鉄道車両内部構体計測用三次元測定システムの開発

浜田　和気*　　鈴木　正毅　　西脇　正　　久保田　遼（東日本旅客鉄道株式会社）
新田　勇（新潟大学）
菅野　明宏（新潟県工業技術総合研究所）

Development of the three dimensional measuring system for railway vehicle internal structure.

Kazuki Hamada*, Masataka Suzuki, Tadashi Nishiwaki, Ryo Kubota　(East Japan Railway Company)
Isami Nitta (Niigata University)
Akihiro Kanno (Industrial Research Institute of Niigata Prefecture)

The railway vehicle is assembled by the welding with two or more panels. In this process, heat of welding and the shape error of the frame sometimes make distortions, and to correct these a lot of time is necessary on the factory site. Then, we tried to develop the system that measured a railway vehicle internal structure to decrease the correction time.

キーワード：三次元計測、レーザ測長器、ガルバノミラー
(Three dimensional measurement, Laser dsitancemeter, galvanometer mirror)

1. はじめに

鉄道車両の構体は、屋根パネルや床パネル，そして側面パネル等の複数のパネルを溶接により結合して構成された 6 面体となっています。パネルを結合する際、溶接時の熱影響やフレーム自体の形状誤差により、構体各部の寸法に図面に対し数ミリメートルから数十ミリメートルの差が生じる場合があります。このため、部位により指定された図面寸法（構体内部高さ、幅）に構体各部を修正することや、艤装部品取付の際に艤装部品を個々に修正する対応が現場で求められ，多大な労力を要しています。

図 1　車両内部構体

6 面体結合後の E233 系車両 1 両に掛けている修正作業と作業時間を表 1 に示します。

表 1　E233 系車両における 1 両当たりに掛けている修正作業と作業時間

※ 数値（分）で表示

作業	作業内容	先頭車作業時間	中間車作業時間	先頭車計	中間車計
一次修正	出入口カモイ修正	60	60		
	窓枠修正	20	30		
	幕板受修正	40	60		
	妻柱修正	20	40		
	窓受修正	20	30		
	内張板受修正	15	20		
	*乗務員室フレーム修正	120			
	*乗務員室幕板修正（お灸）	60			
	*乗務員室内部骨組修正	120			
				475	240
二次修正	*屋根平板及び波板修正（お灸）	180	180		
	*灯具受及びタルキ修正	300	300		
	*ロールフィルター部修正	120	120		
二次修正				600	600
三次修正	*出入口フレーム修正	240	240		
	*窓受修正	40	40		
	*妻柱修正	60	60		
	*クツズリ修正	40	40		
	*内張板受修正	30	30		
	乗務員室内部骨組修正	60			
	*寸法測定	80	80		
三次修正				550	490

*印の作業は 2 人での合計時間

多くの修正工程があり、先頭車と中間車で作業内容と作業時間が異なりますが全体で 1300～1600 分となります。また、修正作業はハンマーやグラインダー、ガスなどを使用した３K 作業であり作業時間の短縮が求められています。

そこで、車体製造時の構体内部寸法を計測することにより、事前に構体修正箇所や構体内部寸法に合った艤装部品の形状を把握して、修正工数を低減させることが可能な、鉄道車両内部構体の全体形状を測定するシステムの開発を目指すことにしました。そして、まず測定システムを試作し、車両の内部構体の寸法を精度よく測定する方法の基本的な部分について確認を行いました。

２. 計測方法の検討

鉄道車両の内部構体の全体形状を把握するためには床面から高さ方向約 3m、枕木方向に３m、車両長さ方向に 20m 程度の領域を測定することが必要になります。一般的に物体の形状測定の方法には、アーム式のタッチプローブを使用した接触式の測定方法や、レーザを使用した非接触式の測定方法などがあります。鉄道車両への適用を考えた場合、接触式は、手の入らないような場所の測定は困難であり、測定にも時間が掛かってしまいます。また、測定範囲に比例して設備も大きくなるため、コストも非常に高価になります。一方、非接触式であれば広い空間の三次元形状を測定できるため、計測時間も速くなります。しかし、接触式、非接触式共に市販されているものはテーブルに載せることが出来るような比較的小さな物体を対象にしているものが多く鉄道車両の内部構体を短時間で精度良く測定できるものはありません。しかし、研究途中の技術として、新潟大学トライボロジー研究室及び新潟県工業技術総合研究所における、レーザ測長器からのレーザ光を回転ミラーにより偏向して測定箇所に照射し、その際の測定値とミラーの角度から測定点の座標を演算する方法を採用した非接触の三次元座標測定技術があることが分かりました。（図２）

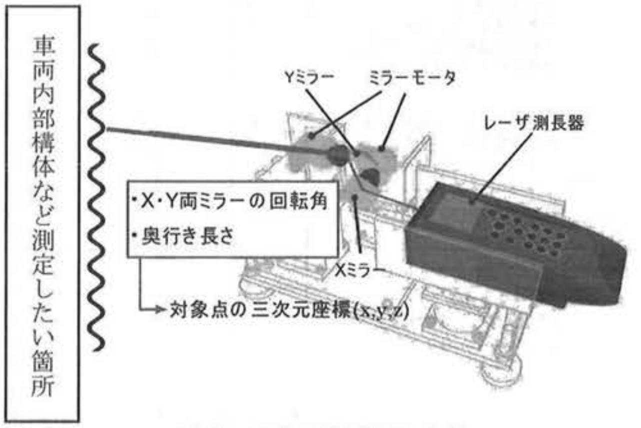


図２　三次元座標測定技術

一方、この技術を鉄道車両の内部構体の計測に応用するためには、測定領域の拡大、計測精度の向上、三次元データの可視化などが必要であることがわかりました。そこで、これらの課題を解決して、この新潟大学等の技術を応用した、鉄道車両用内部構体計測用三次元測定システム（以下三次元測定システム）の開発に挑戦することにしました。

３. 試作した三次元測定システムとその測定メカニズム

図３に本研究で試作した三次元測定システムを示します。このシステムは、レーザ測長器と、２枚のガルバノミラーにより構成されています。ここで便宜上、図中の下方のミラーをＸミラー、上方のミラーをＹミラーと呼ぶこととします。ここで、Ｘミラーと Ｙミラーの回転軸は、互いに直角であり 13 mm の間隔で設置されています。つまり、Ｘミラーの回転により、レーザ光を水平方向に走査し、Ｙミラーの回転により、鉛直方向に走査するように各ミラーが配置されていることになります。したがって、Ｘ、Ｙ両ミラーの回転角を制御することで、任意の点にレーザを照射することができます。また、レーザ測長器から射出されたレーザ光の光軸とガルバノミラーにおける設計光路をあわせる必要があるため、ガルバノミラー側を固定して、レーザ測長器の位置を微調整できるように、測長器の下には前後左右および回転方向に動かすことのできるステージが取り付けられています。

レーザ測長器から射出されたレーザ光は、最初はＸ ミラーに、次に Ｙ ミラーによって反射され、最終的に対象点へと照射されます。この時の反射光と Ｘ ミラー、Ｙ ミラーの角度を測定することにより、レーザが照射された点の位置を三次元的に把握することができます。

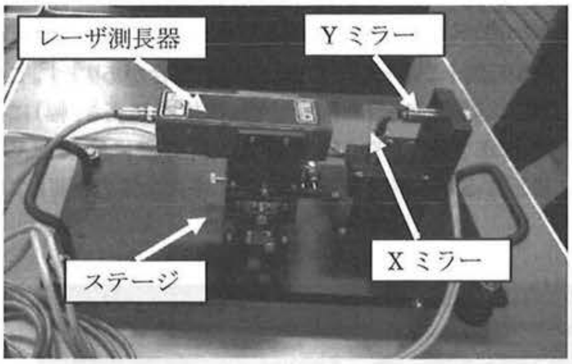


図３　試作した三次元測定システム

４. 試作したシステムの測定精度の評価

(1)　ストレートエッジを用いた測定精度の評価

三次元測定システムの精度確認を行うために長さ 3000 mmのストレートエッジ（精密に水平面が出されているもの）（図４）による測定値との比較を行いました。

ストレートエッジを床面から高さ 2500mm の位置に固定し、その下面に沿って 3000 mm の金属製スケールを貼り付けました。そして、床面に水平に設置した三次元座標測定システムからストレートエッジの金属性スケールを基準とした目標位置にレーザを照射し、その場所のスケールの値

と三次元測定システムで得られたその場所の計測値との差を記録しました。なお、測定点はスケール上に500 mm間隔で設定しました。測定結果を図5に示します。

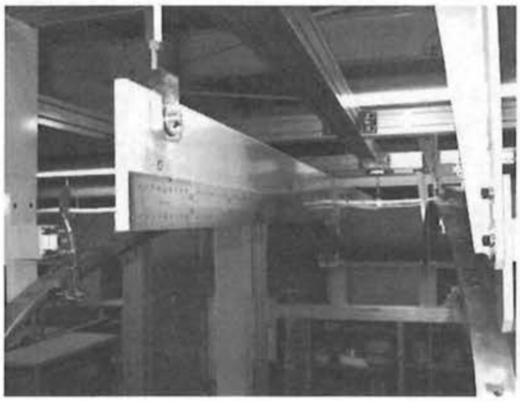


図4　ストレートエッジ

2つの測定方法における測定値の差は、およそ±3 mmの範囲にあることがわかりました。また、その差には規則的な傾向はみられませんでした。したがってこの差の原因は測定対象物の反射率や、ミラーの回転角度による受光レーザの光量変化などといった複数の要素であると考えられます。

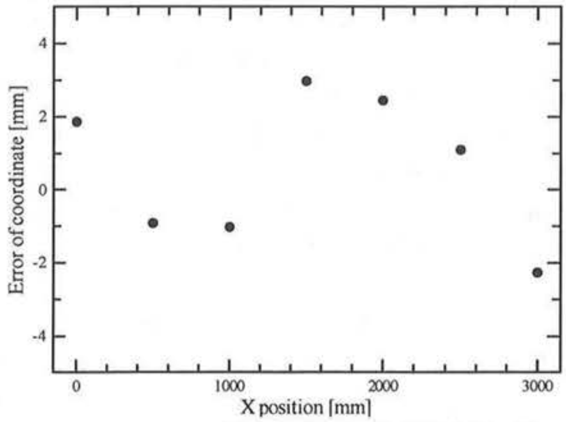


図5　2つの測定方法における測定値の差

（2）タルキを用いた測定精度評価

タルキとは鉄道車両の屋根部に設置させられる部品になります。タルキの写真を図6に示します。タルキの表面形状が歪んでいると、構体全体にも影響がでます。したがって、車両の内部構体を計測する際に、タルキ表面の形状を正確に測定することは重要です。そこで、ストレートエッジを用いたシステムの測定精度評価に加え、タルキを用いた測定精度評価を行うことにしました。

図6　タルキ

図7に、車両構体を模してタルキを高さ約2.5mの位置に固定した実験ステージを示します。ここでは、2本のタルキを固定しました。固定した際の力によって、タルキ自体の形状が変化しないように2本のタルキはクランプで実験ステージに固定しました。また、三次元測定システムの精度評価を行うための基準データはマグネスケールを用いて測定したタルキ表面の形状データとしました。測定は、測定器をタルキの直下に水平に設置し、複数の点を自動で測定するプログラムを作成して、これを用いて約50点を測定しました。図8に、測定結果を示します。

図7　実験ステージ

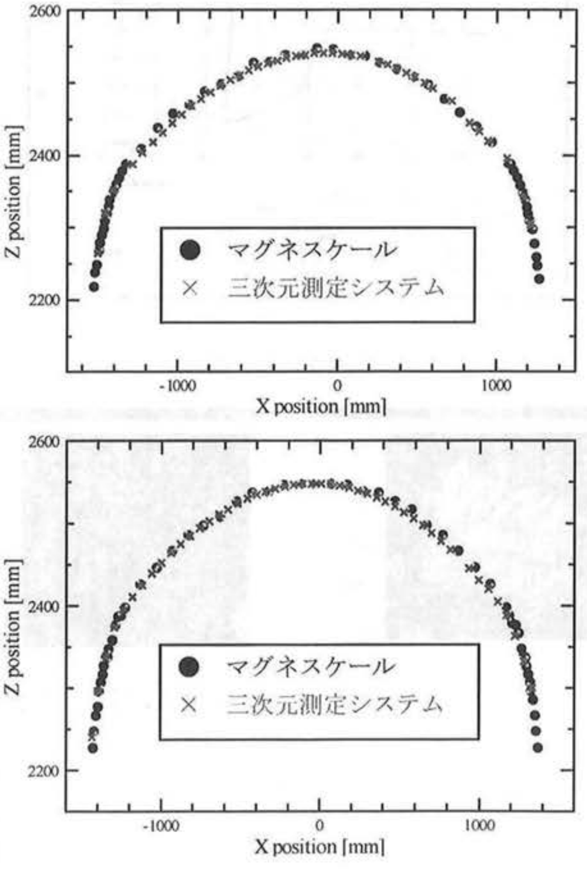


図8　タルキ測定結果

マグネスケールによる測定結果と、三次元測定システムを用いて測定した結果の差は、高さ方向において平均 3.5 mm、最大 5.8mm でした。約 2500 mm 離れた地点を測定したことを考えると、この差は 2500 mm に対して約 0.2% となり、レーザ測長としては比較的精度が高いといえる結果になりました。今回は、一般的な精度を持つ測長器を用いて簡易な構成のシステムを試作し、どの程度の精度が得られるかを確認することを目的としました。結果としては、最大 5.8mm という結果にとどまりましたが、一定程度の精度を達成できる見込みはついたと言えます。そこで、今後は修正工数の低減という目標を考え、この差を±2 mm 程度まで向上させたいと考えます。

5．その他の特徴

試作した三次元測定システムのもう一つの特徴として、測定した計測データを CSV 形式のデータとして保存できるようにしました。そして、このデータは目的により二次元画像や三次元画像として切替えて表示できるようにしました。切り替えは、ソフト上のメニュー選択により行います。以下に二次元画像表示イメージ（図９）と三次元画像表示イメージを示します（図１０）。

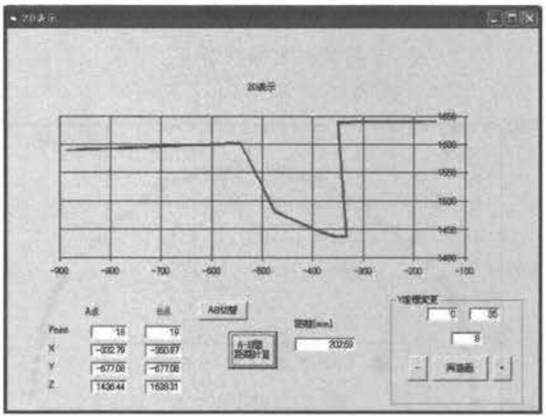
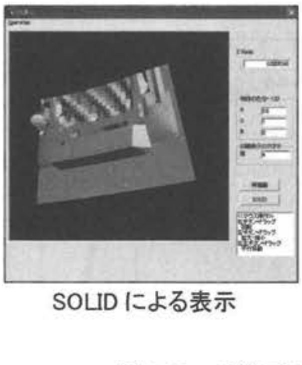
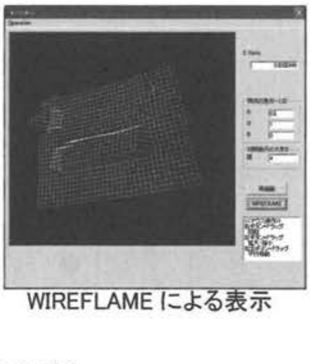


図９　二次元画像表示画面



SOLID による表示



WIREFLAME による表示

図１０　三次元画像表示画面

二次元画像の表示時には、画面上の任意の２点間の点を選択することで、二点間距離の計測もできます。また、三次元画像の表示時には、SOLID 表示と WIREFLAME 表示できます。一例として三次元測定システムにより図１１に示す室内クーラーの吹き出し口を測定したものを示します。

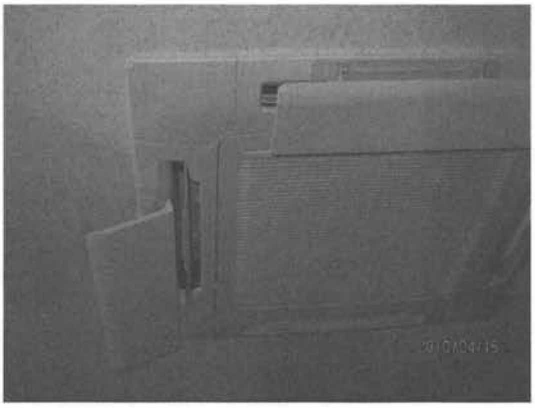


図１１　計測した室内クーラーの吹き出し口

6．まとめ

以上のとおり、今回、鉄道車両用内部構体計測用三次元測定システムを目指したシステムを試作し、車両の内部構体の寸法を精度良く測定する方法の基本的な部分について確認を行いました。システムは、レーザ測長器と 2 枚のガルバノミラーを用いたものとしました。このシステムでは、2 枚のガルバノミラーを操作することによって、レーザ光を任意の方向に偏向できるので、装置を固定したままで、広い領域の三次元座標を計測することができます。これを用いて、ストレートエッジ、鉄道車両用のタルキを測定することによって測定精度の評価を行ったところ、一定程度の成果は確認できたものの、より実用的なシステムを実現するためには更なる精度の向上が必要であることが分かりました。

今後は、ミラーの調整や計測データの検出処理方法を見直すことなどにより測定精度を向上させたいと考えています。また、今回の結果をもとに断面だけではなく車両全体の内寸を測定できる具体的な方法についても検討していきたいと考えています。