

## 3DCAD データを用いて導出した位置関係マトリクスの 修正方法に関する研究

市来 治<sup>\*1</sup>, 田井 浩気<sup>\*2</sup>, 篠田 心治<sup>\*3</sup>

A Study on a Correction Method for the Position Relation Matrix Formed from 3D CAD Data

Osamu ICHIKIZAKI<sup>\*1</sup>, Kouki TAI<sup>\*2</sup>, Shinji SHINODA<sup>\*3</sup>

**ABSTRACT** : In PLP (Prototype-less Production), the position relation matrix, which is a table of 6 direction position relations (x-, x+, y-, y+, z-, z+) for every pairs of parts of a product, is used to derive assembly procedures. The previous method can automatically form the position relation matrix from 3D CAD data, but some of the relations of the pair need to be corrected manually. This study aims to present a correction method for the matrix. The method consists of 3 steps. For each pairs in which parts cannot be disassembled by the previous method, firstly the initial position of one of the parts is shifted and the position relation is re-derived. When the non-disassembly pairs still remain, secondly, for the each pair, it shrinks one of the parts and then re-derives. Thirdly, for the rest of the non-disassembly pairs, it expands one of the parts and then re-derives. The method is applied to a product of 111 parts, and the effectiveness of the method is verified.

**Keywords** : Prototype-less production, Position relation matrix, 3D CAD

(Received September 17, 2014)

### 1. はじめに

製造業では近年、ますます製品のライフサイクルが短くなっている。製造リードタイムの短縮だけでなく、新製品を設計し、工程を編成し、製品を製造して市場に供給できるようにするまでの生産準備プロセスについても、期間を短く、かつ、このプロセスにおけるコストを安くすることが、競争力の維持のために重要になっている。

このような中で、近年は製品の設計に 3DCAD を用いることが一般的になっている。多くの企業では、それによる 3D データを活用した生産準備のやり方が模索され、市販のソフトウェアもある。これらの多くは、従来の生産準備における試行錯誤、すなわち、設計図面から試作品 (Prototype) を作り、実際に組立をしてみて製品設

計の不具合を見つけたり、よりよい組立順序を決定したりするプロセスを、コンピュータの画面上で実施することで、試作品を作るのに要する時間やコストの削減を目指している。

それに対して、PLP (Prototype-less Production) の研究<sup>2, 3)</sup>では、後述する「位置関係マトリクス」という概念を用い、3D データからこの位置関係マトリクスを自動的に導出することで、組立順序を網羅的に導出する方法を提示している。この方法を用いると、従来の人による試行錯誤では考え付かないような、有効な組立順序を導出できる可能性があり、試作品を作ることが不要になることに加えて、より生産性の高い製造工程の設計にもつながる。

しかし、PLP で組立順序を導出する際のものとなる位置関係マトリクスの自動導出には、後述するいくつかの課題があり、人が 3DCAD データを見ながら修正する必要がある。そこで本研究では、位置関係マトリクスを自動的に修正するひとつの方法を考案し、その効果を検証することを目的とする。

\*1 : 理工学研究科助教 (ichikizaki@st.seikei.ac.jp)

\*1 : 理工学部システムデザイン学科修士学生

\*1 : 理工学研究科教授

## 2. 位置関係マトリクス

位置関係マトリクスとは、製品を構成する任意の2部品について、一方の部品（固定部品）の位置を固定し、他方の部品（移動部品）を6方向（x, y, z軸の正と負方向）に動かした場合の、位置関係（接触、衝突、干渉など）を示した表である。図1に示す、4部品からなるAudio-plugに基づいて導出した位置関係マトリクスが表1である（4部品のなかの2部品の組み合わせなので、 $4C_2$ の6行になる）。



図1 Audio-plug



図2 Part 1 and part 2 of Audio-plug

表1 Position relation matrix of Audio-plug

固定部品	移動部品	(-)X	(+)X	(-)Y	(+)Y	(-)Z	(+)Z
1	2	1.4	1.4	1.4	1.4	-1	0
1	3	-1	-1	-1	-1	-1	7.8
1	4	0	0	0	0	-1	-1
2	3	-1	-1	-1	-1	2	-1
2	4	0	0	0	0	0	-1
3	4	0	0	0	0	0	-1

このAudio-plugの部品1（固定部品）と部品2（移動部品）（図2）の位置関係は、表1の1行目に示してある。筒状の部品2は部品1の一部にかぶさるように組み付くが、図のように1.4 mmの隙間がある。このため、位置関係マトリクスのx軸方向（図の上下方向）とy軸方向（図の手前・奥方向）については、正負方向ともに「1.4」が記入されている。z軸方向については、正方向（図の右方向）は接触しているので「0」が、負方向（図の左方向）は取り外れるので「-1（不衝突を意味する）」がそれぞれ記入されている。

位置関係マトリクスは、3Dデータを操作することで導出する。具体的には固定部品の部品データに対して、移動部品の部品データを上記の6方向に少しずつ移動し、部品同士の干渉を調べる、という計算を繰り返す。

この位置関係マトリクスを作ることで、6方向のいずれかからしか組み付けないという前提のもとで、組立過程での部品の衝突などを考慮しながら、組立順序を網羅的に導出することができる。

## 3. 位置関係マトリクス導出における課題

従来の方法をいくつかの製品に適用するなかで、以下に示す課題のあることが分かった。

- 3Dデータの精度の悪いことにより、本来は接触あるいはわずかに離れている2部品において、干渉していると判断される。
- ゴム部品など、変形させて組み付ける部品について、本来の分解方向を導出できない。
- 多段階で組み付ける部品（1方向では組み付けられない部品）について、分解方向を導出できない。

上記のような部品について、従来方法で位置関係マトリクスを導出すると、移動部品をどの方向にも動かさず、6方向すべての値が「0」になる。位置関係マトリクスのなかにこのような位置関係がひとつでもあると、正しい組立手順を導出できないので、人による修正が必要になる。

本研究では、従来の方法（すなわち、部品データを、1方向に動かしながら位置関係を導出する方法）に工夫を加えることで、上記の課題の中の1と2に対する自動修正方法について検討する（3については多段階の移動に関するものなので、今後の課題とする）。

## 4. 修正方法の考え方

### 4.1 干渉する2部品の修正方法

2部品の干渉（3Dデータ上で重なり合っている状態）については、3Dデータの精度の低いことによりわずかに干渉している場合が多い。このことから、初期の位置を少し動かして干渉しない状態にしてから、位置関係を導出する方法を考える。

図3に干渉する2部品の例を示す。本来、部品2は+x方向（図の右方向）から組み付く（すなわち、+x方向に分解できる）が、3Dデータにおける初期値では2部品が干渉しており、分解方向を導出できない。このような場合には、図の右に示すように、部品2を+x方向にわずかに移動させることで、部品2が+x方向に分解できる状態になり、正しい位置関係を導出できる。

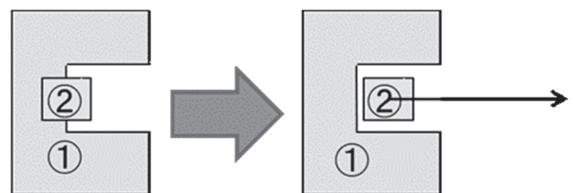


図3 Example of interference parts

初期位置の移動については、6方向すべてについてひとつずつ実施することを考える。ただし、どんな2部品もある方向に動かし続ければ分解できてしまうので、初期位置の移動距離に上限を設け、少しずつ移動させることを考える。

#### 4.2 変形部品の修正方法

変形する部品の例を図4に示す。このような部品の材質の多くはゴムなどであり、組み付ける際にも変形させて組み付けることが多い。例えば、図の左側について、本来、部品2は-x方向（図の左方向）から広がりながら組み付くが、3Dデータでは衝突してしまうので分解方向を導出できない。このような場合には、3Dデータ上でもサイズを変えてから移動させることで、正しい位置関係を導出できる。

変形する部品は①のように広げてから組み付けるものと、②のように小さくつぶして挿入するように組み付けるものの2種類が考えられるので、拡大と縮小の両方を実施する必要がある。

初期位置の移動と同様の理由で、拡大と縮小の倍率にも上限（下限）を設けた上で、少しずつ変形させることを考える。拡大と縮小を実施する順序については、縮小を先に実施することとし、縮小しても分解できなかった場合に拡大を実施する。

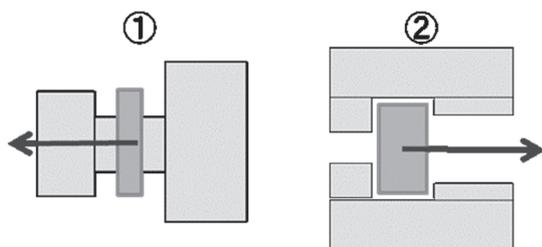


図4 Examples of a soft part

#### 4.3 初期位置の移動と縮小・拡大の実施順序

初期位置の移動については、3Dデータの精度の低いことによるわずかな干渉への対処が目的であるのに対して、縮小・拡大については、変形して組み付ける部品を想定している。このことから、初めに3Dデータの精度による不具合を修正してから、変形して組み付ける部品に関する不具合の修正をする方がよいと考える。以降では、分解方向を導出できなかった2部品について、初めに初期位置の移動を実施する。そして、それにより分解方向が導出できなかった場合に縮小・拡大を実施する。

## 5. 上下限値の決定

上述した「初期位置の移動」と「縮小・拡大」を実施する際の上下限値について、「初期位置の移動」はわずかな干渉への対処であり、その干渉度合は製品によって大きく異ならないと考える。また、「縮小・拡大」は変形して組み付ける部品を想定しており、その部品を広げたり縮めたりする程度も、部品によって大きく異ならないと考える。したがって本研究では、X社で製造している2種類の製品の3Dデータを用い、実験的に決定した。

どちらも手組み付けにより組み立てる製品であり、部品によっては簡単な工具を使う。製品Aは22部品（位置関係マトリクスは ${}_{22}C_2$ の231行）、製品Bは25部品（同様に ${}_{25}C_2$ の300行）である。

従来方法により位置関係マトリクスを導出し、分解方向の導出できなかった部品の組み合わせは、製品Aが22行（231行中）、製品Bが10行（300行中）であり、これらを対象にして、上下限値を検討した。

#### 5.1 初期位置の移動の上限値の決定

上述した、従来方法で分解方向の導出できなかった部品の組み合わせについて以下を実施した。

1. 移動部品の初期位置を0.1mmずつ1方向に移動させ、分解可能になった時点でその距離を記録した。これを残りの5方向についても実施した。
2. 分解可能になった初期位置に移動した状態の3Dデータを目で確認し、その移動が適切であるか（干渉を解消する程度の移動であるか）を判定した。

上記の手順による結果を図5に示す。

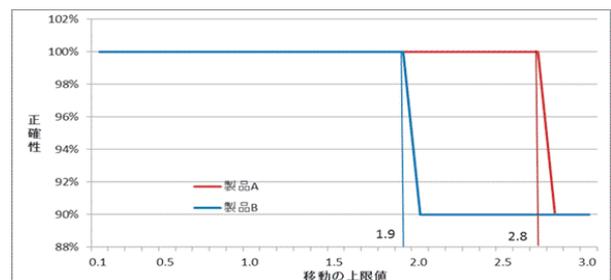


図5 Result of initial position move

このグラフは横軸に初期位置の移動の上限値 (mm)、縦軸に正確性を取ったグラフに、2製品の結果を折れ線グラフで示したものである。なお、正確性については以下のように定義した。上記で検討した2製品の各組み合わせについて、分解可能になった距離が、仮に定めた上限値以下であればその2部品は移動によって分解可能になり、そうでなければ分解可能にならないと考える。その上で、

分解可能になった組み合わせのうち、分解が適切なもの（本来の分解方向になっているもの）の割合を正確性とした。つまり、正確性が100%ということは、その上限値にすることで移動によって分解できるようになった組み合わせのすべてが適切であることを意味する。

図5を見ると、製品Aは上限値が2.8mmで、製品Bは上限値が1.9mmでそれぞれ、正確性が100%でなくなっている。初期位置の移動の目的は、わずかな干渉をなくすことである。このことから、上限値はなるべく小さくした方がよいので、上記の結果から初期位置の移動の上限値を1.9mmとした。なお、刻み幅は0.1mmとした。

## 5. 2 縮小・拡大の上下限値の決定

上記の初期位置の移動により分解方向の導出できなかった部品の組み合わせ（製品Aが10行、製品Bが6行）について、以下を実施した。

1. 移動部品の大きさを0.01倍ずつ縮小し、分解可能になった時点でその倍率を記録した(3Dデータを見て、縮小しても分解できないことの明らかな組み合わせについては実施しなかった)。
2. 分解可能になった倍率の状態の3Dデータを目で確認し、その縮小が適切であるか(本来、組み付ける際につぶす程度であるか、あるいは、そもそもつぶしながら組み付ける部品であるか)を判定した。
3. その後、0.01倍ずつ拡大し、分解可能になった時点でその倍率を記録した。
4. 分解可能になった倍率の状態の3Dデータを目で確認し、その拡大が適切であるか(本来、組み付ける際に広げる程度であるか、あるいは、そもそも広げながら組み付ける部品であるか)を判定した。

前節と同様に正確性を定義し、各製品の正確性が100%になる上限値(拡大)と下限値(縮小)を求めると、製品Aは0.85倍から1.3倍の範囲で、製品Bは0.45倍から1.5倍の範囲で分解方向を適切に導出できた。縮小ではより小さい倍率を、拡大ではより大きい倍率をそれぞれ選ぶことにし、縮小の下限値を0.45倍、拡大の上限値を1.5倍とした。なお、倍率の刻み幅は縮小、拡大ともに0.01倍とした。

## 6. 提案方法の検証

上記の方法を、Y社の製品Cに適用し、有効性を検証する。なお、製品Cは111部品(位置関係マトリクスは6,105行)である。

製品Cに従来方法を適用した結果、分解方向の導出さ

れなかった位置関係は78行あった。それに対して移動を実施した結果55行の分解方向が導出された。残りに対して縮小を実施した結果、17行の分解方向が導出された。最後に、その残りに対して拡大を実施した結果6行の分解方向が導出された。以上の結果、分解できない位置関係は0行になった。

上記で導出された分解方向について、3Dデータを目で確認したところ、いずれも適切な分解方向であったため、提案方法は有効であると判断した。

## 7. おわりに

本研究は、従来方法による位置関係マトリクスの導出における課題に対処するために、初期位置の移動と移動部品の縮小・拡大による修正方法を考案し、その有効性を検証した。

現在は、3で示した三つ目の課題(多段階で組み付ける部品の位置関係)に対処する方法や、多くの計算を要する3Dデータによる干渉チェックを少なくする位置関係マトリクスの導出方法に関する研究を進めている。

## 参考文献

- 1) 湯浅 英樹, 「VPS (Visual Product Simulator) モノを作らないものづくり II」, FOM 出版, 2009年1月
- 2) 篠田 心治, 丹羽 明, 深見 和彦, 深澤 大輔, 星野 正人, 赤見 勇雄, 小林 夏樹, 佐藤 秀臣, 根立 洋介, 「3DCAD データを用いた新たな生産準備プロセス構築の基礎的研究」, IE レビュー, Vol.44, No.4, pp.73~p80, 2003年10月
- 3) 篠田 心治, 丹羽 明, 石坂 啓太, 川瀬 武志, 「位置関係マトリクスを用いた接触関係図の自動導出に関する研究」, 日本設備管理学会誌, Vol.24, No. 4, pp.267~274, 2013年2月