

CFRP 製自転車等の衝突試験と 非破壊検査

当会では自転車関連研究開発普及事業として平成 23 年度から 25 年度にかけて CFRP 製自転車の損傷と耐久性に関する調査を実施し、CFRP 特有の層間剥離等の内部損傷を非破壊で調べることが可能な検査機器の開発や、それを用いた調査を行ってきた。また環境・安全のための評価分析調査事業では、平成 25 年度に車輪や完成車の前面からの正面衝突を再現可能な衝突試験機を開発し、正面から衝撃を受けた際の完成車や車輪の破壊の様子を調べることを可能とした。

平成 26 年度は、非破壊検査機器と衝突試験機両方を用いて、CFRP 製自転車に正面から衝撃を付与した際の挙動を調べたので報告する。また、非破壊検査機器を用いて出張検査を実施した状況や、ショップ向けに CFRP 製自転車の損傷と検査に関する講習会を実施したので、併せて報告する。

・ CFRP 製自転車の衝突試験

1. はじめに

平成 25 年度に当所では図 1 に示すような衝突試験機を開発し導入した。本装置は従来衝撃・衝突試験で用いてきた荷重落下方式ではなく、任意の速度でトロリーをぶつける方式を採用しており、車輪や完成車の正面からトロリーの衝突による衝撃を与えることが可能である。

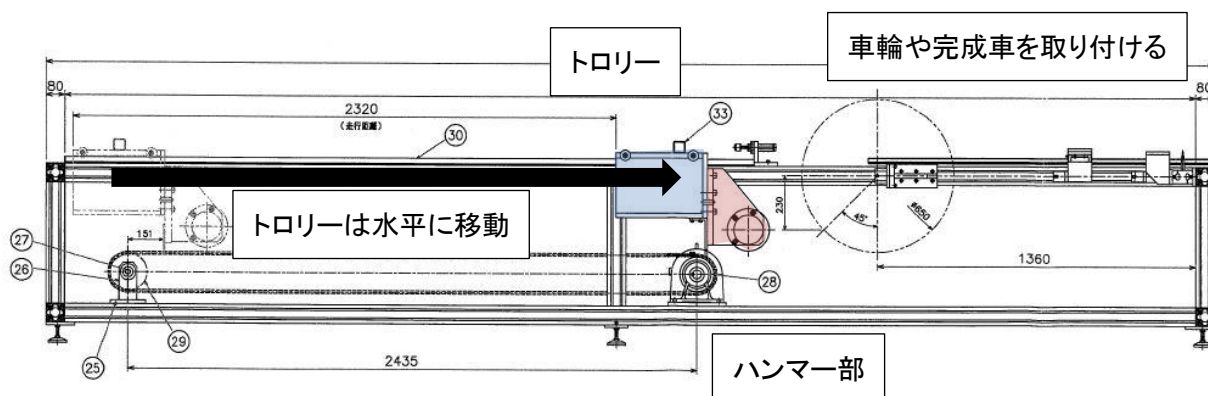


図 1 衝突試験機外観と概要図

平成 25 年度の報告では本装置を用いて車輪の破壊の様子や、完成車破壊の様子を報告したが、平成 26 年度は CFRP 製自転車に前面からの衝突による衝撃を与え、どのような変化が見られたかを報告する。

2. 試験方法と供試品

平成 26 年度の調査時と同様に、自転車が衝突事故などで破壊される状況を再現することとした。大きく衝撃を受ける状況としては、例えば壁などに正面衝突する状況を模擬するため、**図 2**のように、後輪ハブ軸で自転車を固定し、トロリーは impact test の状態で、トロリーの先端形状を壁のような状態（**写真 1**）にし、トロリー重量 100kg、時速 10km で衝突させた際、どのように破壊されるかを調べた。おもりの重量に関しては、あくまで下方力を持たせるためのものであるため、衝突時に前輪が浮きすぎない程度とし、車輪が左右に回転しないよう、ハンドル部に回転抑制ジグを取り付けた。

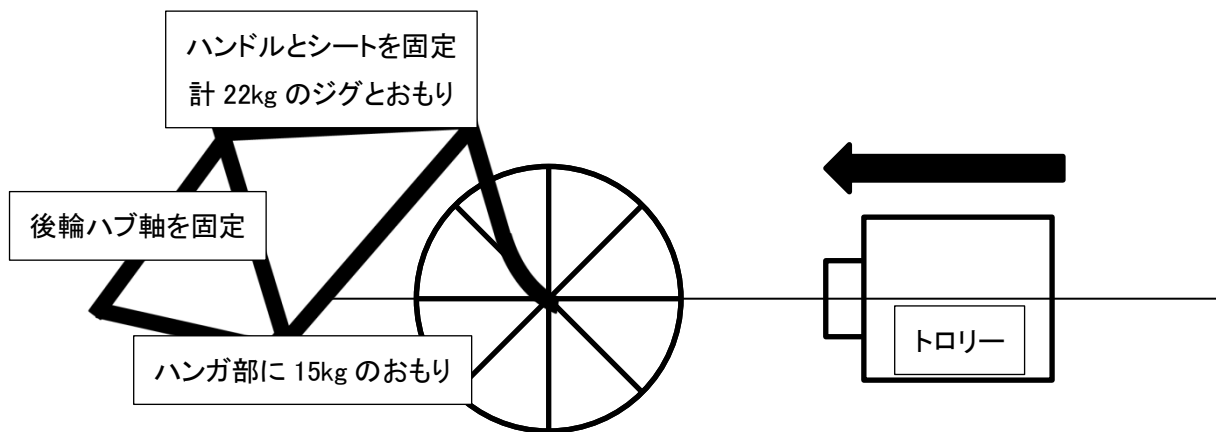


図 2 後輪ハブ軸固定で破壊させる時の模式図

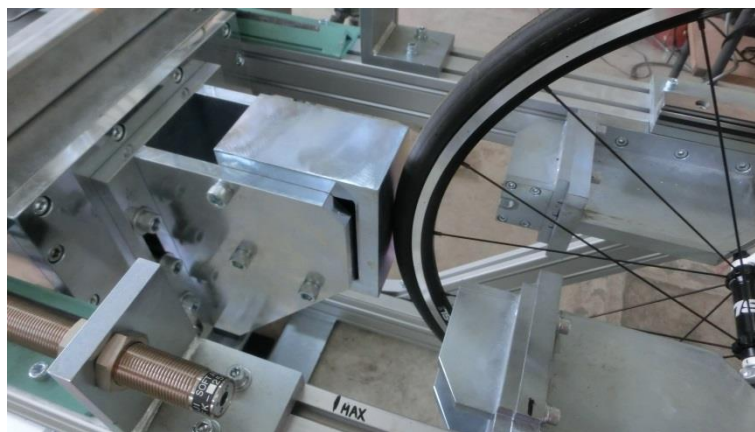


写真 1 トロリーの先端

供試品については、表 1 に示す 13 台を用いた。今回の調査では完成車の壊れ方を調べており、製品の良し悪しは調査対象としていないため、製造業者名は公表しない。

表 1 供試品



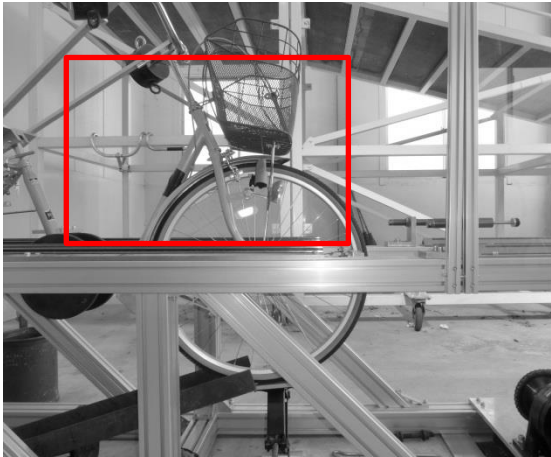

供試品 No.	自転車の種類	フレーム形状	フレーム材料	車輪径
1	シティ車	U 形	鉄系合金	26 インチ
2	シティ車	U 形	アルミ合金	26 インチ
3	小径車(折りたたみ)	H 形(後部に SUS 付)	鉄系合金	20 インチ
4	小径車	H 形	鉄系合金	20 インチ
5	小径車(折りたたみ)	H 形	鉄系合金	20 インチ
6	シティ車	スタッガード形	鉄系合金	27 インチ
7	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
8	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
9	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
10	トラックレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
11	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
12	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ
13	ロードレーサ	ダイヤモンド形	CFRP	27 インチ



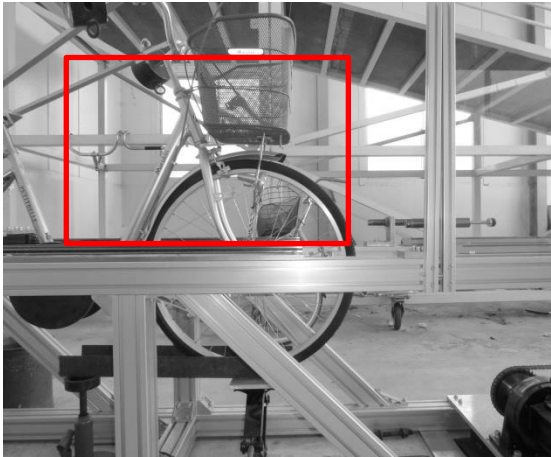

3. 試験結果



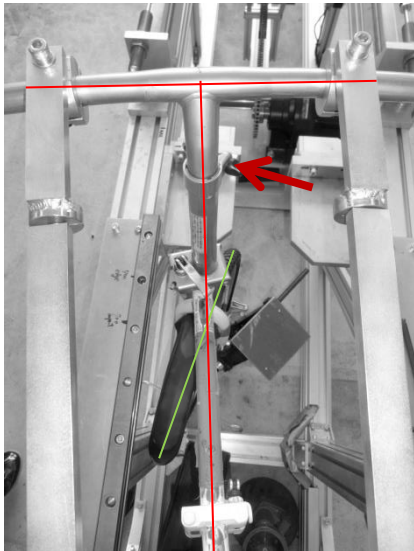
各供試品について、破壊状況などを供試品別に表にして 5~17 ページ目にまとめた。CFRP 製のものについては、必要に応じて表 2 に示す検査条件の非破壊検査を行った。



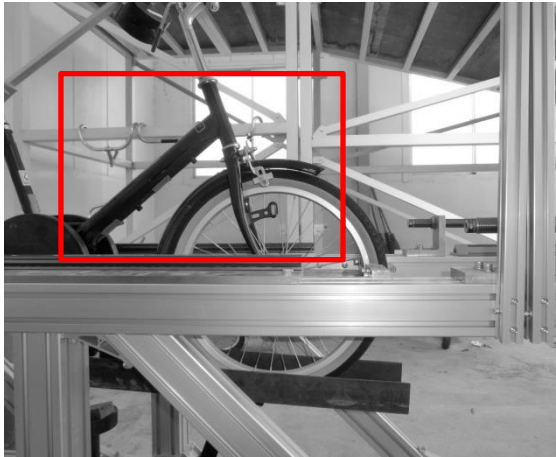

表 2 非破壊検査 検査条件


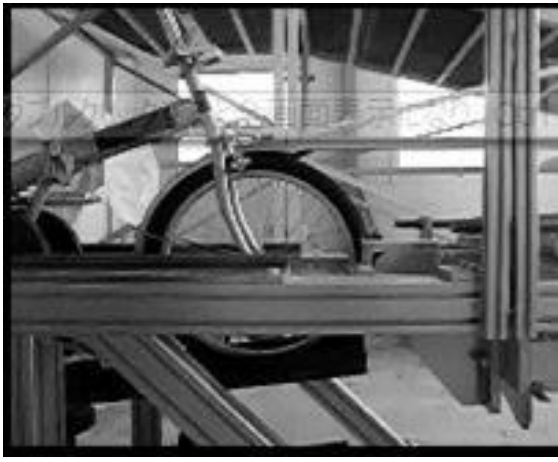
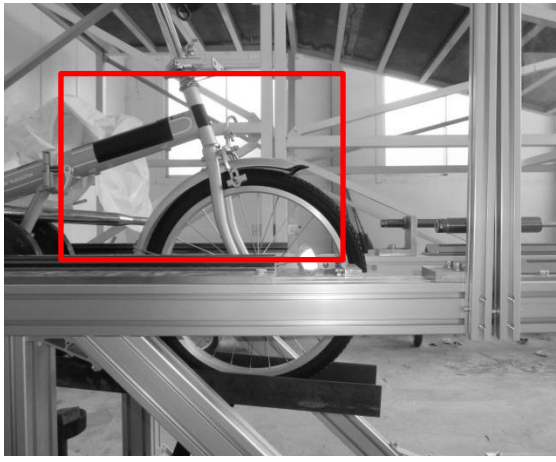

検査装置		Matrixeye™EX+ (開口合成法による超音波探傷)	
プローブ	タイプ・形状・周波数	リニアアレイプローブ フラットタイプ 64ch、10MHz	
超音波の伝達物質	シュー	ソフトシュー	
	接触媒質	ソニコート1:水2	
画像化条件	画像化範囲	X	(32ch) 64mesh × 0.5mm、(64ch) 128mesh × 0.5mm
		Y	1mesh × 1.0mm
		Z	512mesh × 0.01875mm
	サンプリング周波数	80MHz	
	送受信パターン	送信 64ch、受信 9ch 対応	
音速	1450m/s(ソフトシュー)、3000m/s(CFRP)		



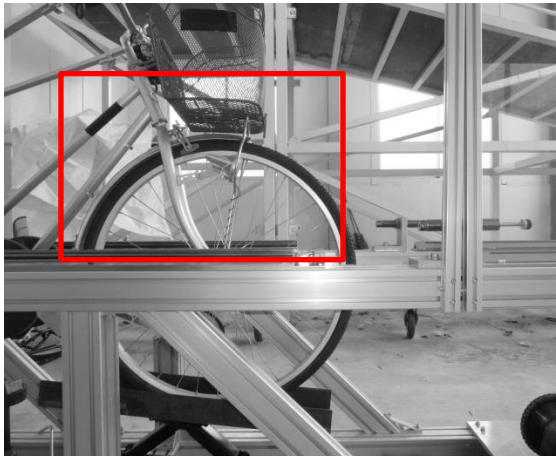

供試品 No	1
自転車の種類	シティ車
フレーム形状	U形
フレーム材料	鉄系合金
車輪径	26 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク曲がる ・下パイプ右側に前輪が逃げる ・ホイールベース 70mm 減少


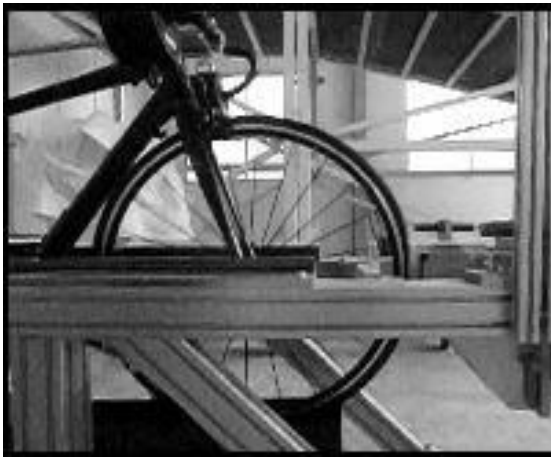

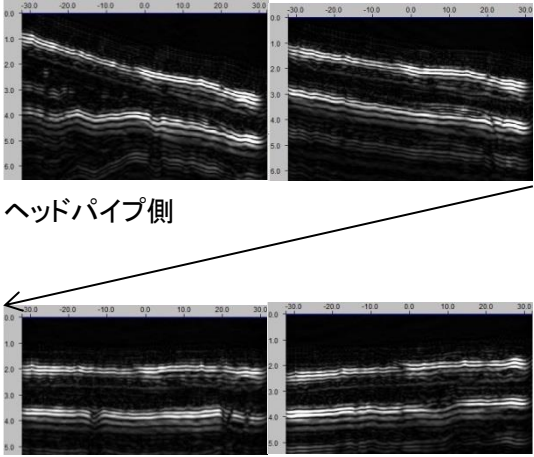
供試品 No	2
自転車の種類	シティ車
フレーム形状	U形
フレーム材料	アルミ合金
車輪径	26 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク曲がる ・泥よけと下パイプが接触 ・ホイールベース 68mm 減少





供試品 No	3
自転車の種類	小径車(折りたたみ)
フレーム形状	H形フレーム(後部に SUS 付)
フレーム材料	鉄系合金
車輪径	20 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	ハンドルに対して車輪が回転した。 (矢印で示すハンドルのクランプ部分で回転)
	





供試品 No	4
自転車の種類	小径車
フレーム形状	H形フレーム
フレーム材料	鉄系合金
車輪径	20 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク曲がる ・ホイールベース 60mm 減少





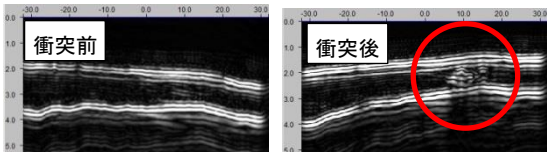
供試品 No	5
自転車の種類	小径車(折りたたみ)
フレーム形状	H形フレーム
フレーム材料	鉄系合金
車輪径	20インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク曲がる ・ホイールベース 55mm 減少




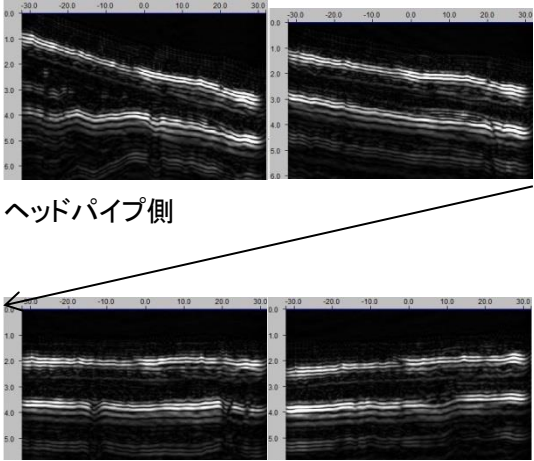
供試品 No	6
自転車の種類	シティ車
フレーム形状	スタッガード形
フレーム材料	鉄系合金
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク曲がる ・ホイールベース 68mm 減少





供試品 No	7
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
試験後外観	下パイプ下面ヘッドパイプ側～中央付近 非破壊検査画像(左図赤枠部、断面図)
	
 <p>前ホーク塗膜に亀裂 ホイールベース変化なし</p>	 <p>ヘッドパイプ側</p> <p>下パイプ中央</p> <p>内部損傷なし</p>



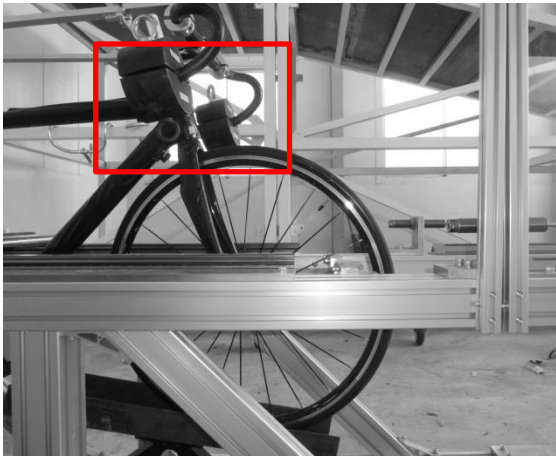

供試品 No	8
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	・前ホーク(ホークステムはアルミ合金製)折損

供試品 No	9
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	 <p>・ヘッドパイプ割れる</p>

供試品 No	10
自転車の種類	トラックレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	<p>・ホークステム根元から折れる(ホークステムはCFRP 製)</p>  <p>・上パイプ上面に層間剥離が生じる</p>

供試品 No	11
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
試験後外観	下パイプ下面ヘッドパイプ側～中央付近 非破壊検査画像(左図赤枠部、断面図)
	
 <p>前ホーク塗膜に亀裂 ホイールベース変化なし</p>	 <p>内部損傷なし</p>

供試品 No	12
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	 <p>・ヘッドパイプ折損</p>

供試品 No	13
自転車の種類	ロードレーサ
フレーム形状	ダイヤモンド形
フレーム材料	CFRP
車輪径	27 インチ
試験前外観	衝突時
	
試験後外観	
	
	<ul style="list-style-type: none"> ・前ホーク(ホークステムはアルミ合金製)が少し曲がる。 ・ホイールベース 13mm 減少 ・内部損傷なし

4. まとめ

今回測定を行った供試品 13 台について、表 3 に結果をまとめた。金属製フレーム・金属製前ホークの供試品については、前ホークが衝突によるエネルギーを吸収し曲がるため、フレームへのダメージはあまり見られなかったが、CFRP 製フレーム・CFRP 製前ホークについては、外観で塗膜の亀裂程度の変化しかないものや、上パイプに層間剥離を生じるもの、ホークステム根元で折損するものやヘッドパイプが割れるものなど、破壊の様子が金属製のものとは異なっていた。このような破壊は一般ユーザーの事例でもあるため、前面衝突の状況は再現できていると言えよう。CFRP 製自転車の破壊の状況は、大事に至るケースも考えられるため、金属製フレームと CFRP 製フレームの破壊特性の違いについては、ユーザーやショップに今後も注意喚起が必要であろう。

表 3 試験結果一覧

供試品 No.	自転車の種類	試験後の様子
1	シティ車	・前ホーク曲がる ・下パイプ右側に前輪が逃げる ・ホイールベース 70mm 減少
2	シティ車	・前ホーク曲がる ・泥よけと下パイプが接触 ・ホイールベース 68mm 減少
3	小径車(折りたたみ)	ハンドルに対して車輪が回転した。 (ハンドルのクランプ部分で回転)
4	小径車	・前ホーク曲がる ・ホイールベース 60mm 減少
5	小径車(折りたたみ)	・前ホーク曲がる ・ホイールベース 55mm 減少
6	シティ車	・前ホーク曲がる ・ホイールベース 68mm 減少
7	ロードレーサ	・前ホーク塗膜に亀裂 ・ホイールベース変化なし ・内部損傷なし
8	ロードレーサ	・前ホーク(ホークステムはアルミ合金製)折損
9	ロードレーサ	・ヘッドパイプ割れる
10	トラックレーサ	・ホークステム根元から折れる(ホークステムは CFRP 製) ・上パイプ上面に層間剥離が生じる
11	ロードレーサ	・前ホーク塗膜に亀裂 ・ホイールベース変化なし ・内部損傷なし
12	ロードレーサ	・ヘッドパイプ折損
13	ロードレーサ	・前ホーク(ホークステムはアルミ合金製)が少し曲がる。 ・ホイールベース 13mm 減少 ・内部損傷なし

・出張非破壊検査による実態調査

・調査概要

平成 25 年度は自転車関連研究開発普及事業にて、レース会場や自転車小売店にて出張非破壊検査を行ったが、平成 26 年度は高等学校の自転車部向けに出張非破壊検査を行ったので報告する。学生が持ち込んだあるいはクラブ内で練習用に用いている自転車 6 台を対象に学生立会のもと、気になる箇所の指示を受けて検査を行った。なお、学校名は公表しない。



写真 2 検査の様子

・調査結果

内部損傷などが見られた 2 台について、表 4 と表 5 に検査結果をまとめた。なお、自転車の外観や銘柄については公表しない。

・まとめ

6 台中 1 台で層間剥離、1 台で亀裂が見られた。昨年行った出張非破壊検査では層間剥離等が見られたのは 35 台中 3 台であったため、損傷などが見られた割合としては今回の調査の方が高い。フレームを先輩から引き継ぎ利用する、使用頻度が高い、あるいは高級品のためなかなか買い替えることができないなどの理由があるようだった。

なお、出張検査後は検査結果を簡易レポートにし、検査結果を学生にフィードバックした。今後も要望があれば随時出張非破壊検査を実施したい。

表 4 供試品①

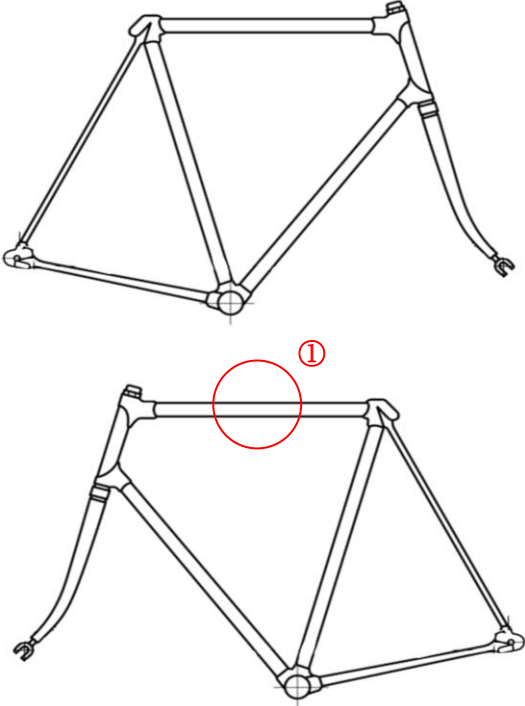

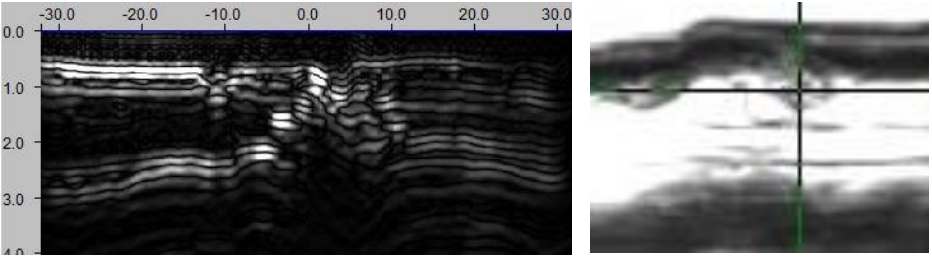
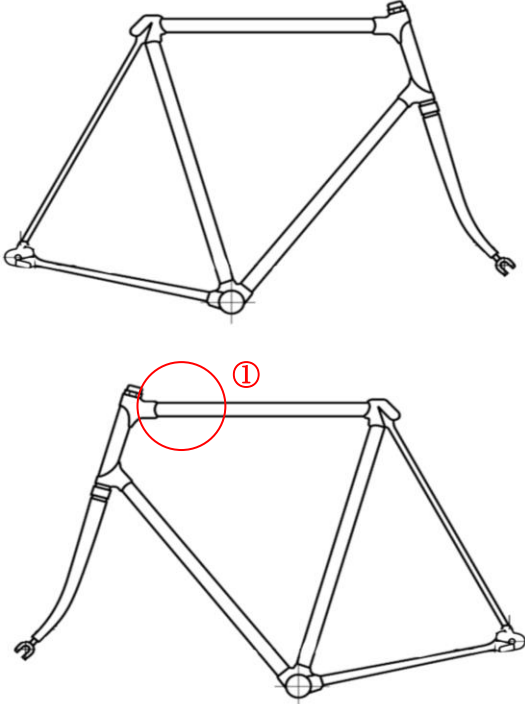
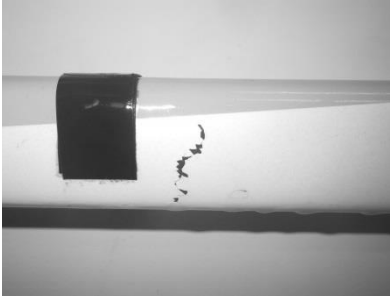
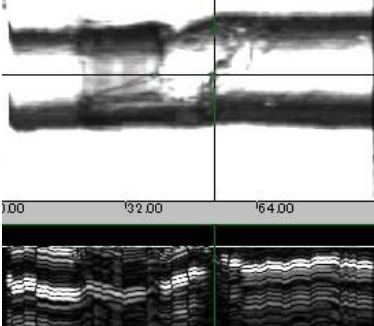
<p>検査箇所</p>	<p>全体を簡易検査、ボイドや層間剥離等が見られた箇所を番号で示す</p> 
<p>検査箇所の外観</p>	<p>①箇所は塗膜の剥離。その他全体的に擦り傷等はある。</p> 
<p>検査箇所内部の状態</p>	<p>①上パイプ左側面ヘッド側</p>  <p>13mm × 10mm 程度の層間剥離</p>

表 5 供試品②

<p>検査箇所</p>	<p>全体を簡易検査、ボイドや層間剥離等が見られた箇所を番号で示す</p> 
<p>検査箇所の外観</p>	<p>①箇所は亀裂。その他全体的に擦り傷等はある。</p> 
<p>検査箇所内部の状態</p>	<p>①上パイプ左側面ヘッド側</p>  <p>亀裂(内表面まで貫通している)</p>

・カーボンフレームの内部損傷を見つける講習会

・概要

平成 23 年度より、CFRP 製自転車の内部損傷を非破壊で検査する方法の研究開発について、損傷に関する調査と非破壊検査機器の開発を実施し、CFRP 製自転車の基礎データ収集を行ってきた。平成 24 年度から、自転車製造販売業者や自転車小売店などに、本事業の取り組みを紹介するとともに、CFRP 製自転車の安全利用と非破壊検査普及を目指し、広報、啓発活動の一環として、「カーボンフレームの内部損傷を見つける講習会」を開催している。平成 25 年度実施分については、5 月に追加で講習会を行い、さらに平成 25 年度調査分を含めての講習会を 2～3 月に実施した。

平成 26 年度については当初実施予定ではなかったが、引き続き開催要望が寄せられたため講習会を実施した。

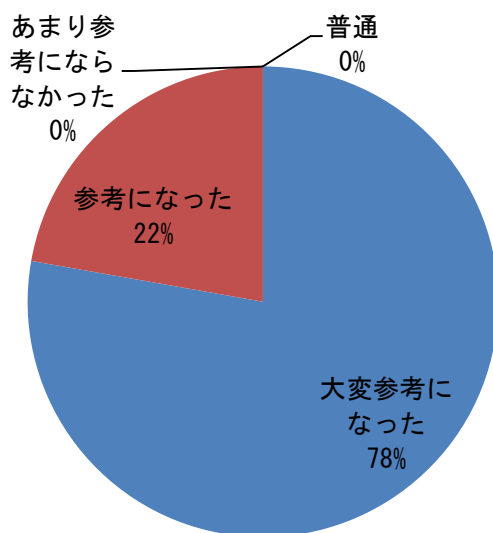
日程、開催場所	大阪:平成 27 年 3 月 11 日(水)13:30~16:30 当会技術研究所会議室 東京:平成 27 年 3 月 5 日(木)15:00~17:00 自転車総合ビル会議室 (3 月 5 日東京開催分については、東日本方面からの申込者に対応するため、簡易的に実施した)
受講者数	21 人(欠席 2 名)
講演内容	CFRP 製自転車の損傷に関する調査と検査方法 (講師:当会技術研究所 研究開発部 杉谷 一郎) 当会事業で実施してきた CFRP 製自転車の損傷と耐久性の関連調査等を講演。 講演後、自転車小売店向け非破壊検査サービスをご利用いただくための、非破壊検査の概要説明と小売店の登録会と、大阪会場では技術研究所内見学会を実施。



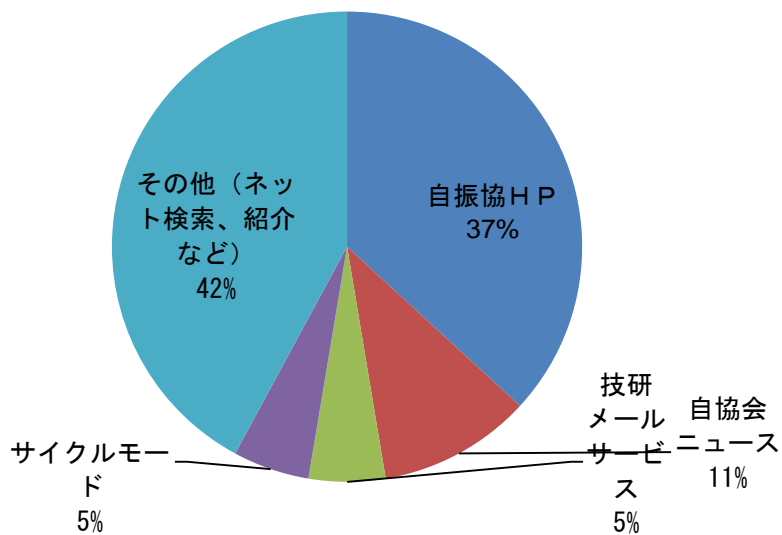
写真 3 講習会の様子

・アンケート結果（回答数 18）

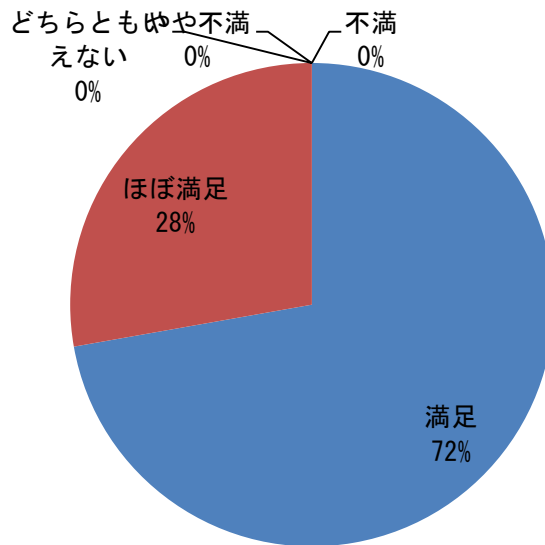
「CFRP 製自転車の損傷に関する調査と検査方法」について



講習会を知ったきっかけについて(複数回答可)



講習会全体を通して



その他、受講者から受けた主な質問と回答

・CFRP の紫外線による劣化はあるか？

塗装をきちんと施していれば問題はないと考えられる。表面の CFRP は化粧板になっていることもあるので、変色する等しても、母材に影響しているかどうかはわからない。CFRP 部分以上に金属部分や他の樹脂部分の劣化もあるため、保管状態をよくするに越したことはない。

・衝撃に対してどの程度積層していれば十分であるのか？

製品ごとに炭素繊維や樹脂のグレードは様々であり、塗装の厚みや内部構造も様々であるので、何とも言えないが、目安として層間剥離や亀裂を生じているものについてはパイプの肉厚 1mm 以下であることが多い傾向がある。しかし製品差・個体差もあるため一概には言い切れない。

・マトリックスアイを使用する理由は？

開口合成法により、正確にわかりやすく簡易的に非破壊検査するため。A スキャンだけでは測定ノウハウが相当必要となる。また、携帯性も重視した。

・非破壊検査に要する日数は？

最短で、検査体到着日の翌日には検査結果を出すことは可能であるが、担当者 1 名で検査を行っているため、検査が混んでいたたり、担当者が不在等の場合もあるため、検査体到着の際に、スケジュールを連絡する。また報告書については、さらに日数を要する。