

## 論文

EV コンバージョンを目的とした非線形形状部品の  
リバースエンジニアリング手法の構築小西 毅<sup>\*1)</sup> 吉村 卓也<sup>\*2)</sup> 吉屋 英理<sup>\*3)</sup> 進藤 淳哉<sup>\*4)</sup>

## Reverse engineering techniques of nonlinear configuration parts for EV conversion.

Takeshi Konishi<sup>\*1)</sup>, Takuya Yoshimura<sup>\*2)</sup>, Eri Yoshiya<sup>\*3)</sup>, Shiro Junya<sup>\*4)</sup>

In metropolitan cities such as Tokyo, the increase in air pollution caused by gasoline cars, strengthens the need for electric cars. Although vehicle companies make a lot of electric cars, the number is still dwarfed by that of gasoline cars. A convenient way to increase the number of electric cars is to convert existing gasoline cars.

The authors have studied a convenient way to create a 3D model for an engine room using a 3D-SCAN system. The open issues were (1) to obtain highly accurate three-dimensional measurement data of an engine room, (2) to keep a highly accurate conversion ratio from three-dimensional measurement data to three-dimensional design data, and (3) to reduce working hours and make it less of an expert dominated field.

This paper shows a convenient way to convert 3D point data to 3D CAD data for an EV conversion with a 3D digitizer and the ICP method to solve these issues.

キーワード：リバースエンジニアリング, 三次元設計データ, EV コンバージョン

Keywords : Reverse engineering techniques, 3D-CAD, EV conversion,

## 1. はじめに

近年の日本は自動車大国といわれるように、一家に一台以上自動車の所有が当たり前となり、移動手段として国民に定着している。それと同時に東京都などの都市部では渋滞による排気ガスの大気汚染や、二酸化炭素による地球温暖化問題が深刻になり、さらに石油などの燃料枯渇問題はガソリン価格の高騰を引き起こし、人々の生活にかなりの影響を及ぼしている。このような観点からも、近年ますます電気自動車の必要性が高まっている。各国の自動車メーカーはこれまでも電気自動車の研究を進め、低公害車やハイブリッド車を開発・生産してきた。しかし、電気自動車は駆動・制御部品が高価かつ大衆向けに販売生産が困難であり、国内普及台数は約8900台（平成20年）に留まっている。

一方で大学等の教育機関における電気自動車産業の教育は盛んに行われており、首都大学東京では、機械産業における基盤技術の技術革新に貢献しうる創造的技術者の育成を

目的に、文部科学省主催の専門職大学院等における高度専門職業人養成教育推進プログラムの一環である、「熟練技術者を活用したものづくり実践教育プロジェクト」(2008年～2009年)<sup>(1)</sup>の活動でEV開発を実施し、大きな成果を上げた。

著者らは、前述の後継プロジェクトとして、汎用的なEVコンバージョンの構築方法を提案した。EVコンバージョンを実施する際の課題として電気駆動部品をいかに効率よく搭載するかが挙げられる。そのためには従来の自動車部品が搭載されていた箇所の寸法を計測し、部品の配置を考えると、自動車の三次元データが必要である。これらを計測するには以下の技術的な課題がある。(1)高精度な三次元計測データの構築(2)三次元計測データから三次元設計データへ高精度な変換(3)一般的に利用可能でかつ作業時間を短縮させたEVコンバージョン手法である。著者らは、三次元デジタルで自動車の内部の計測点群を取得し、精度の高い三次元設計データを生成する手法を構築した。これらの方法により上記の3つの課題が解決できる。

## 2. リバースエンジニアリング

2.1 EVコンバージョンの概要 EVコンバージョンは特定の車種に限って施されることが多く、汎用的に改造されることは少ない。このことから汎用的に使用できるEVコン

\*1) 電子機械グループ

\*2) 首都大学東京 大学院理工学研究科 機械工学専攻

\*3) 首都大学東京 都市教養学部 都市教養学科 理工学系  
機械コース

\*4) 首都大学東京 システムデザイン学部 システムデザイン学科  
ヒューマンメカトロニクスシステムコース

バージョン手法が望まれる。EV コンバージョンを実施するためには、エンジンなどの石油を動力源とする部品を撤去し、電力を動力源とする部品を搭載する必要がある。これらの部品を搭載するためには、部品寸法が車体寸法より短い必要がある。また、組み立てた際に部品の実合わせを実施する必要がある。この問題が汎用的な EV コンバージョンの足かせとなっている。理想として車体寸法を測定し、その後コンピュータ上で車体内部と電気部品を組み立てることが可能なシステム作りが必要である。

2.2 リバースエンジニアリングの従来作業 前節の課題を解決するためには、自動車の設計データが必要である。しかし、自動車の内部構造は、非線形形状が多く、従来手法では、設計データ化するには困難を極めた。図1にその作業工程を示す。

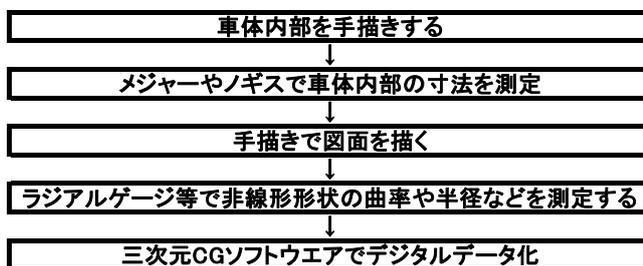


図1. 従来のリバースエンジニアリング手法

この手法の問題は①モデリングに手間がかかる。②精度が作業者の測定能力に依存する。③作業者に高い空間把握能力が必要である。が挙げられる。

### 2.3 新たなリバースエンジニアリングの提案

近年ではその手法に替わるべく、3次元スキャナによりモックアップから取得した表面の座標値を点群データとして取り込み、3次元モデルを再構成してデジタルデータ化するという手法が注目されている。以前からこの手法は提案されており、自動車業界では利用されていたが、機器が高価でその他の業界のデザイナーが気軽に利用することができず、広く普及することはなかった。しかし近年、3次元スキャナの小型化、低価格化により、自動車業界以外のデザイナーも利用することが容易になってきたため、他業界において新たなデザインプロセスの手法として注目されている。点群から3次元モデルを再構成すると、モデリング作業における手間を削減することができ、モデリングを行う際に必要となる高い空間把握能力やモデリングの素養や、高い習熟度を必要とせず3次元モデルを作成することができる。また、車体内部をスキャンするので1回で高精度な寸法の測定ができるため、モデルに対する修正も必要ない。このようにスキャンを用いた寸法の測定方法は、高精度な寸法測定の作業時間を短縮することができ、作業効率を大幅に向上することができる方法であるため、自動車業界以外のデザインプロセスにおいても注目されている技術である。

一般のエンジン式乗用車をEV コンバージョンする過程において、前節でのリバースエンジニアリング手法を用い

て実施することにする。その作業行程は以下の図2の通りである。

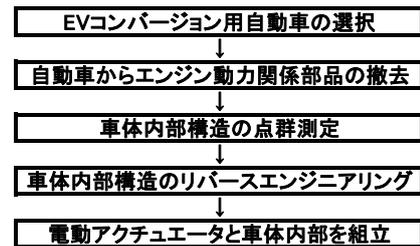


図2. 作業行程

## 3. 測定機器

車体内部構造の点群測定には、図3に示す東京都立産業技術研究センター西ヶ丘本部が所有する非接触3次元デジタルデザイナーVIVID9i(コニカミノルタセンシング株式会社製)でスキャンニングを実施した。非接触3次元デジタルデザイナーは、鋳鍛造品、プレス・プラスチック成型品、金型などを1スキャン2.5秒・測定精度 $\pm 50\mu\text{m}$ で3次元測定が可能で、リバースエンジニアリングやCAEに活用すれば、実物の形状を簡単に3次元デジタルデータ化することができる。測定原理はレーザービームによる光切断方式で3角測距の原理で被写体との距離情報を得て、三次元の点群データを得ることができる。



図3. 非接触3次元デジタルデザイナー

車体内部の点群データからリバースエンジニアリングを行うために、リバースエンジニアリングソフトウェアRapidform XOR(INUS Technology社 作製)を用いた。

## 4. 結果

車体内部のリバースエンジニアリングは、エンジンルームおよびトランクルームについて実施した。

4.1 点群測定 エンジンルームの点群測定を実施する条件を表1に記載する。

表1の測定条件で測定すると、1スキャンはX:300~1,200mm Y:250~1,000mmの範囲で計測を実施する。この1スキャンでスキャンされた点群をエレメントという。図4は、エンジンルームの代表的なエレメントを示す。

表1. エンジンルームの測定条件

レンズ	Wide
レーザー強度	※LD値=10
被写体距離	800~1000mm
スキャン回数	3回
色彩	白黒
データ間引き率	1/4
フィルター	高品質+ノイズフィルター
穴埋め	オフ

※ LD 値とはコニカミノルタセンシング株式会社が定めているレーザー強度の値であり, LD 値=10 は 1.1mW に相当する。



図4. エンジンルームの測定結果

これら図4の2つのデータで相重なる対応点で合成を実施する。重ね合わせた点群データは図5となる。



図5. 重ね合わせた試験内容

この重ね合わせは,ICP アルゴリズムを用いた。ICP アルゴリズムは 1992 年に Besl ら<sup>(2)</sup>により提案された方法で,複数のエレメント間で重複して計測された部分を利用して,繰り返し計算により誤差関数を最小化する解を求める方法である。すなわち  $N_1$  個の点からなる点群  $T = \{t_i \mid i \in N_1\}$  に対し,異なる座標系で計測された  $N_2$  個の点からなる点群  $S = \{s_i \mid i \in N_2\}$  の位置合わせを実施するには点群  $S$  の各点  $s_i$  において点群  $T$  との距離  $d$  を求める。

$$d(s_i, T) = \min_{j \in 1 \dots N_1} d(s_i, t_j) = d(s_i, m_i) \quad (4.1)$$

$s_i$  に対応する点を  $m_i \in T$  とすると,  $s_i$  の対応点集群  $M$  は

$$M = C(S, T) \quad (4.2)$$

と表される。ここで  $C$  は最近傍点を求める関数とする。さて,点群  $S$  に対応点群  $M$  が求まると位置合わせ座標変換パラメータ  $3 \times 3$  回転行列  $R$ , 移動ベクトル  $t$  は次式を最小化することで求まる。

$$E(R, t) = \sum_{i=1}^{N_2} \|m_i - R s_i - t\|^2 \quad (4.3)$$

これを誤差関数が十分小さくなるまで繰り返す。

ICP アルゴリズムを各測定エレメントで用いることにより図6を得ることができる。

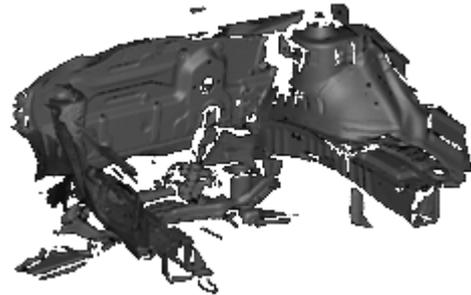


図6. エンジンルームの重ね合わせた点群データ

トランクルームもエンジンルームと同様にトランクルームを複数のエレメントで測定し,各エレメントを ICP アルゴリズムで重ね合わせた。重ね合わせた結果を図7に示す。



図7. トランクルームの重ね合わせた点群データ

#### 4.2 リバースエンジニアリング エンジンルームの重ね合わせた点群データから XOR を用い,設計データを構築する。

設計データの構築には,以下の手順で実施した。

- ① 初期メッシュからの特徴稜線抽出
- ② 特徴稜線を反映したメッシュ最適化
- ③ 特徴稜線を反映した曲面のフィッティング

初期メッシュから特徴稜線を抽出するやり方は,メッシュの中に連続的にある点群は,多くの不確定要素が残っている。その中で要素を幾何学形状又は非幾何学形状の要素を分ける必要がある。この分配は,手作業で実施する。初期メッシュからの特徴稜線抽出は,渡辺らの手法<sup>(3)</sup>を用いて実施した。

その後特徴稜線を反映したメッシュの最適化を実施し,特徴稜線を反映した曲面を作成した。その曲面を作成したのが図8になる。

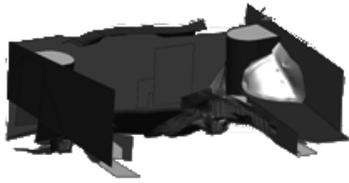


図8. エンジンルームのリバースエンジニアリング

トランクルームもエンジンルームと同様の方法で曲面を作成した。作成した曲面は図9の通りである。



図9. トランクルームのリバースエンジニアリング

### 5. 考察

今回作成したエンジンルームとトランクルームの曲面で構成されるリバースエンジニアリングモデルの測定点群に対する差分とその偏差を求めた。エンジンルームの最大差分を±25mmとした。図10はエンジンルームの測定点群と曲面データとの差分である。この差分の偏差すなわちエンジンルームの測定点群と曲面データとの差分の全体偏差は、図11に示すとおりである。

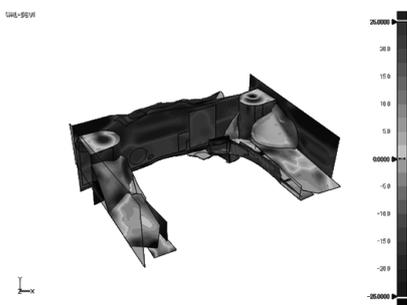


図10. エンジンルームの測定点群と曲面の差分

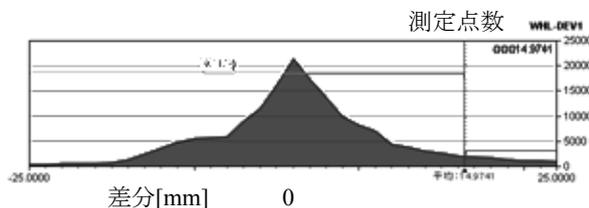


図11. エンジンルームの測定点群と曲面の差分の全体偏差

これにより差分が図11の示すように分布していることが理解できる。EVコンバージョンに用いる設計データとしては、利用可能な範囲であるといえる。

一方で、トランクルームの曲面で構成されるリバースエンジニアリングモデルの測定点群に対する差分とその偏差を求めた。エンジンルームと同様最大差分を±25mmとした。

図12はトランクルームの測定点群と曲面データとの差分である。この差分の偏差はエンジンルームの測定点群と曲面データとの差分の全体偏差で、図13に示すとおりである。

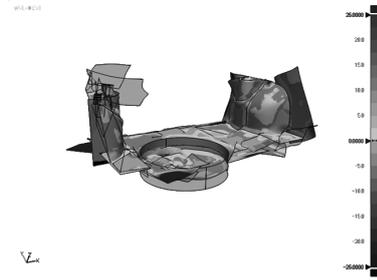


図12. トランクルームの測定点群と曲面との差分

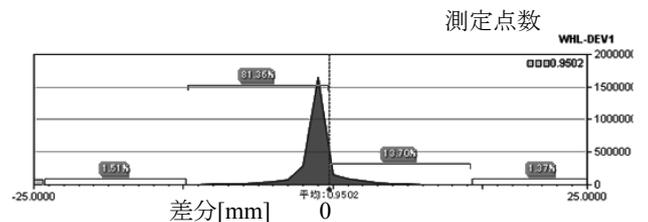


図13. トランクルームの測定点群と曲面の差分の全体偏差

この結果から、エンジンルームより高精度に作成することが可能であった。

### 6. まとめ

本研究の3つの課題についてまとめる。

- (1) 三次元デジタイザーを利用し、ICP法を利用することにより、車のエンジンルームおよびトランクルームの三次元点群データを高精度に取得することができた。
- (2) 三次元点群データから設計データに高精度に変換する手法を提案した。
- (3) 測定した三次元点群データと設計データの全体偏差を示し、EVコンバージョンを実施することのできるデータであることを示した。

また、この手法を使えばリバースエンジニアリング初心者でも3次元設計データを簡単に作成することができる。本研究においてデータ作成に費やした時間は約60時間であり、今後作業の時間短縮が課題である。

(平成23年5月20日受付, 平成23年7月27日再受付)

### 文 献

- (1) 首都大学東京 都市教養学部, 理工学系 機械工学コース横浜国立大学 工学部生産工学科: 「専門職大学院等における高度専門職業人養成教育推進プログラム」, pp. 56-73(2010)
- (2) P. J. Besl and N. D. McKay: "A Method for Registration of 3-D Shapes", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, Vol. 14, No. 2, pp. 239-256, (1992)
- (3) 渡辺大地, 「任意三角形メッシュからの特徴稜線抽出」, "電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J83-D-II, No.5, pp. 1344-1352(2000)