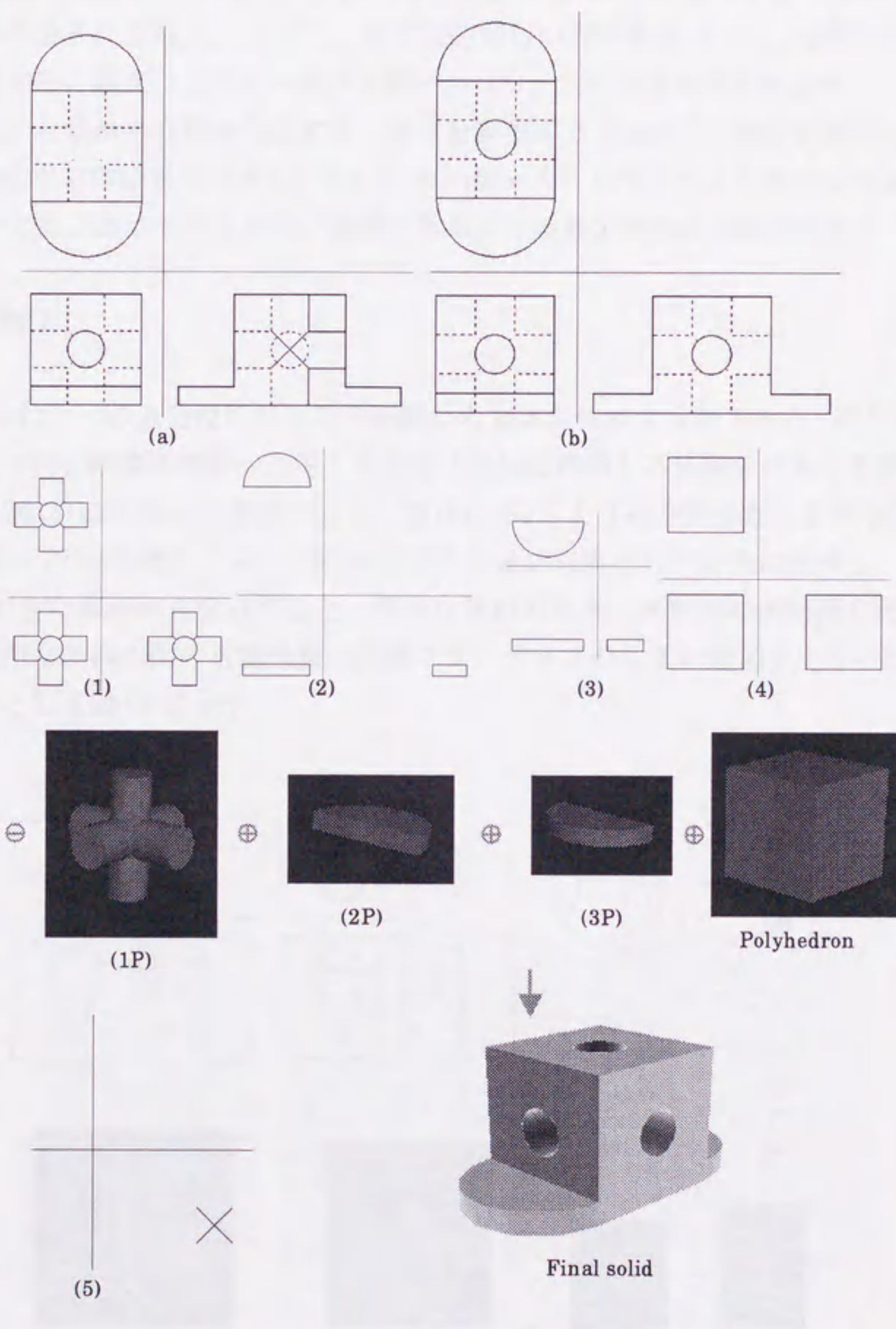


図 4.28 例6

図4.28に1つの3円柱相貫体が穴開ける例を示す。図(a)は不足円と余分な線分と線種指定が誤った線分がある不整合な三面図で、図(b)は完全な三面図である。不整合な三面図(a)からも三面図(1)、(2)と(3)を分離し、それぞれのプリミティブ(1P)、(2P)と(3P)を先に生成し、そして、論文[70][71]の方法を用いて、三面図(4)から多面体を生成する。論文[72][73]の方法を使い、(2P)、(3P)と多面体を組合せて、(1P)を減算してから最終の立体を合成する。立体を表現するOpenGLの機能が限定されており、最終的な立体は表示できていないため、本システムはこのような穴つける立体を自動表示することはまだできない段階である。この部分の改良は必要がある。

4.6.7 例7

図4.29は1つの余分な円がある三面図から立体を生成する例である。図(a)は平面図に余分な円、線種が間違っただ円と正面図に余分な斜線と不足線分がある不整合な三面図で、図(b)は完全な三面図である。図(b)と同じように不整合な三面図(a)からも三面図(1)、(2)を分離し、それぞれのプリミティブ(1P)と(2P)を先に生成し、三面図(3)からできた多面体と合成すると、最終立体ができた。平面図の未使用な円と正面図の未使用な斜線の間の可能性値は円錐プリミティブのしきい値より小さいため、余分な線分として図(4)に示す。

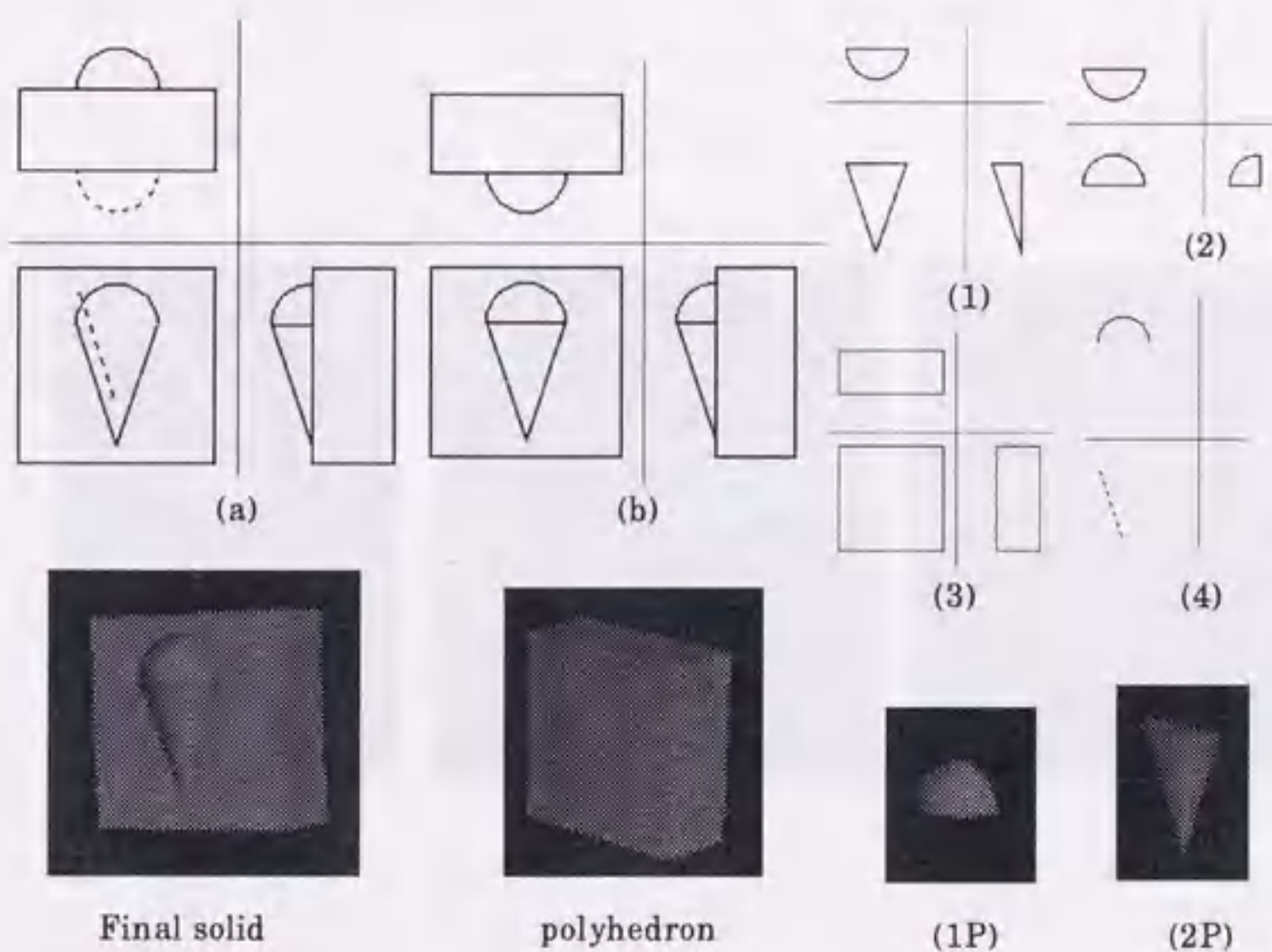


図4.29 例7

4.6.8 例8

より統合的な例を図4.30に示す。図4.30(a)に示された三面図は図4.28(b)の不完全なものである。明らかに、図4.30(a)には不足な円、円弧、線分と誤って記述された線分がかなり存在する。本システムを用いて、図4.30(a)のような複雑な三面図からも素早く立体が生成できることが確認した。ここで、(a)から分離してできる15の三面図および15個のプリミティブの表示は省略する。余分な線分は図(c)に示す。図(a)から生成された立体の三つの角度におけるイメージを図(e)、(d)、(f)に示す。システムが立体生成と最終立体合成の出力情報はそれぞれ図4.31と図4.32に示す。

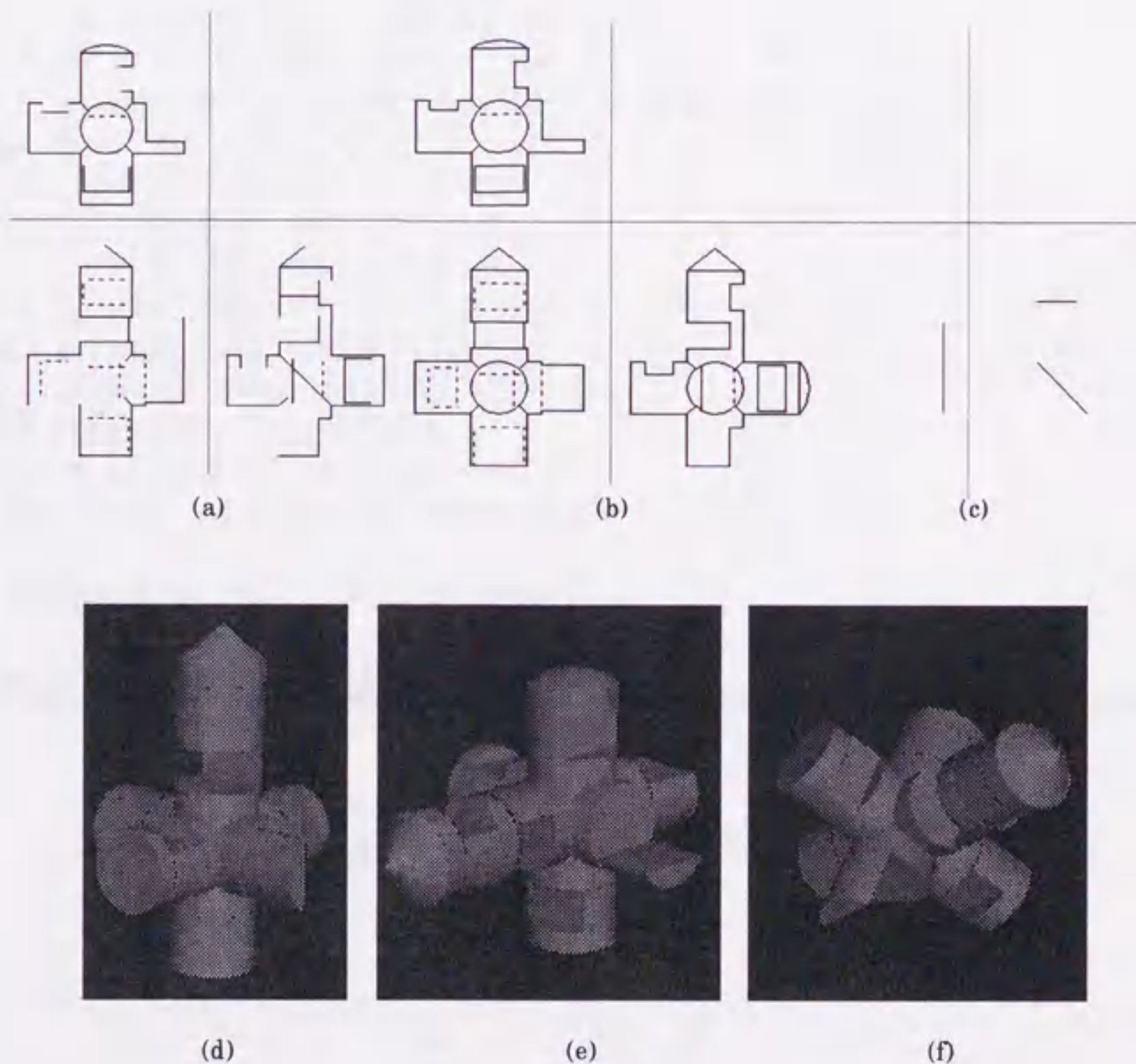
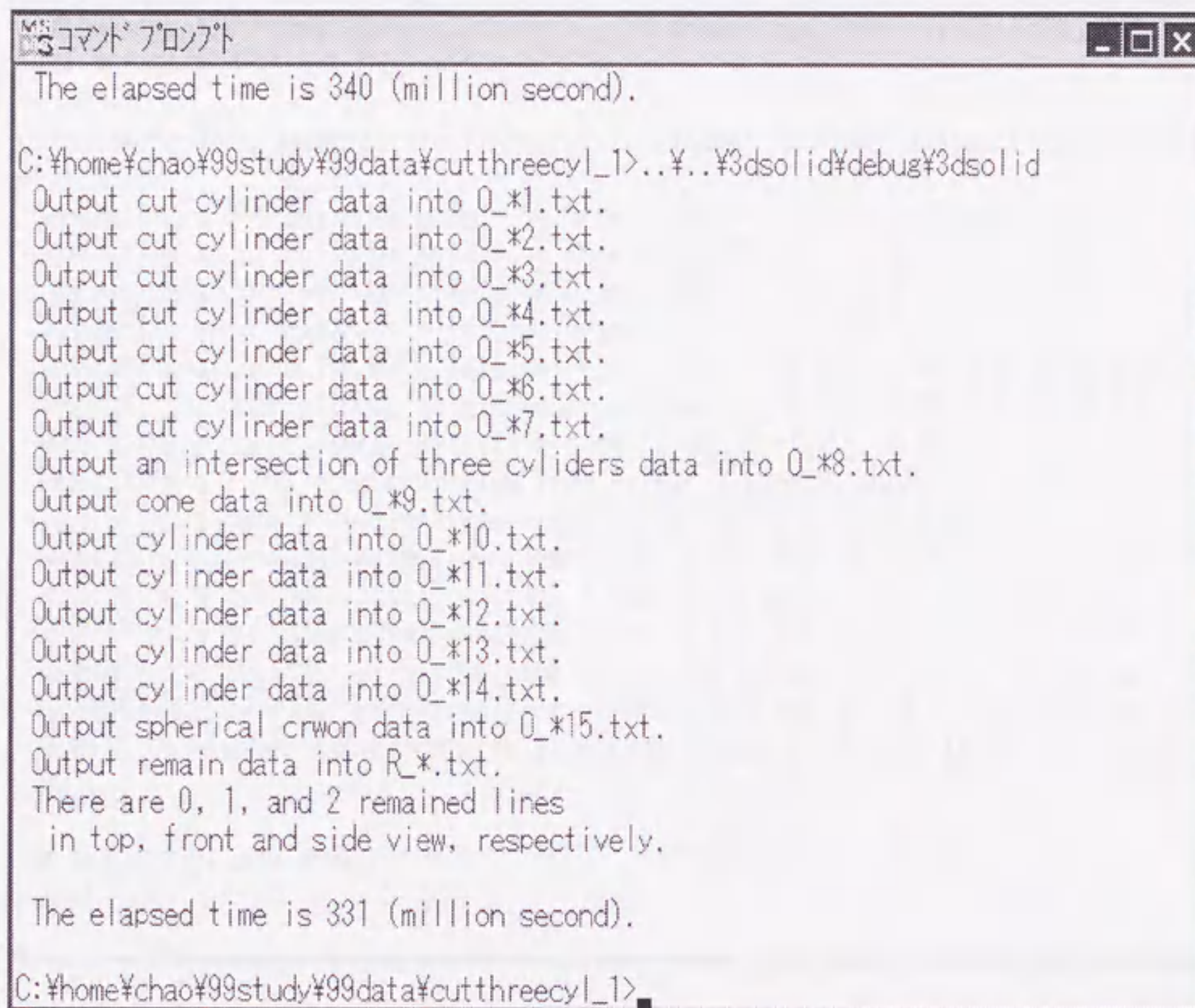
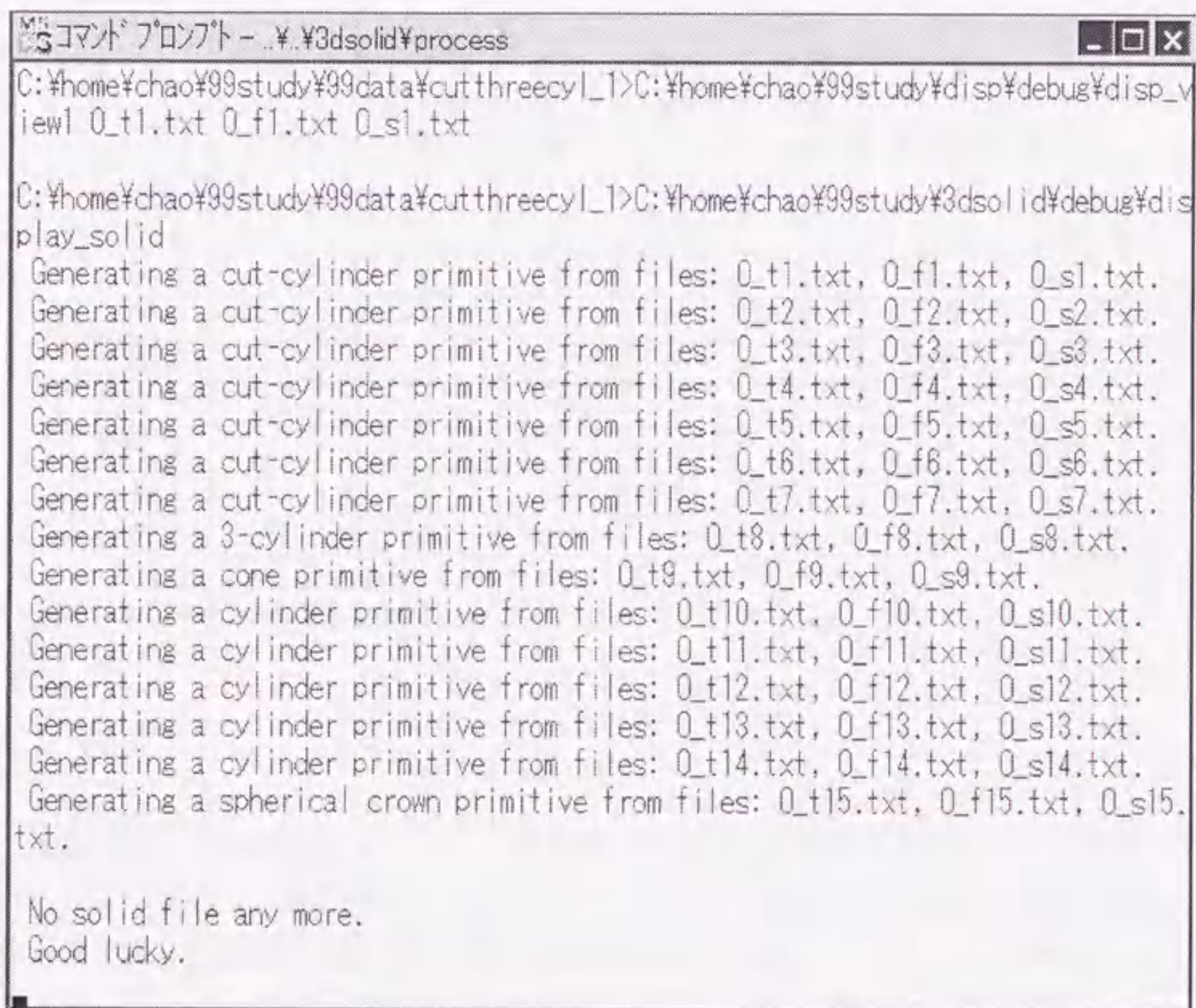


図4.30 例8



```
コマンド プロンプト
The elapsed time is 340 (million second).
C:\home\chao\99study\99data\cutthreecyl_1>..\3dsolid\debug\3dsolid
Output cut cylinder data into 0_*1.txt.
Output cut cylinder data into 0_*2.txt.
Output cut cylinder data into 0_*3.txt.
Output cut cylinder data into 0_*4.txt.
Output cut cylinder data into 0_*5.txt.
Output cut cylinder data into 0_*6.txt.
Output cut cylinder data into 0_*7.txt.
Output an intersection of three cylinders data into 0_*8.txt.
Output cone data into 0_*9.txt.
Output cylinder data into 0_*10.txt.
Output cylinder data into 0_*11.txt.
Output cylinder data into 0_*12.txt.
Output cylinder data into 0_*13.txt.
Output cylinder data into 0_*14.txt.
Output spherical crown data into 0_*15.txt.
Output remain data into R_*.txt.
There are 0, 1, and 2 remained lines
  in top, front and side view, respectively.
The elapsed time is 331 (million second).
C:\home\chao\99study\99data\cutthreecyl_1>
```

図 4.31 例 8 の立体生成過程における出力情報



```
コマンド プロンプト - ...dsolidprocess
C:\home\chao\study\data\cutthreecyl_1>C:\home\chao\study\debug\disp_viewl 0_t1.txt 0_f1.txt 0_s1.txt

C:\home\chao\study\data\cutthreecyl_1>C:\home\chao\study\dsolid\debug\display_solid
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t1.txt, 0_f1.txt, 0_s1.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t2.txt, 0_f2.txt, 0_s2.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t3.txt, 0_f3.txt, 0_s3.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t4.txt, 0_f4.txt, 0_s4.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t5.txt, 0_f5.txt, 0_s5.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t6.txt, 0_f6.txt, 0_s6.txt.
Generating a cut-cylinder primitive from files: 0_t7.txt, 0_f7.txt, 0_s7.txt.
Generating a 3-cylinder primitive from files: 0_t8.txt, 0_f8.txt, 0_s8.txt.
Generating a cone primitive from files: 0_t9.txt, 0_f9.txt, 0_s9.txt.
Generating a cylinder primitive from files: 0_t10.txt, 0_f10.txt, 0_s10.txt.
Generating a cylinder primitive from files: 0_t11.txt, 0_f11.txt, 0_s11.txt.
Generating a cylinder primitive from files: 0_t12.txt, 0_f12.txt, 0_s12.txt.
Generating a cylinder primitive from files: 0_t13.txt, 0_f13.txt, 0_s13.txt.
Generating a cylinder primitive from files: 0_t14.txt, 0_f14.txt, 0_s14.txt.
Generating a spherical crown primitive from files: 0_t15.txt, 0_f15.txt, 0_s15.txt.

No solid file any more.
Good lucky.
```

図 4.32 例 8 の立体合成における出力情報

4.6.9 実行時間

我々のシステムはかなり短時間に完全あるいは不整合な三面図から立体を構成できる。例えば、Epson VT516SX/166MHZ という PC の上で、本システムを実行して、例 1 から例 8 までの 8 つの立体を生成する時間を計った。測定できた時間は PC の状況に依存するため、表 4.2 にまとめた時間値は平均値である。

表 4.2 実験結果

	曲面プリミティブ数	矛盾線分の総数	不足線分数	余分線分数	線種間違い線分数	CPU time (msec)	
						矛盾がない	矛盾がある
例 1	3	1	1	0	0	211	230
例 2	4	4	2	1	1	160	221
例 3	2	5	3	2	0	120	130
例 4	9	9	4	4	1	260	270
例 5*	3	0	0	0	0	120	—
例 6#	3	7	1	2	4	170	230
例 7	2	3	1	2	1	120	160
例 8	15	21	18	3	0	300	340

* 1つの存在しない曲面プリミティブを生成した

立体の自動表示ができない

4.7 結言

本章では、人間が曲面プリミティブを推定するに関する知識を用いて、可能性計算によって不整合な三面図情報から曲面をもつ立体を合成する拡張方法を提案した。この方法では、三面図の対応情報を総合的に考慮して CSG プリミティブを推定する。そのため、我々のシステムは非常にシンプルかつ立体推定に強いという特徴がある。

我々のシステムは[31]に提案された方法より多い種類の CSG プリミティブを処理できる。また、本拡張方法は立体推定する前に補助線を追加する必要がないし、不完全な図面からも適当な立体を生成できるという利点がある。

この章で提案した方法では第3章で提案した方法より処理できるプリミティブ種類が単に多くなっただけでなく、矛盾を含む三面図から立体を推定するときには、三面図に含まれている矛盾の種類を特定しなくても済むことよりシステムにより簡単、より強い特徴をもたらしたことである。

我々のシステムは C と OpenGL を用いて Windows NT 上実装した。可能性計算で曲面プリミティブを三面図から抽出し、矛盾を含んだ三面図から曲面をもつ立体を生成するシステムの有効性が実験で検証した。

将来の研究としては、我々が提案した方法をより汎用なケース、例えば、2つの平面で切断された円柱や、異なる半径の円柱が相貫する場合などに拡張がある。さらに、円と円弧以外の2次曲線が存在する矛盾図面からの立体を推定することも試みたい。

第5章 結 論

本論文では、円柱面、円錐面、球面を曲面としてその一部にもつ立体を対象として、計算機支援の設計図面認識システムや3次元モデラーの構築などにおいて有用となる、不整合な三面図からの立体の自動生成問題を取り上げた。そして、この種の立体のための新しい立体生成法を提案するとともに、入力図面中の矛盾を特定して立体を推定するアルゴリズムを示し、知識に基づいて立体を推定するシステムの構築を通して、その妥当性を調べた。

境界表現法に基づく立体生成法は、入力図面から逐次3次元稜線、面そして立体をボトムアップ的に生成する方法であり、確実かつ多様な図面に適用できるが、効率の点や、図面中の省略、不整合に対する頑健性に問題がある。CSG法に基づく立体生成法は、対象立体が予め仮定された基本立体要素から構成されているとみなし、図面中に基本立体要素が持つ投影パターンを見出すことで全体の立体を求めるトップダウン的な方法である。この方法は、投影パターンが特定できれば多少の省略がなされていても対処可能である一方で、基本立体要素に分割できない対象立体の認識や、特徴が現れにくい多角形から投影パターンを切り出す点に問題がある。このため、これらの問題点をお互いに補償することをめざした立体生成法をとった。投影に特徴が現れやすい曲面部は、その曲面を持つ基本立体要素が貼りつけられているとし、これらの基本立体要素と、基本立体要素を除いた部分の多面体により対象立体が表されるとした。そして、入力図面中の円弧線分からは面図間の線分パターンを照合して曲面を持った基本立体を生成し、円弧線分を切り取った多角形からの多面体と合わせて対象立体を生成する方法を構築した。

曲面を持つ基本立体要素を必要な範囲で限定し、それらの各面図への投影の形態を事前に調べておくことで、たとえ不整合、不完全な図面が与えられたとしても、その図面中の投影を与える基本立体要素を推定できる場合が少なくない。この点に注目して、曲面を持つ立体が単独で存在する場合、および複数がつながり1つの立体を構成している場合に対して、その投影パターンを解析し、考えられる矛盾とその解消法について、詳細に検討した。矛盾の種類としては、線分が不足することに原因があるもの、線分が余剰であることに原因があるもの、そして線種の指定の誤りに原因があるものを取り上げた。そして、それぞれの場合に対して、矛盾解消のための具体的なア

ルゴリズムを示し、その有効性について言及した。

以上の立体生成法および矛盾解消アルゴリズムに基づき、人間の経験的知識をとり入れた具体的なシステムの構築を行った。これまでの立体生成では、たとえ矛盾が存在しなくても、座標軸と平行し、同じ半径を持つ2つまたは3つの円柱の相貫や、円柱の一部分をカットした立体に対する入力図面からは正しい立体を出力できない問題が存在したが、これを解消した。また、人間は三面図から立体を推定するとき、まず、特徴的な部分に注目し、図面間データの関連などにも深く注意しながら推定を行うことより、人間の推論過程を参考に、曲面を持つ立体の生成のための、知識に基づいた3次元立体推論システムを構築した。このシステムは、曲線線分を中心として推定を行う。曲面をもつ基本立体要素の投影パターンを各面図内で探索することにより、描かれている立体を生成すると共に、一部の線分が欠落している場合にも、投影パターンが特定できれば、その欠落線分を補充し立体を推定する。また立体合成に一度も使われていない線分は余分な線分と認識され、矛盾の分析情報として表示する機能も有する。本システムは、各種な入力データに対して実験を行い、評価を行った。その結果、構築したシステムは効率良く矛盾の推定を行うことを確認した。

以上より、本研究の成果は、その十分な有用性を示しており、これからの計算機支援の設計図面認識システムや3次元モデラーの知能化において、重要な役割を果たすものであると位置付けることができる。

本研究の一つの発展方向としては、円弧に加えてより多くの種類の曲線線分への対応がある。例えば楕円の認識は、傾いた円柱切断面を持つ立体の生成に必要となる。また投影面上の楕円を3次元の回転楕円体の投影であるとみなすことにより、柔軟なモデリング方法であるメタボール法を、多面図を通して行うための新しいアプローチが得られる可能性がある。また別の方向としては、立体生成に必要な数の線分は描かれているが、それらの幾何学的な位置に不整合が見られるような図面の認識である。スタイラスペンなどのポインティングデバイスによる図面の入力では、各面図には十分な線分が与えられているが、面図間での線分、線分ループの幾何学的な対応が必ずしも取れない場合が発生すると考えられる。このような場合には、適当な修正により面図間での対応をとり、立体生成過程にわたすための方法が求められる。プリミティブ立体要素に基づく立体の表現からは、投影に現れる局所的な位相的關係を得ることができる。このため、これらの局所的定性關係を考慮することで、全体的に適合する面図間の線分の対応關係を、何からの妥当性評価値のもとで決定することも考えられる。これらは、より親しみやすいグラフィックインターフェイスを構築する立場からも解決が望まれるテーマを与えるものといえる。

謝 辞

本研究は、平成7年4月より平成12年1月にかけて、名古屋大学大学院人間情報学研究科において、主指導教官である名古屋大学大学院人間情報学研究科峯村吉泰教授、副指導教官である名古屋大学情報メディア教育センター渡辺崇教授のご指導のもとで行われたものであります。本研究の遂行ならびに本論文をまとめるにあたり、峯村吉泰教授には、長年にわたり終始懇切丁寧なご指導とご鞭撻を賜りましたばかりではなく、どんなに困った時でも、終始変わらぬ寛容さを持って暖かく励ましてくださいました。そのおかげでいろいろな困難を乗り越えて博士論文を提出するまでにいたしました。それらなしには本稿の完成は不可能であります。ここにあらためて心より深く感謝の意を表します。また、研究題目の選定や具体的なご指導と論文などの日本語のご修正にいろいろなお世話になりました渡辺崇教授にも深くお礼いたします。

本研究を遂行するにあたり、名古屋大学の横井茂樹教授、横澤肇教授、安田孝美助教授、内山知実助教授、中野裕司助教授、北栄輔助教授より、深い検討と有益なご教示を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

名古屋大学人間情報学研究科情報処理論講座の皆さんを始め、人間情報研究科の皆様には、様々なご支援をいただきました。心から感謝いたします。特に峯村研の高下和浩さん、横井研の呉寧さんと先輩の鈴木裕利さんには、色々と手助けをしてもらいました。ここに敬礼申し上げます。

本論文の研究の一部は、文部省科学研究費とC&C振興財団の援助を受けています。ここに感謝の意を表します。また、本論文に引用した文献の全ての著者方に感謝いたします。

最後になりましたが、この場をお借りして、終始変わらぬ深い思いやりの念と忍耐力を持って、暖かく見守ってくれて、援助しつづけてくれた両親、研究生活を支えてくれて、理解と協力を惜しまなかった主人、いつも心に安らぎを与えてくれた娘悦悦と晴晴に、深くお礼の言葉を述べさせて頂くとともに、この論文を捧げたいと思います。

平成12年1月

参考文献

- [1] Agarwal, S. C., Waggenspack Jr., W. N., Decomposition Method for Extracting Face Topologies from Wire Frame Models, *Computer Aided Design*, Vol. 24, No. 3, pp. 123-130 (1992).
- [2] 安居院猛, 目崎祐史, 長尾智晴, 中嶋正之, 2重の正方形移動法による機械図面からの図面要素の抽出, *電子情報通信学会論文誌*, Vol. J73-D-2, No. 9, pp. 1393-1401 (1990).
- [3] Aldefeld, B., On automatic recognition of 3D structures from 2D representation, *Computer Aided Design*, Vol. 15, No. 2, pp. 59-67 (1983).
- [4] Angel, E., *Computer Graphics*, Addison-Wesley (1990).
- [5] 青村茂, 2次元から立体データ生成—加工情報は別ファイルに, *日経メカニカル*, pp. 84-90 (1993).
- [6] 青村茂, 図面から立体を作成するシステムの研究動向と実用化 (図面からソリッドの自動作成), *日本機械学会論文集(C編)*, Vol. 61, No. 586, pp. 6-15 (1995).
- [7] 青村茂, 二次元から三次元へ—図面から立体を作り出す—, *日本機械学会誌*, Vol. 100, No. 938, pp. 88-91 (1997).
- [8] 浅野直輝, 曲線を直線で近似した三面図からの立体曲面の生成法, *日本機械学会論文集(C編)*, Vol. 65, No. 633, pp. 4052-4059.
- [9] Bin, H., Inputting Constructive Solid Geometry Representations Directly from 2D Orthographic Engineering Drawings, *Computer Aided Design*, Vol. 18, No. 3, pp. 147-156 (1986).
- [10] 巢宇燕, 渡辺崇, 円柱面をもつ物体に対するノイズを含んだ多面図情報からの正当な物体の推定, *第15回設計シンポジウム講演論文集*, pp. 17-23 (1997), 東京.
- [11] Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., Inferring Solid Objects with

- Cylindrical Surfaces from Orthographic Views, Proceedings of the Third International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'99), pp. 191-195 (1999), New Delhi, India.
- [12] Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., A Knowledge-Based Method for Reconstructing Solid Objects from Three Views, Proceedings of the Second World Manufacturing Congress (ISMT'99), pp. 532-537 (1999), Durham City, U.K.
- [13] Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., A Knowledge-Based System for Inferring Curved Surface Solids from Inconsistent Three Views, submitted to Computers & Graphics.
- [14] 巢宇燕, 渡辺崇, 知識を用いて不完全な三面図から曲面をもつ立体を推定システム, 人工知能学会誌に投稿中.
- [15] Chen, Z., Perng, D. B., Automatic Reconstruction of 3D Solid Objects from 2D Orthographic Views, Pattern Recognition, Vol. 21, No. 5, pp. 439-449 (1988).
- [16] Das, A. K., Langrana, N. A., Recognition and Integration of Dimension Sets in Vectorized Engineering Drawings, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 68, No. 1, pp. 90-108 (1997).
- [17] Dori, D., Dimensioning Analysis — toward Automatic Understanding of Engineering Drawings —, Communications of the ACM, Vol. 35, No. 10, pp. 92-103 (1992).
- [18] Dutta, D., Srinivas, Y., Reconstruction of Curved Solid Objects from Two Polygonal Orthographic Views", Computer Aided Design, Vol. 24, No. 3, pp. 149-159 (1992).
- [19] Egli, L., Hsu, C. Y., Bruderlin, B. D., Elber, G., Inferring 3D Models from Freehand Sketches and Constraints, Computer Aided Design, Vol. 29, No. 2, pp. 101-112 (1997).
- [20] Gu, K., Tang, Z., Sun, J., Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, Computer Graphics Forum, Vol. 5, No. 4, pp. 317-324 (1986).
- [21] Gujar, U.G., Nagendra, I.V., Construction of 3-D Solid Objects from Orthographic Views, Computers & Graphics, Vol. 13, No. 4, pp. 505-512 (1989).
- [22] Hammer, P. L., Rudeanu, S., Boolean Methods in Operations Research,

- Springer (1968).
- [23] Haralick, R.M. and Queeney, D., Understanding Engineering Drawings, Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol. 20, pp. 244-258 (1982).
- [24] 粉誠一, 渡辺俊典, 加工過程モデルを用いた板金図面からの立体復元, 情報処理学会グラフィクスとCAD, Vol. 79, No. 1, pp. 1-7 (1996).
- [25] 出澤正徳, 三面図からの物体生成のためのシステム, 日本機械学会論文集, Vol. 38, No. 310, pp. 1267-1276 (1972).
- [26] 飯塚厚, 横山正明, 機械図面の計算機処理, 情報処理学会グラフィクスとCAD, Vol. 48, No. 2, pp. 5-11 (1990).
- [27] 伊藤潔, 三面図を用いたソリッドモデルの構成 — 主に多面体を対象として —, 情報処理学会論文誌, Vol. 31, No. 8, pp. 1095-1103 (1990).
- [28] 印南智仁, 田村雅之, 狩野均, 西原清一, あいまいな三面図の概略理解手法, 情報処理学会第52回全国大会講演論文集 2, pp. 285-286 (1996).
- [29] 印南智仁, 川崎純一, 李江洪, 西原清一, あいまいな三面図の概略理解手法, 情報処理学会グラフィクスとCAD, Vol. 85, No. 3, pp. 13-18 (1997).
- [30] 北嶋克寛, 田坂守康, プリミティブの直和及び差演算の CSG を出力する三面図解釈の手法, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J75-D-2, No. 9, pp. 1526-1538 (1992).
- [31] 北嶋克寛, 吉田誠, 諏訪光信, 機械製図図面の認識(第4報) — 画素座標から寸法座標への整合的変換処理 —, 精密工学会誌, Vol. 56, No. 11, pp. 1884-1890 (1993).
- [32] Kuo, M. H., Reconstruction of Quadric Surface Solids from Three-View Engineering Drawings, Computer Aided Design, Vol. 30, No. 7, pp. 517-527 (1998).
- [33] Laurentini, A., How Many 2D Silhouettes does it Take to Reconstruct a 3D Object?, Computer Vision and Image Understanding, Vol. 67, No. 1, pp. 81-87 (1997).
- [34] Lequette, R., Automatic Construction of Curvilinear Solid from Wire-Frame views, Computer Aided Design, Vol. 20, No. 4, pp. 177-186 (1988).

- [35] Levens, A., Chalk, W., Graphics in Engineering Design, Third Edition, John Wiley & Sons (1980).
- [36] Markowsky, G., Wesley, M. A., Fleshing out Wire Frames, IBM J. Res. Develop., Vol. 24, No. 5, pp. 582-591 (1980).
- [37] 正木寛人, 斎藤逸郎, 石塚満, 奥乃博, 二分木グラフを用いた三面図の効率的な理解, 情報処理学会研究報告人工知能, Vol. 98, No. 8, pp. 65-73 (1995).
- [38] 正木寛人, 斎藤逸郎, 石塚満, 奥乃博, 二分決定グラフの適用による三面図の効率的な理解, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 11, pp. 1969-1978 (1996).
- [39] 増田宏, 沼尾雅之, 清水周, 非多様体形状モデラと ATMS を用いた三面図からのソリッド合成法, 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 3, pp. 453-459 (1997).
- [40] Masuda, H., Numao, M., A Cell-Based Approach for Generating Solid Objects from Orthographic Projections, Computer Aided Design, Vol. 29, No. 3, pp. 177-187 (1997).
- [41] 増田宏, 沼尾雅之, 不完全な三面図からの立体モデルの合成, 人工知能学会誌, Vol. 12, No. 6, pp. 928-935 (1993).
- [42] Meeran, S., Pratt M. J., Automated Feature Recognition from 2D Drawings, Computer-Aided Design, Vol. 25, No. 1, pp. 7-17 (1993).
- [43] 湊真一, 石浦菜岐佐, 矢島修三, 論理関数の共有二分決定グラフによる表現とその効率的な処理手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 1, pp. 77-85 (1990).
- [44] 峯村吉泰, 図学 - コンピュータグラフィックス入門 -, 名古屋大学出版社 (1987).
- [45] 宮本晃太郎, 小林創, 伊藤潔, 外接による三面図からの曲面物体の合成, 1990年度人工知能学会全国大会 (第4回) pp. 407-410 (1990).
- [46] 棟上昭男, 図面認識技術とその応用, トリケップス (1985).
- [47] 村上存, 伊東隆史, 武井直子, 中島尚正, 面の情報を基にした三面図からの3-D ソリッドモデル自動生成, 第14回設計シンポジウム, pp. 9-15 (1996).
- [48] 西原清一, 図面理解による3次元モデリング, Computer Today, Vol. 56, No. 7, pp. 19-29 (1993).

- [49] 西田淳, 張紹星, 西原清一, 面の組合せ探索による三面図解釈, 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 1, pp. 96-104 (1991).
- [50] 沼尾雅博, 増田宏, 三面図からのソリッドモデル変換技術の現状, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 4, pp. 542-549 (1996).
- [51] 大久保仁志, 狩野均, 西原清一, 曲げ加工機能を有する板金図面生成システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 37, No. 8, pp. 1619-1625 (1996).
- [52] 落合重紀, CAD ユーザーのための DXF リファレンスガイド, 日経 BP 出版 (1995).
- [53] Ryan, D. L., Modern Graphics Communications — a CAD Approach —, Prentice-Hall (1986).
- [54] Sakurai, H., Gossard, D. C., Solid Model Input Through Orthographic Views, Computer Graphics, Vol. 17, No. 3, pp. 243-250 (1983).
- [55] 佐々木康仁, 伊藤潔, 鈴木誠正, 三面図からの物体自動合成のための線性擬似ブール代数法, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 12, pp. 1288-1297 (1987).
- [56] 佐々木康仁, 伊藤潔, 鈴木誠道, 非線性擬似ブール代数解法による三面図から物体の自動合成, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 6, pp. 699-708 (1989).
- [57] 千田豊満, 三面図からのもとの立体の自動復元 — 円柱部分を含む立体への適用 —, 情報処理学会論文誌, Vol. 32, No. 9, pp. 1122-1128 (1991).
- [58] Shin, B. S., Shin, Y. G., Fast 3D Solid Model Reconstruction from Orthographic Views, Computer Aided Design, Vol. 30, No. 1, pp. 63-76 (1998).
- [59] 塩昭夫, 青木康浩, 手書き建築間取り図面理解システム, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J82-D-2, No. 3, pp. 431-439 (1999).
- [60] 高橋正充, 伊藤潔, 擬似ブール代数解法による三面図からの曲面物体の自動合成, 情報処理学会グラフィクスとCAD, Vol. 49, No. 1, pp. 1-8 (1991).
- [61] 高橋正充, 佐々木康仁, 伊藤潔, 非線性擬似ブール計画法による曖昧な三面図からの多面体の一意的合成, 人工知能学会誌, Vol. 6, No. 6, pp. 904-911 (1991).
- [62] 田村雅之, 梅澤顕, 狩野均, 西原清一, 省略を含まれる三面図からの3次元モデル

- の復元, 情報処理学会グラフィックスとCAD, Vol. 75, No. 3, pp. 17-24 (1995).
- [63] 田村雅之, 狩野均, 西原清一, 省略のある板金三面図からの3次元モデルの復元, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 4, pp. 771-778 (1997).
- [64] 田中雅次, 立体要素連立式による三面図からの自動立体作成法, 情報処理学会論文誌, Vol. 34, No. 9, pp. 1956-1965 (1993).
- [65] 内野寛治, 狩野均, 西原清一, 制約知識ベースに基づく三面図理解, 人工知能学会誌, Vol. 11, No. 4, pp. 653-663 (1996).
- [66] 王震, 津村幸治, 斎藤義夫, ニューラルネットによる手書き機械図面の自動認識, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 62, No. 598, pp. 2492-2498 (1996).
- [67] 渡辺崇, 藤井省三, 田代明子, 機械設計図面の自動認識・理解に関する研究(機械図面に適した細線化処理と図面解釈ルールインタープリタ), 機械学会論文誌(C編), Vol. 58, No. 547, pp. 987-992 (1991).
- [68] Watanabe, T., Okui, T., Onoki, T., Kato, N., Fujii, S., A Study on Recognition and Understanding of Mechanical Drawings (Representation and Rule-Based Understanding of Individual Projection), JSME International Journal, Series 3, Vol. 35, No. 3, pp. 505-511 (1992).
- [69] 渡辺崇, 田代明子, 藤井省三, 矛盾を含んだ三面図情報からの物体の推定, 情報処理学会論文誌, Vol. 35, No. 11, pp. 2320-2330 (1994).
- [70] Watanabe, T., Tashiro, A., Fujii, S., Estimation of Three-Dimensional Objects from Orthographic Views with Inconsistencies, Computers & Graphics, Vol. 19, No. 6, pp. 815-829 (1995).
- [71] Watanabe, T., Chao, Y., Settlement of incoherence Found in the Recognition Process of Solid Object from Orthographic Views, Proceedings of the International Conference on Computer Aided Design, Engineering and Management (CADEM'95), pp. 284-289 (1995), Xi'an, China.
- [72] 渡辺崇, 巢宇燕, 円弧を含んだ矛盾した三面図情報からの立体の推定, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 64, No. 26, pp. 4052-4059 (1998).
- [73] Watanabe, T., Chao, Y. Identification and Dissolution of Noise from Contradictory Orthographic Views with Arcs, Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry (8th ICECGDG), Vol. 2, pp. 358-362 (1998), Austin, Texas, USA.

- [74] Wesley, M. A., Markowsky, G., Fleshing Out Projections, IBM J. Res. Develop., Vol. 25, No. 6, pp. 934-944 (1980).
- [75] 山田弘展, 若林明子, 内野寛治, 狩野均, 西原清一, 制約充足に基づく三面図理解システム, 情報処理学会グラフィクスとCAD, Vol. 77, No. 3, pp. 11-18 (1995).
- [76] Yan, Q. W., Chen, C. L. p., Tang, Z., Efficient Algorithm for the Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, Computer-Aided Design, Vol. 26, No. 9, pp. 699-717 (1994).
- [77] 横山正明, 河上恵三, 三面図から曲面を含む立体の自動生成, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 56, No. 526, pp. 174-179 (1990).
- [78] 芳川繁, 平塚尚輝, 田村恭久, 三面図から生成された CSG プリミティブの代数関係式による存在判定, 第 14 回設計シンポジウム講演論文集, pp.16-23 (1996).
- [79] Yuen, M. M. M., Tan, S. T., Yu, K. M., Scheme for Automatic Dimensioning of CSG Defined Parts, Computer Aided Design, Vol. 20, No. 4, pp. 151-159 (1988).

関連発表論文

学術誌論文

1. 渡辺崇, 巢宇燕, 円弧を含んだ矛盾した三面図情報からの立体の推定, 日本機械学会論文集(C編), Vol. 64, No. 26, pp. 4052-4059 (1998).
2. Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., A Knowledge-Based System for Inferring Curved Surface Solids from Inconsistent Three Views, submitted to Computers & Graphics.
3. 巢宇燕, 渡辺崇, 知識を用いて不完全な三面図から曲面をもつ立体を推定システム, 人工知能学会誌に投稿中.

国際会議論文 (査読あり)

1. Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., Inferring Solid Objects with Cylindrical Surfaces from Orthographic Views, Proceedings of the Third International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications (ICCIMA'99), pp. 191-195 (1999), New Delhi, India.
2. Chao, Y., Watanabe, T., Minemura, K., A Knowledge-Based Method for Reconstructing Solid Objects from Three Views, Proceedings of the Second World Manufacturing Congress (ISMT'99), pp. 532-537 (1999), Durham City, U.K.
3. Watanabe, T., Chao, Y., Settlement of incoherence Found in the Recognition Process of Solid Object from Orthographic Views, Proceedings of the International Conference on Computer Aided Design, Engineering and Management (CADEM'95), pp. 284-289 (1995), Xi'an, China.
4. Watanabe, T., Chao, Y. Identification and Dissolution of Noise from Contradictory Orthographic Views with Arcs, Proceedings of the Eighth International Conference on Engineering Computer Graphics and Descriptive Geometry (8th ICECGDG), Vol. 2, pp. 358-362 (1998), Austin, Texas, USA.

国内会議

1. 巢宇燕, 渡辺崇, 円柱面をもつ物体に対するノイズを含んだ多面図情報からの正当な物体の推定, 第15回設計シンポジウム講演論文集, pp. 17-23 (1997), 東京.



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

