

自転車関連研究開発普及事業

平成 24 年度事業実施報告書

CFRP 製自転車の損傷に関する調査と 検査方法について（第二報）

平成 25 年 3 月

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

はじめに

当協会では、自転車関連研究開発普及事業として、カーボン等高付加価値自転車の非破壊検査方法開発普及事業を進めており、平成23年度はその初年度として、CFRP製自転車の実態調査及び検査のための非破壊検査装置の開発を実施しました。

平成 24 年度は、検査装置の改良に加え、開発した検査装置を用いて CFRP 製自転車フレームの損傷と耐久性に関する基礎データの収集を行い、一方で非破壊検査普及のための広報、啓発活動を行うことで、CFRP 製自転車非破壊検査方法の確立・普及を図り、CFRP の損傷に起因する製品事故の未然防止、自転車競技の活性化、及び高級自転車の普及に資することを目的として事業を実施してきました。

なお、事業の遂行に際しましては、学識経験者および業界有識者で構成する「CFRP製自転車検査方法開発普及検討会」を設置の上、学識経験者、自転車製造業者、素材メーカー、業界団体と連携して事業を実施しました。

本報告書をCFRP製自転車の安全普及、安全な取り扱いの参考として活用いただければ幸いです。

財団法人 自転車産業振興協会

会長 野澤 隆寛

目次

| | |
|---|----|
| 1. 事業実施の背景と目的 | 1 |
| 2. サイクルモードでのアンケート調査..... | 2 |
| 3. 非破壊検査装置の改良 | 9 |
| 3.1 狭隘部用フラットプローブ..... | 9 |
| 3.2 コーナー部用プローブ..... | 11 |
| 4. CFRP 製自転車フレームの損傷と耐久性の関連調査..... | 13 |
| 4.1 層間剥離による圧縮強度への影響について..... | 13 |
| 4.2 損傷と耐久性の調査－試験内容..... | 17 |
| 4.3 新品状態でのフレームの耐久性と疲労試験前後での変化..... | 23 |
| 4.4 衝撃を付与した CFRP 製自転車フレームの耐久性（下パイプヘッド側左側面に落下衝撃） | 27 |
| 4.5 衝撃を付与した CFRP 製自転車フレームの耐久性（上パイプ中央左側面に落下衝撃） | 30 |
| 4.6 衝撃を付与した CFRP 製自転車フレームの耐久性（坂道落下による衝撃付与） | 32 |
| 4.7 衝撃を付与した CFRP 製自転車フレームの耐久性まとめ..... | 35 |
| 4.8 損傷履歴のわかる CFRP 製フレームの耐久性調査..... | 36 |
| 4.9 今回の調査内容を踏まえた CFRP 製自転車の検査方法についての提案 | 49 |
| 5. CFRP 製自転車部品の損傷と耐久性の関連調査..... | 50 |
| 5.1 前ホークの損傷と耐久性の関連調査..... | 50 |
| 5.2 シートポスト、ハンドルバーの損傷と耐久性の関連調査..... | 53 |
| 6. まとめ | 57 |

1. 事業実施の背景と目的

CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastic）は従来自転車で多く用いられてきたクロモリ鋼やアルミ合金などの構造材と比較して、力学特性が優れている、軽量である、腐食しないなどの利点があることから、主にレース用の自転車フレーム・部品に採用され、近年広く普及しつつある。しかし CFRP の特性として、外部から衝撃を受けると表面上は損傷が無いにもかかわらず積層間で剥離などを生じ、それにより力学的強度低下が発生することが知られている。

CFRP は、従来から自転車で使用されてきたクロモリ鋼に比べ歴史が浅い素材であるが、近年その進歩が著しい素材である。今後も技術進歩や低価格化により、CFRP の自転車への利用はますます進むと考えられるが、金属とは異なる特性により、今までにない事故やトラブルが起きることも考えられる。損傷が疑われる場合の使用中断に関する警告は、メーカーや専門店等で独自に行われているが、その判断はショップやユーザーに委ねられているのが現状である。さらに CFRP 製自転車フレームは高価であるため、多少の損傷があっても継続して使用するユーザーもいるようである。

そこで、製品に起因する事故を未然に防止するため、CFRP 製自転車の損傷実態調査と自転車用途に特化した非破壊検査機器の開発研究を平成 23 年度より 3 年計画で進めている。図 1 に事業の概要を示す。平成 23 年度実施内容の報告については、平成 23 年度事業実施報告書「CFRP 製自転車の損傷に関する調査と検査方法について」¹⁾ をご覧いただき、本報告書では平成 24 年度実施分を報告する。

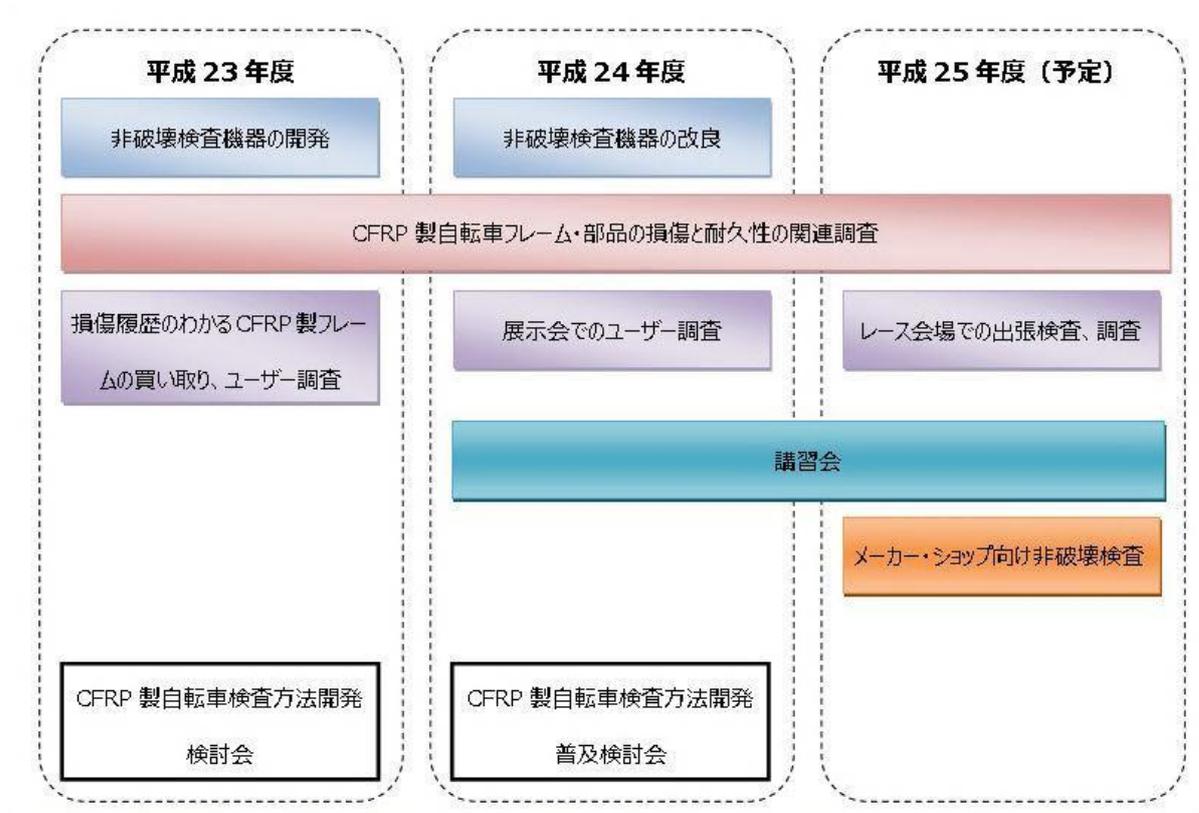


図 1 自転車関連研究開発普及事業の概要

2. サイクルモードでのアンケート調査

平成 24 年 10 月に開催された「サイクルモードフェスタ 2012 in OSAKA」、11 月に開催された「サイクルモードインターナショナル 2012」で非破壊検査に関するブースを出展し、その際に一般ユーザーや自転車販売店などを対象にアンケート調査を実施した。調査の概要を表 1 にまとめた。

表 1 アンケート調査概要

| | |
|------|--|
| 実施場所 | サイクルモードフェスタ 2012 in OSAKA、 サイクルモードインターナショナル 2012 当会ブースにて |
| 実施日時 | 平成 24 年 10 月 6 日（土）～10 月 8 日（月） 平成 24 年 11 月 2 日（金）～11 月 4 日（日） |
| 回答数 | 386 人（男性 360 人、女性 24 人+後日アンケートを送付いただいた男性 2 人） |

以下、アンケート調査結果についてまとめた。

○ ブース来場者の年齢構成

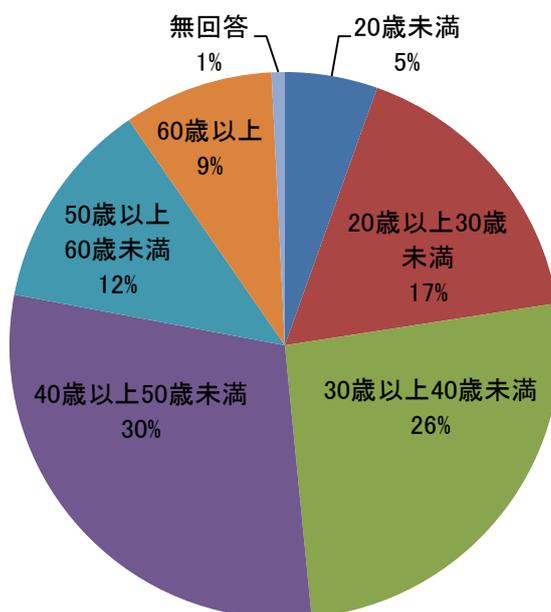


図 2 ブース来場者の年齢構成 (n=386)

最も多かったのが 40 代、次いで 30 代、20 代であった。

○ CFRP 製自転車の使用用途

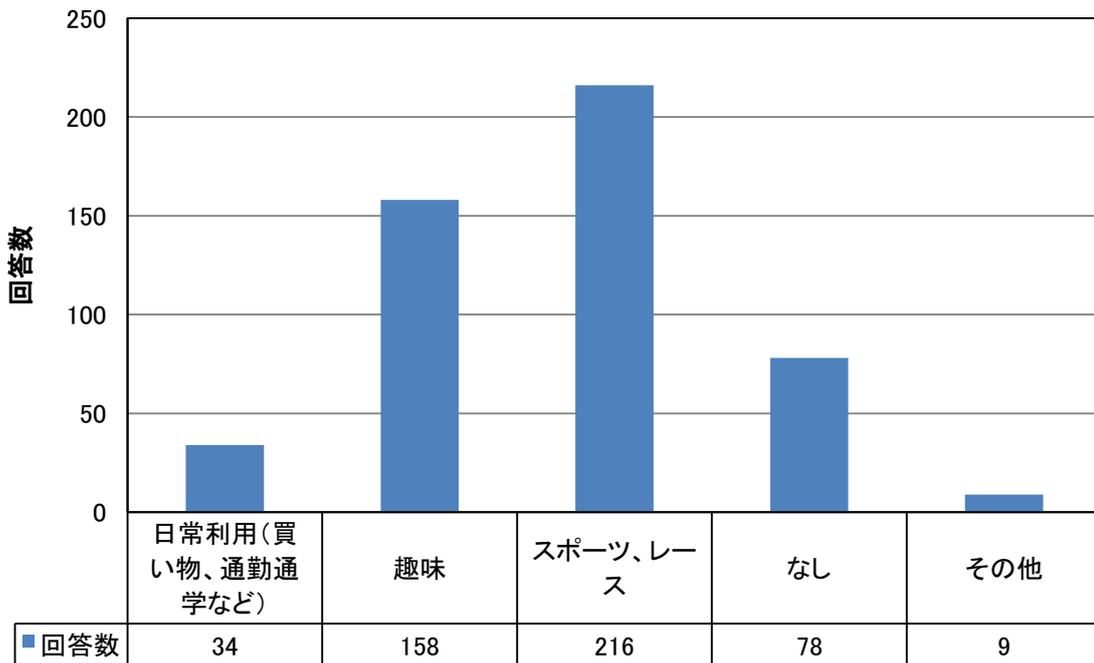


図 3 アンケート回答者の CFRP 製自転車の使用用途 (n=386、複数回答可)

アンケート回答者の約 8 割が CFRP 製自転車を所持している、または店舗で取り扱っている人であった。CFRP 製自転車所有者の使用用途について図 4 にまとめた。

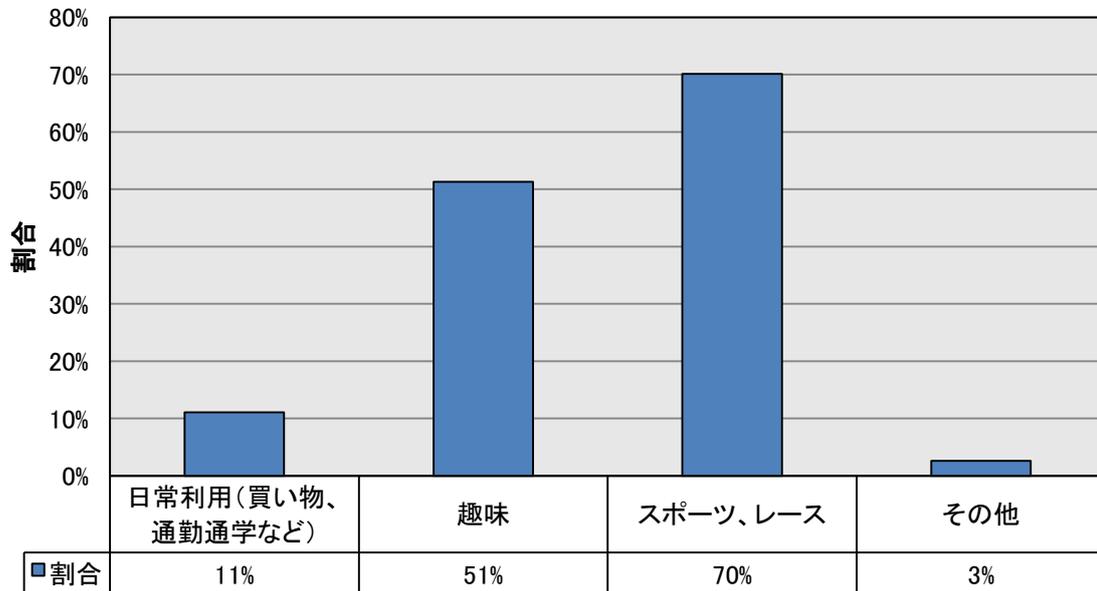


図 4 CFRP 製自転車所有者の使用用途 (n=308、複数回答可)

CFRP 製自転車を所持している人のうち、7割がスポーツ、レース用途として使用しており、5割が趣味で使用していた。日常利用しているのは約 1割であり、CFRP 製自転車はその性能を活かして使用されていると言える。

○ CFRP 製自転車の気になるところ

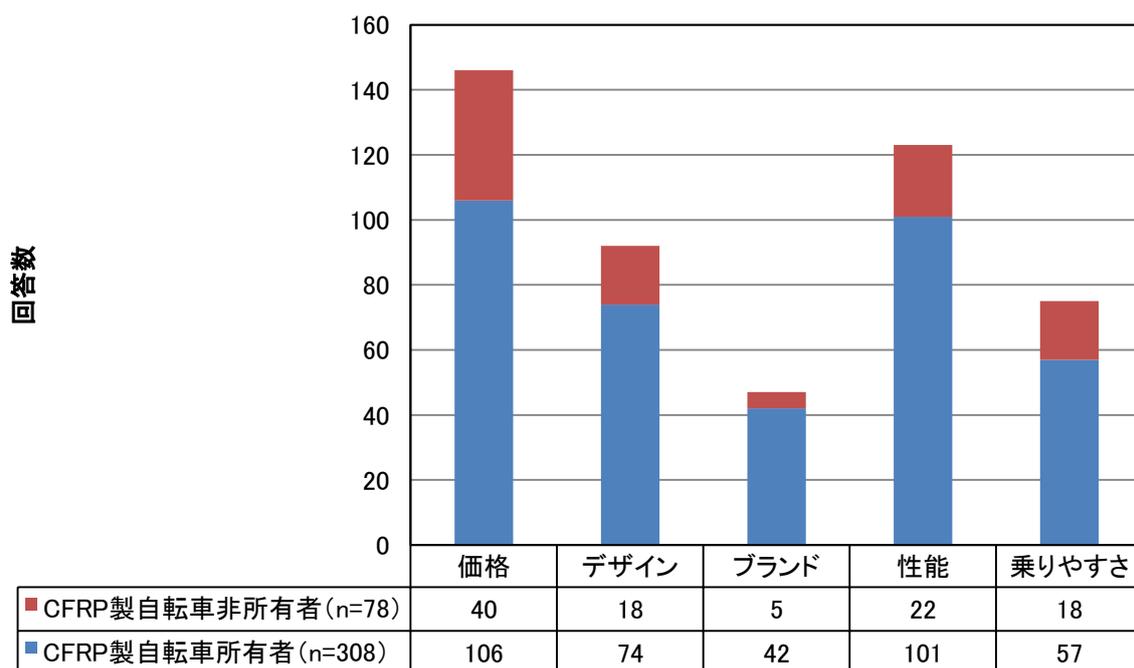


図 5 CFRP 製自転車の気になるところ（ポジティブイメージ）（n=386、複数回答可）

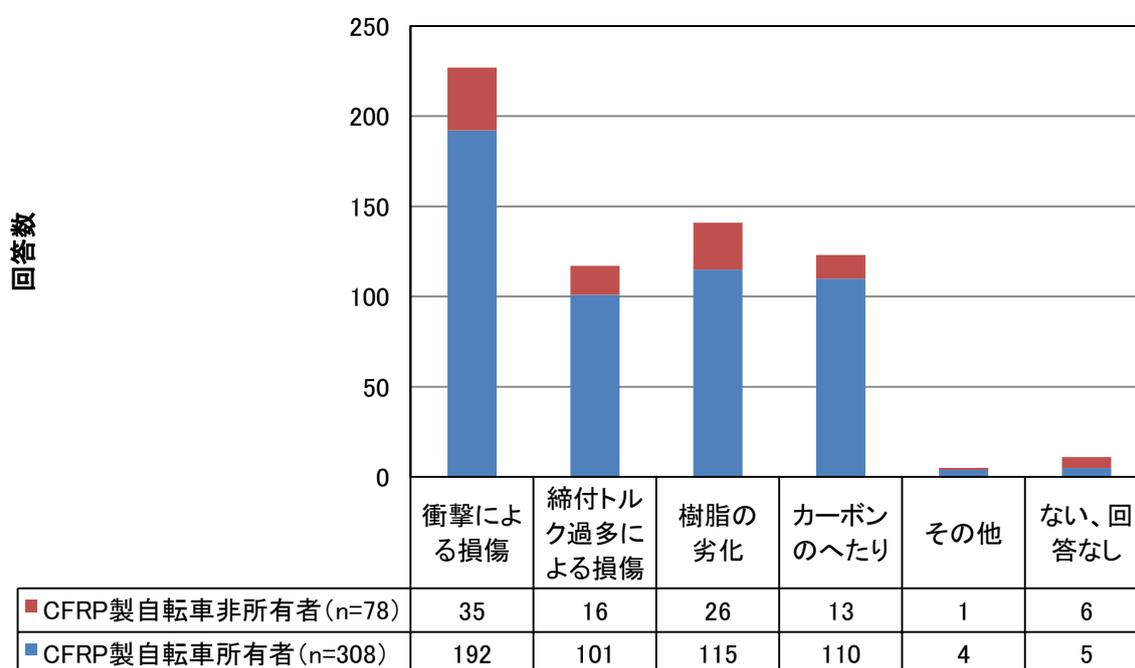


図 6 CFRP 製自転車の気になるところ（ネガティブイメージ）（n=386、複数回答可）

まず、CFRP 製自転車の気になる点のポジティブなイメージとして、図 5 より、価格や性能を気にする人が多く、CFRP 製自転車といえば、高価格で高性能であるというイメージがあるようだ。近年様々なブランドで CFRP 製自転車が販売されているが、ブランドを気にして

いる人は意外にも少なかった。

次に、CFRP 製自転車の気になる点のネガティブなイメージとして、図 6 より、衝撃による損傷を気にしているユーザーが全体の 6 割に及んだ。他のネガティブイメージと比較しても回答数が多い結果となっていた。これは当会ブースが説明していたことも理由の一つと考えられるが、書籍やショップ、製造業者による取扱注意の説明がある程度浸透しているとも言える。その結果を顕著に表すデータとして、CFRP 製自転車所有者・非所有者別に分けたものを図 7 に示す。

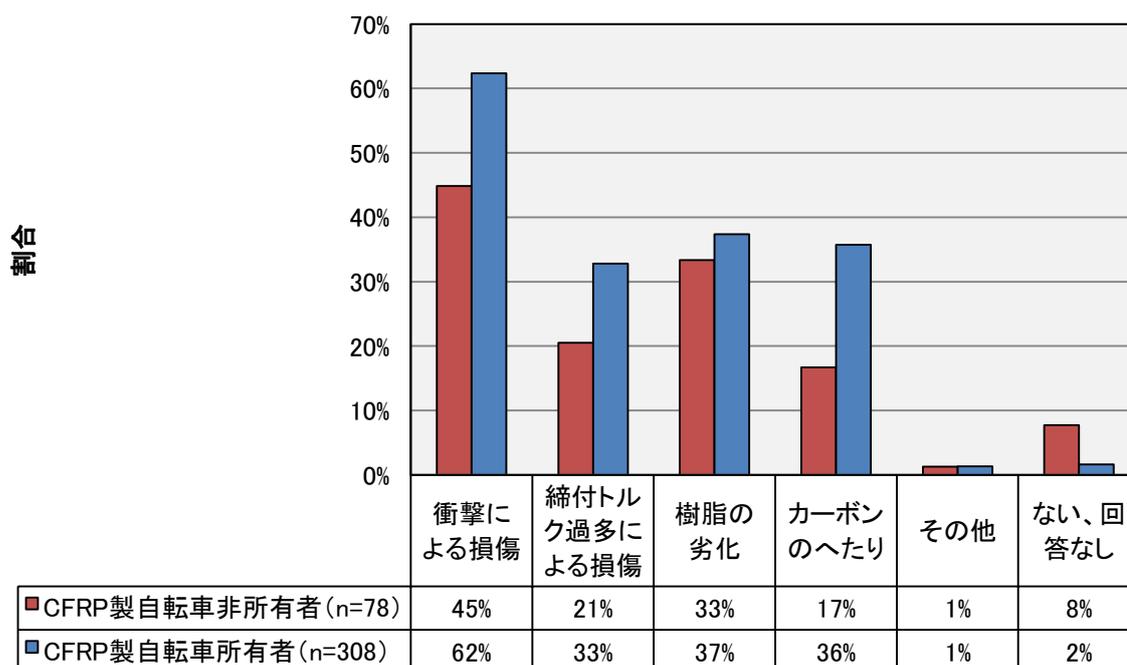


図 7 CFRP 製自転車所有者・非所有者別 CFRP 製自転車の気になるところ
(ネガティブイメージ) の回答割合

図 7 より、それぞれの項目について、CFRP 製自転車非所有者と比較し、所有者が気になると答えた割合が 衝撃による損傷、締付トルク過多による損傷、カーボンのへたり で10%程度多かった。ユーザー自身が購入し、使用することで取扱い方法や性能について興味を持つ結果が反映されていると言える。樹脂の劣化については所有者と非所有者で大差なかったが、これはフレームの素材にかかわらず、自転車に使用されている樹脂部品が劣化したという経験によるものと思われる。

○ CFRP 製自転車の取り扱い方法に関する情報入手先

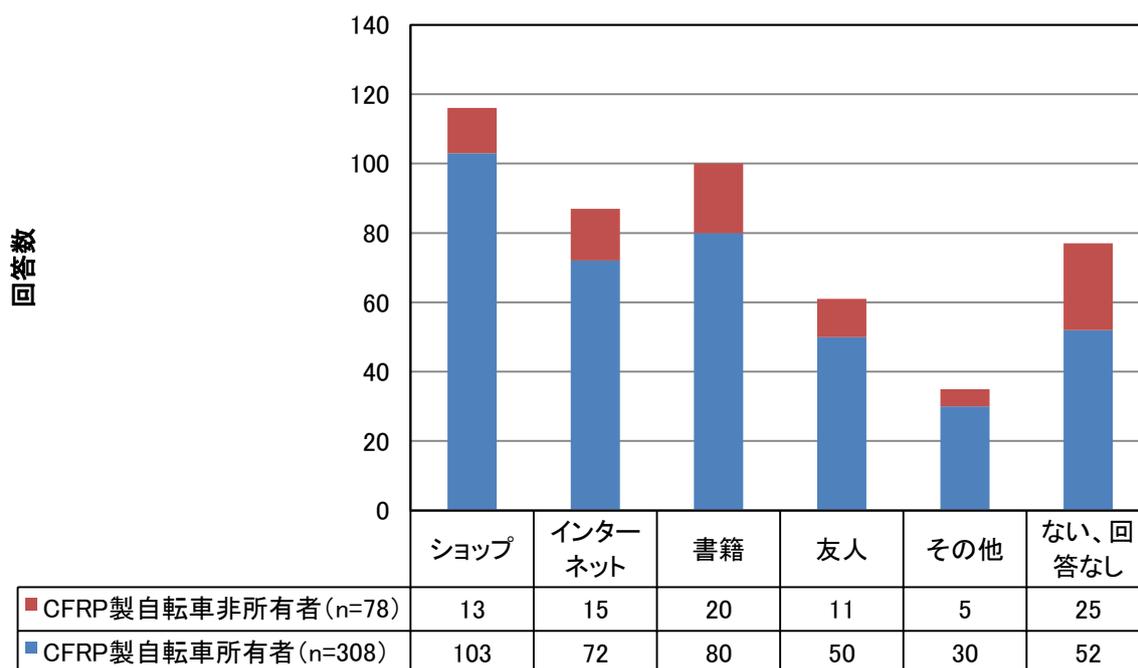


図 8 CFRP 製自転車の取り扱い方法に関する情報入手先 (n=386、複数回答可)

図 8 より、ショップ、書籍、インターネットから情報を得ていることが多いと分かった。しかし、情報を得ていない(回答なしを含む)と回答した人も全体の約 2 割いた。次に、CFRP 製自転車所有者・非所有者別に分けたものを図 9 に示す。

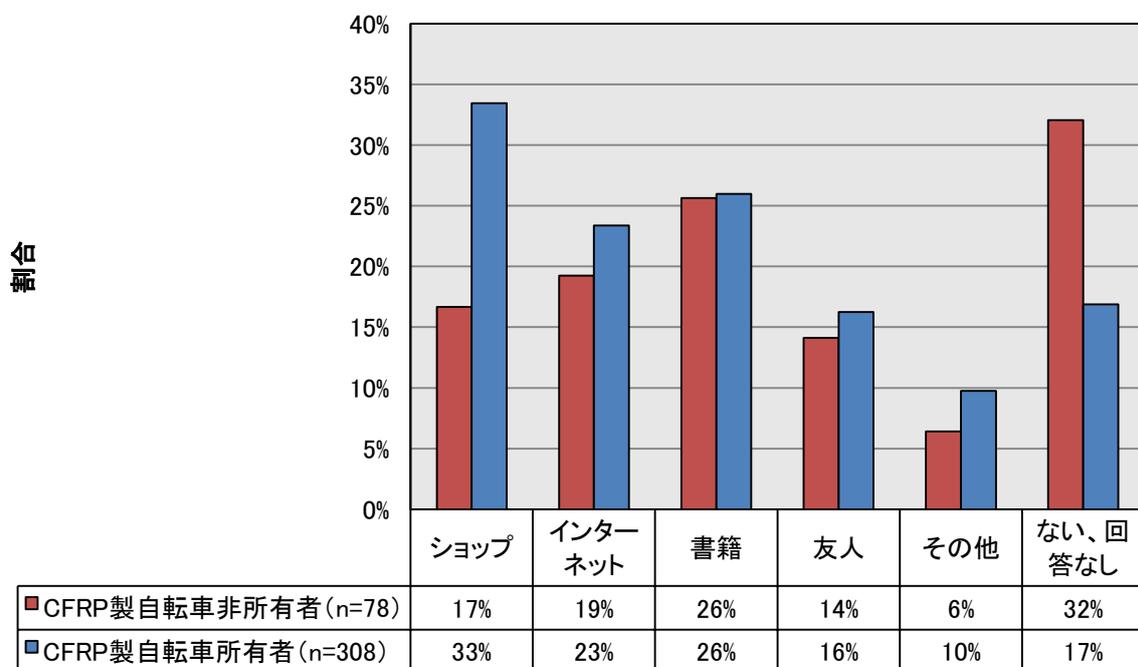


図 9 CFRP 製自転車所有者・非所有者別
CFRP 製自転車の取り扱い方法に関する情報入手先の回答割合

図 9 より、CFRP 製自転車所有者はショップから情報を入手する割合が多かった。また書籍から情報入手する割合は所有者、非所有者問わず 3 割弱いた。情報を得ていない人が約 2 割おり、非所有者では情報を得ていない（回答なしを含む）割合が最も多かったことから、ショップでの情報伝達は自転車ユーザーにとっては重要な手段であると言えそうだ。

○ CFRP 製自転車のトラブル経験

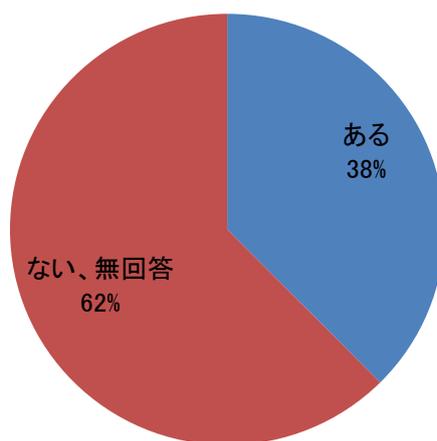


図 10 CFRP 製自転車について、何らかのトラブルを経験した、見かけた (n=386)

図 10 より、アンケート回答者の約 4 割が CFRP 製自転車に関する何らかのトラブルを経験した、見かけたと答えた。その内訳としては走行中の落車、転倒、事故が大半を占めていた。

次にトラブル時のその後の対応について 67 人に回答いただいたが、その内容は大きく 5 つに分類することができた。その回答の割合を図 11 にまとめた。

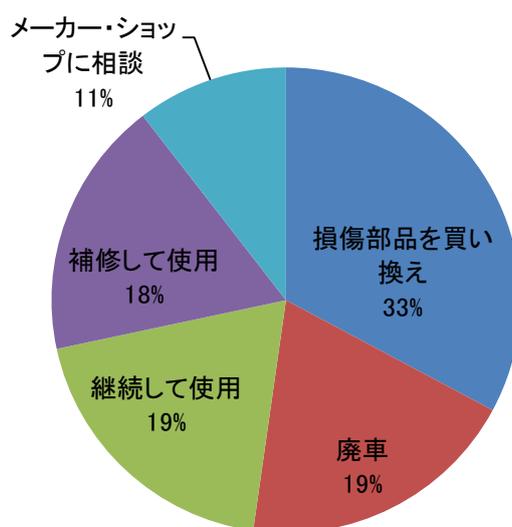


図 11 トラブル時のその後の対応 (n=67)

損傷部品を買い換えるあるいは廃車にするというように、損傷の影響をなくしてしまう対処方法をとった人が回答者の約 5 割、継続使用のように損傷の影響が残ったまま使用する人が回答者の約 2 割いた。先ほどの取り扱いに関する情報入手先の回答において、情報を入手していないと答えた人も約 2 割だったことから、2 割程度は、CFRP に関する注意なしに CFRP 製自転車を使用している可能性がある。

○ CFRP 製自転車の非破壊検査について、損傷した際に活用したいか

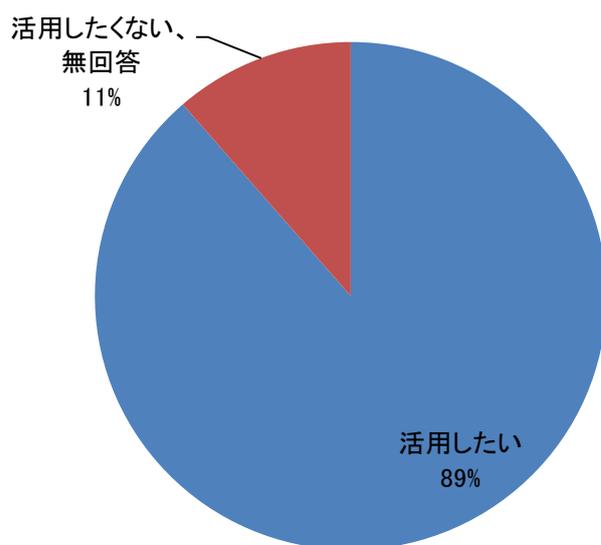


図 12 CFRP 製自転車の非破壊検査について、損傷した際に活用したいか (n=386)

図 12 より、アンケート回答者のうち、約 9 割が検査を活用したいと答えた。活用したくない主な理由としては、「価格次第」、「補修してほしい」、「実績がまだない」といった意見があった。

3. 非破壊検査装置の改良

平成 23 年度に開発した非破壊検査装置では、3 種類のプローブを開発し、代表的な CFRP 製自転車の側面の非破壊検査が概ね可能であった。しかし、測定困難な箇所として、以下の 2 点が挙げられた。

- ・ 前ホーク足の間や後三角の内側などプローブが入り込まない狭隘部
- ・ パイプが交差する箇所やホークステムとホーク肩の接合部等のコーナー部

これらの課題を解決するため、新たに 2 種類のプローブを開発した。

3.1 狭隘部用フラットプローブ

3.1.1 概要

平成 23 年度に開発したソフトシュー付フラットプローブで、良好な非破壊検査画像取得ができたことから、本プローブでは性能はそのままにプローブサイズを小さくすることを目指し、開発を実施した。目標値として

- ・ 平成 23 年度開発分のソフトシュー付フラットプローブと同等の測定精度であること
- ・ 35mm の隙間でプローブが走査可能であること

の 2 点を設定した。図 13 にイメージ図を、写真 1 に開発した狭隘部用フラットプローブを示す。

写真 1 に示すように、プローブ高さ 15mm、32ch のフラットプローブをもとに、多少の曲面、凹凸に対応するため、厚さ 10mm のソフトシューをテフロンテープで取り付け、最大高さ 25mm を実現した。テフロンテープは、測定対象との摩擦力を下げる役割も兼ねており、ソフトシューを覆うような形で貼り付けることとした。

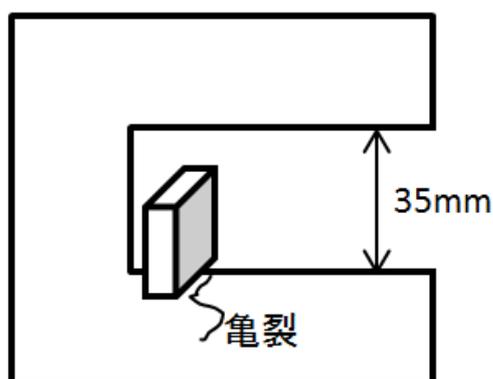


図 13 狭隘部用フラットプローブの測定イメージ



写真 1 開発した狭隙部用フラットプローブ（上：外観、下：使用時の様子）

3.1.2 性能測定結果

同一の前ホークを用い、今回開発した狭隙部用フラットプローブによる内表面画像と、測定精度の高い10MHz、64chフラットプローブを用いた水浸法（水距離30mm）による内表面画像を比較した。それぞれのスキャン画像を図 14に示した。

図 14より、ソフトシューを使用しているにも関わらず、同等の画像を得ることができた。

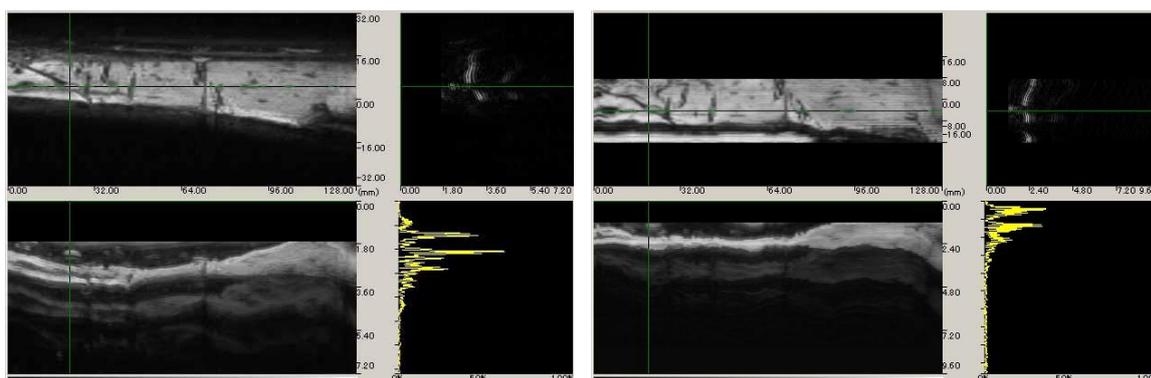


図 14 フラットプローブ（10MHz、64ch）水距離 30mm による内表面画像（左）と今回開発したフラットプローブ（10MHz、32ch）ソフトシューによる内表面画像（右）

3.2 コーナー部用プローブ

3.2.1 概要

これまで開発してきたプローブは面のスキャンを前提にしていたため、超音波を検査物表面に垂直に入射する垂直探傷を採用してきた。しかしコーナー部を測定するためには、垂直探傷では測定が不可能であることが多いため、斜角探傷を行う必要がある。それぞれの違いを図 15 に示す。調べたい対象が黄色の丸であるとして、垂直探傷では丸の部分に超音波が入射しないため、当然反射波を測定することができない。一方斜角探傷では丸の部分に超音波を入射することができるため、測定可能となる。

そこで、斜角探傷用のプローブを開発した。実物の外観を写真 2 に示す。

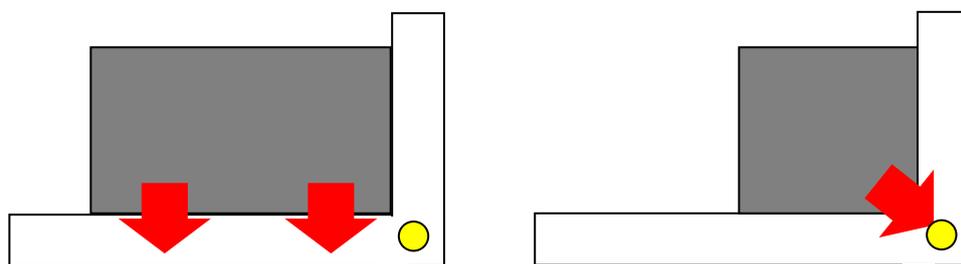


図 15 垂直探傷と斜角探傷の違い（左：垂直探傷、右：斜角探傷）

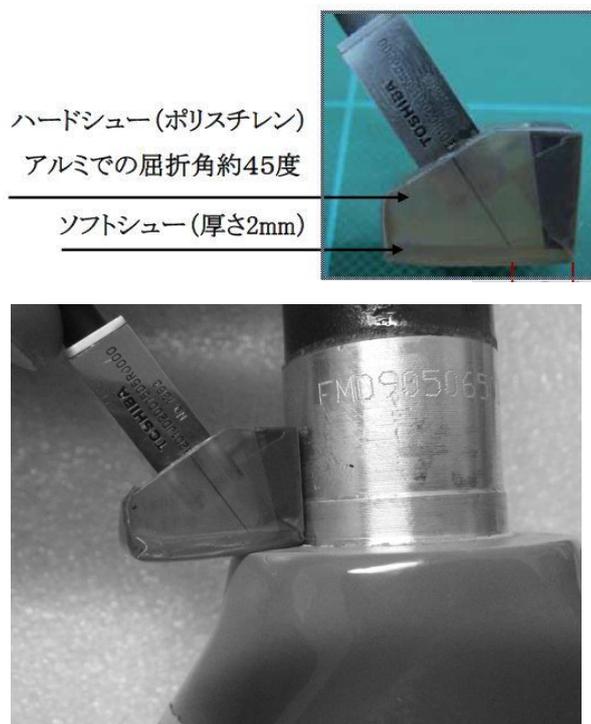


写真 2 開発したコーナー部用プローブ（上：外観、下：使用時の様子）

3.2.2 性能測定結果

ホークシステム根元に亀裂のある前ホークを用いて、亀裂の検出を行った。検査結果を図 16 に示す。

図 16 の上の画像が、シューをコーナー部（ホークシステムの根元）に最接近させてホークシステムの全周を探傷した場合、下の画像がシューをホークシステム上側に 5mm 離れた場合の画像であるが、両方とも損傷の様子が明瞭な画像を採取できた。

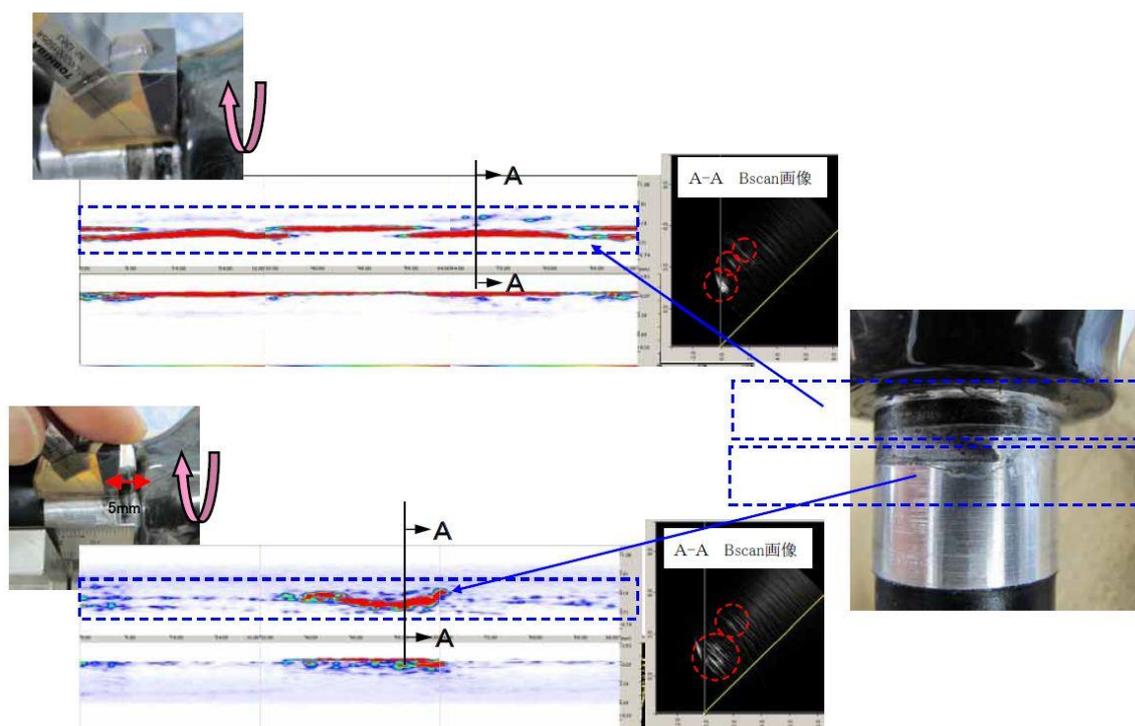


図 16 斜角探傷の非破壊検査画像

図 16 で検査したのはアルミ合金製部分であるが、金属材料の斜角探傷は通常実施されているため検出性に問題は無い。しかし、CFRP に対する斜角探傷は一般にほとんど行われておらずその検出性に疑問が残っている。

そこで、確実に損傷のある CFRP として表面に亀裂の確認できる CFRP により検出性を検討したが、結果としては、斜角探傷によるキズ検出に関して CFRP の場合、① プローブ直下に傷がある場合 ② 表面より 3mm 以内の深さ ③ 深さ数値の精度はない の 3つの条件付きで検査が可能と考えられる。今後、必要に応じて研究開発を進めていきたい。

4. CFRP 製自転車フレームの損傷と耐久性の関連調査

CFRP 製自転車フレームについて、損傷により耐久性にどのような影響が生じるかを調査した。

4.1 層間剥離による圧縮強度への影響について

衝撃による損傷については、例えば CAI (Compression After Impact) 強度という指標があるように、CFRP に衝撃が付与され、層間剥離などの損傷が生じた際に圧縮強度が低下するのが CFRP の特徴の一つである。これまでも試験片で様々なデータが蓄積されており、製品に CFRP を使用する際の設計材料の一つである。自転車においても、設計段階でどのような工程が踏まれているかは全て把握できないが、設計上用いられているデータであろう。

本章では、CFRP が自転車部品へ成型された際に、圧縮強度に変化があるのかを調べた。調査内容について表 2 にまとめた

表 2 衝撃と圧縮強度に関する調査内容

| | |
|------|--|
| 供試品 | 供試品として、同一の CFRP 製シートポストを用いた。断面形状が涙滴型であり、長さ 120mm に切断した。 |
| 試験方法 | <p>(落下衝撃付与)</p> <p>平面部の中央に垂直におもりを自由落下し、衝撃を付与した。落下したおもりは JIS D 9301:2010 サドルの耐寒性試験で用いられる質量 8kg、HRA40 以上、半球状の金属製おもりを写真 3 のように直接供試品表面に垂直に落下させた。落下高さを変えることで衝撃力を調整した。また、大まかではあるが、層間剥離の面積を測定し、剥離面積と圧縮強度の関係も調べた。</p> <div data-bbox="512 1350 1273 1809"></div> <p>写真 3 落下衝撃の様子</p> |

(圧縮荷重)

落下衝撃付与後、写真 4 のように荷重試験機を用いて、パイプ軸方向に力を加え、破断するまで試験を行った。



写真 4 圧縮時の様子

・試験結果

(衝撃力と層間剥離面積について)

10、20、40J と衝撃力を変えた時の供試品に生じた層間剥離面積を調べた。表 3 と図 17 に結果をまとめた。

まず、衝撃付与後の外観であるが、10～40J まで衝撃力を加えたが、外観で大きな変化は見られなかった。塗装に亀裂がわずかに入っていたが、肉眼でやっと確認できるレベルである。

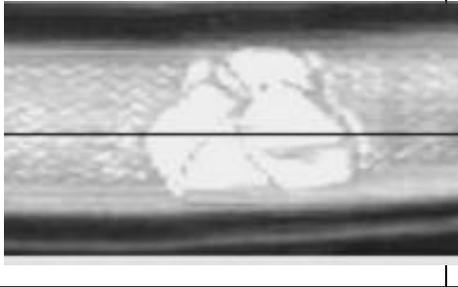
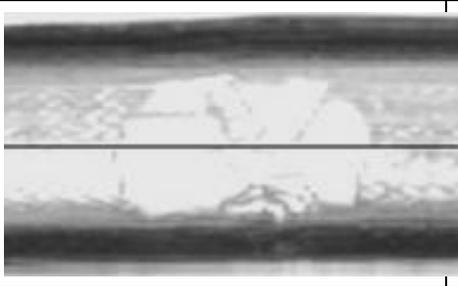
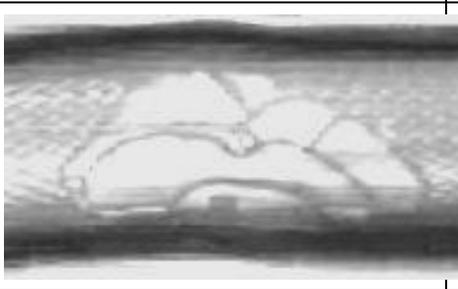
内部の様子に関しては超音波による非破壊検査を行い、層間剥離の様子を画像化した。全ての供試品にはっきりとした層間剥離の様子が見られた。それぞれの面積も調べ、衝撃力との関係を調べたところ、図 17 より、衝撃力に対して、概ね線型的に剥離面積も増大していた。

(層間剥離面積と圧縮強度について)

次に、層間剥離を生じさせた供試品に圧縮荷重を加え、圧縮強度を測定した。測定結果を図 18 に示す。

図 18 より、層間剥離面積が増大するにつれ、圧縮強度が低下する傾向が見られた。写真 5 に破断の様子を示すが、落下衝撃を付与していない、層間剥離のないものはパイプの端部で破壊が始まるのに対し、層間剥離のあるものは、衝撃付与箇所から破壊した様子が確認できた。

表 3 衝撃力と層間剥離

| 衝撃力 | 外観写真 | 非破壊検査画像 | 層間剥離面積 (mm ²) |
|-----|--|---|---------------------------|
| 10J |  |  | 550 |
| 20J |  |  | 640 |
| 40J |  |  | 856 |

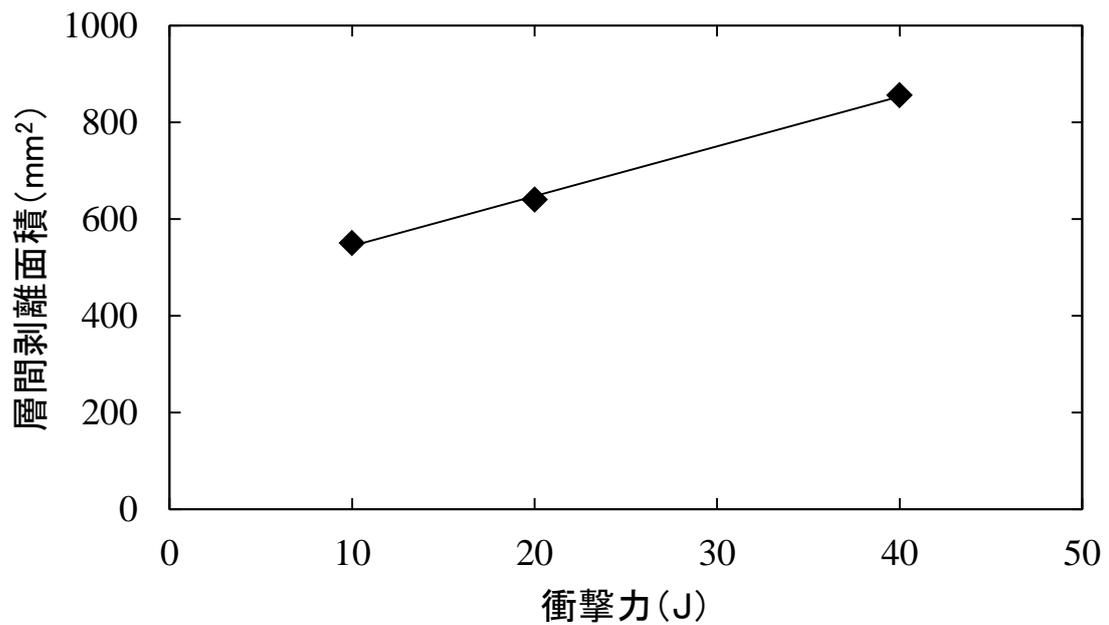


図 17 衝撃力と層間剥離面積の関係

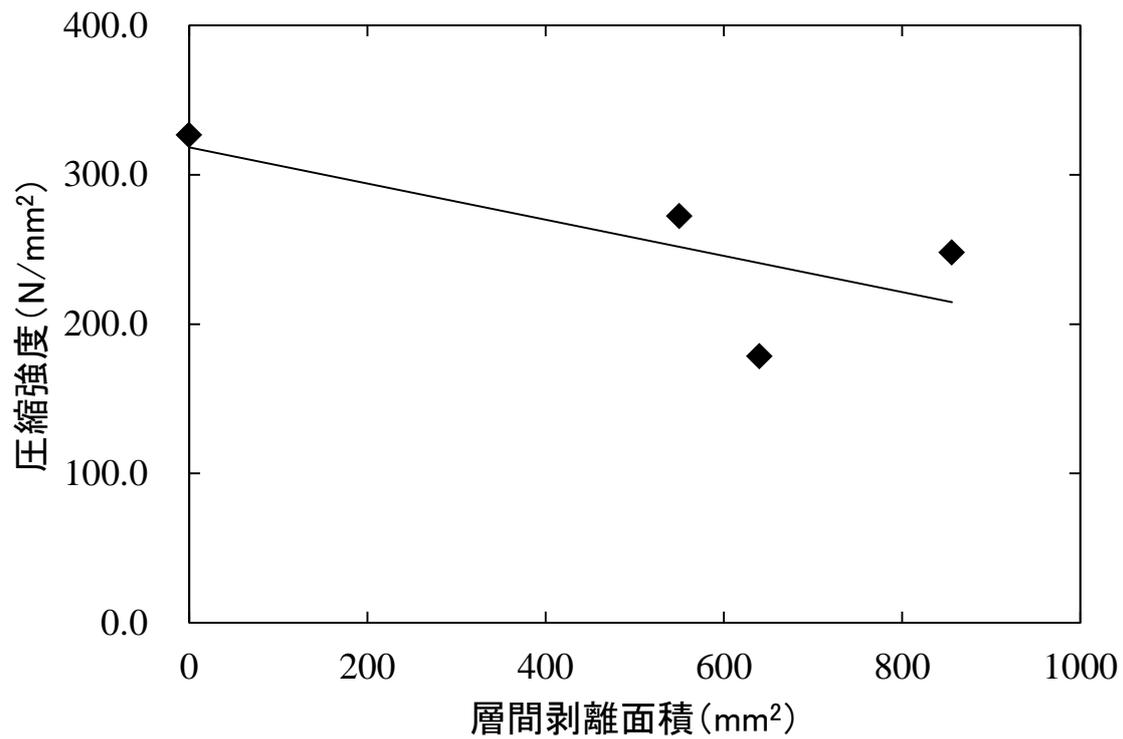


図 18 層間剥離面積と圧縮強度の関係



写真 5 圧縮強度試験後の破壊の様子（左：層間剥離なし、右：40J 落下衝撃付与）

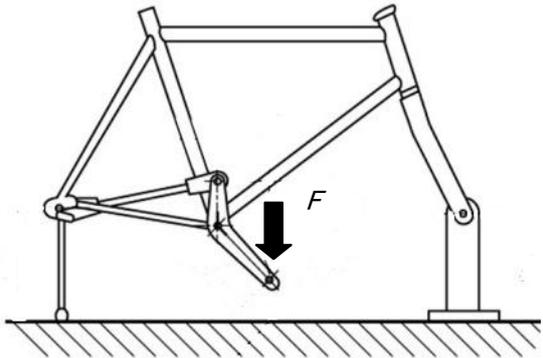
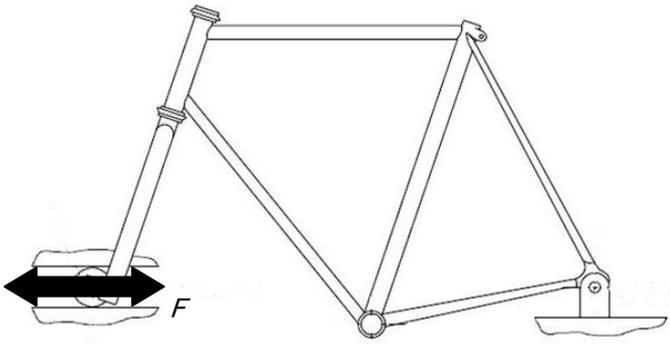
4.2 損傷と耐久性の調査－試験内容

4.2.1 試験方法

フレームの耐久性を調べるため、EN14781 に規定されている「ペダル荷重による疲労試験」と「水平力による疲労試験」を実施した。試験方法等については表 4 に示すとおりである。今回の調査では、代表的な CFRP 製ロードバイク 4 銘柄（販売価格 20～30 万円程度）を供試品として用いた。CFRP 製自転車が多く用いられるテーパードヘッドセット（下部軸受が上部軸受よりも大きいヘッドセット、上部軸受は標準的な 28.6mm (1-1/8") であるのに対して、下部軸受は 31.8mm (1-1/4") 又は 38.1mm (1-1/2") と太い) やプレスフィット BB (BB を BB シェルに取付けるに際し、ねじを使わず圧入(プレスフィット)によって取付ける方式の BB) を採用した銘柄も含まれている。また、供試品 A、B には EN14781 適合のシールが貼っている。

なお、各試験時には、記載がない限りは新品状態のものを用いた。

表 4 試験方法

| 試験項目 | 概要図 |
|--|--|
| <p>ペダル荷重による疲労試験 $F = 1,100\text{N}$ 立ちこぎを模した試験 規定回数は左右交互に 10 万サイクル実施</p> |  |
| <p>水平力による疲労試験 $F = \pm 600\text{N}$ 前後方向への負荷を模した試験 規定回数は前後交互に 10 万サイクル実施</p> |  |

試験の流れとしては、図 19 に示すように、各疲労試験を交互に 10 万サイクルずつ実施した。なお、参考としてアルミ合金製自転車フレーム（EN14781 適合品）でこの工程で試験を実施したところ、ペダル荷重による疲労試験合計 20 万サイクル、水平力による疲労試験合計 192,000 サイクルで写真 6 に示すようにヘッドパイプと下パイプの溶接部付近で亀裂が生じた。EN 規格では各試験で新たなフレームを用いて試験することが推奨されているので、どちらの試験においても大きな応力が生じる箇所（今回の場合はヘッドパイプと上パイプ、下パイプの溶接部付近）では、連続して疲労試験を実施するこの試験工程は、過酷な試験条件となっている。

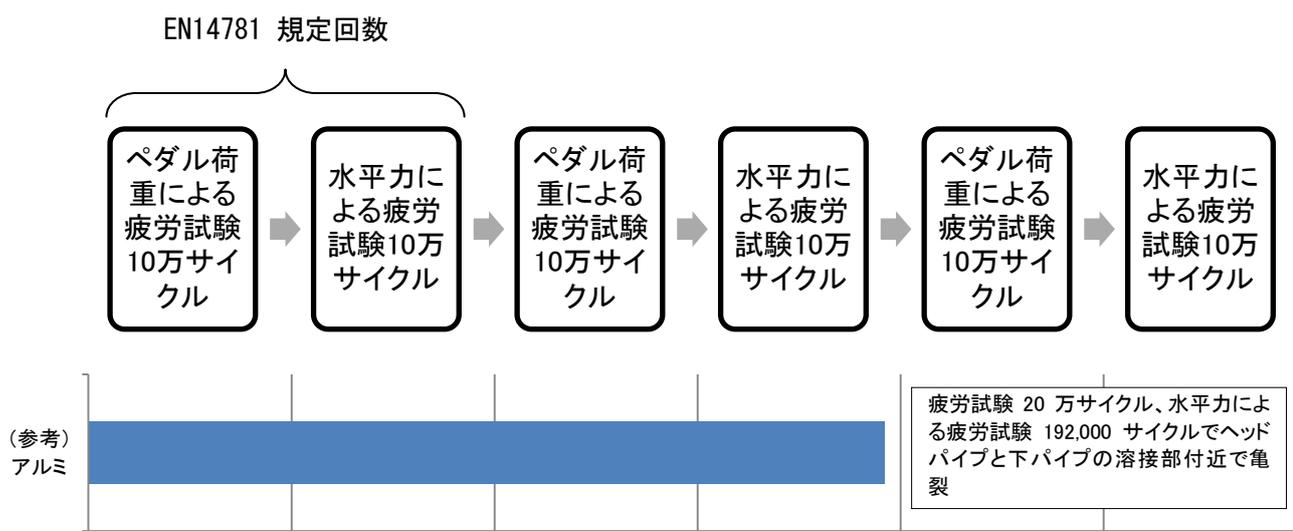


図 19 試験手順



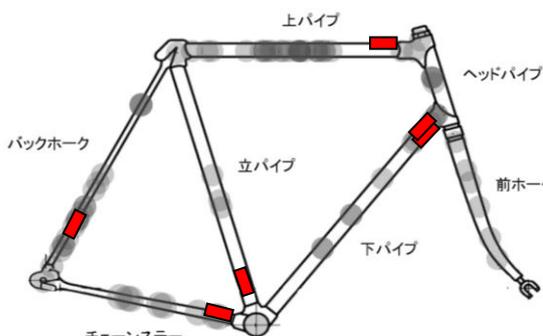
写真 6 疲労試験による疲労の様子

4.2.2 試験機と実走行時の比較

実走行時と試験機による外力付与時における、各部に貼り付けたひずみゲージのひずみ量の比較を供試品 A と B にて行った。調査概要を表 5 に、調査結果を図 20 にまとめた。

図 20 より、実走行では下パイプヘッド側左側面や立パイプハンガ側左側面のひずみ量が各供試品とも大きかった。これは、停止時から加速する際や坂道を立ちこぎで登る際に生じたひずみである。図 20 に実走行で生じたひずみを赤枠で示すが、他の箇所においても、実走行時に発生するひずみ量より疲労試験時に発生するひずみ量の方が概ね大きかったことから、疲労試験時は、今回ひずみ測定した箇所においては実走行時の負荷を再現できていると考えられる。

表 5 調査概要

| 供試品 | | A, B |
|------------|---|--|
| ひずみゲージ貼付箇所 |  <p>※ ●で示した箇所は、平成 23 年度収集した「損傷履歴のわかるカーボン製フレーム」で損傷が見られた箇所</p> <p>※ 赤四角で示した側面のひずみゲージは、実際は全て左側面に貼り付けた</p> | |
| | ①上パイプヘッド側上面 | ヘッドパイプ中心軸より 50mm 後方、パイプ中心線上 |
| | ②下パイプヘッド側左側面 | ヘッドパイプ中心軸より 50mm 後方、パイプ中心線上 |
| | ③下パイプヘッド側下面 | ヘッドパイプ中心軸より 50mm 後方、パイプ中心線上 |
| | ④立パイプハンガ側左側面 | 立パイプとハンガ部との接合部付近、パイプ中心線上 |
| | ⑤左チェーンステーハンガ側左側面 | チェーンステーとハンガ部との接合部付近、パイプ中心線上。接着構造の場合は接着部分の端点 |
| | ⑥左バックホーク後つめ側左側面 | 後つめ接着部分の端点 |
| 実走行 | 実走行路 | 約 3km の一般道、自転車専用道路を走行(舗装路、線路横断、坂道登りなどを含む、最高時速約 30km) |
| | 乗員 | 30 歳男性、身長 170cm、体重 65kg+装置 2kg |

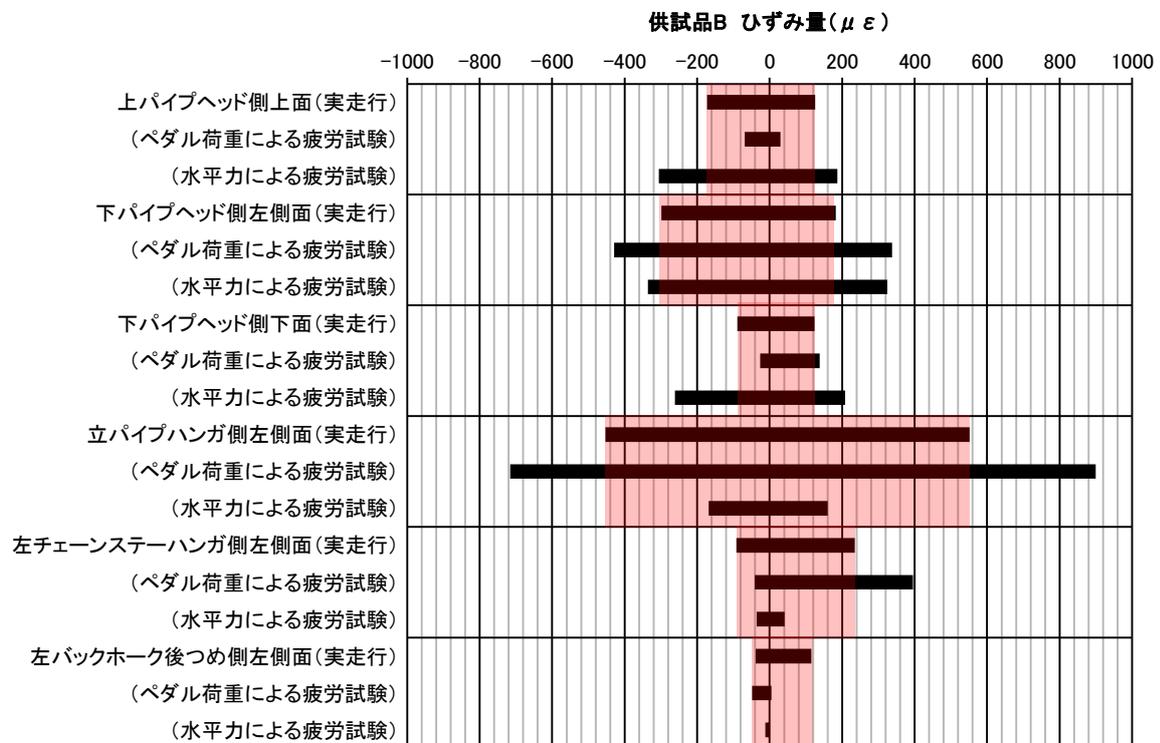
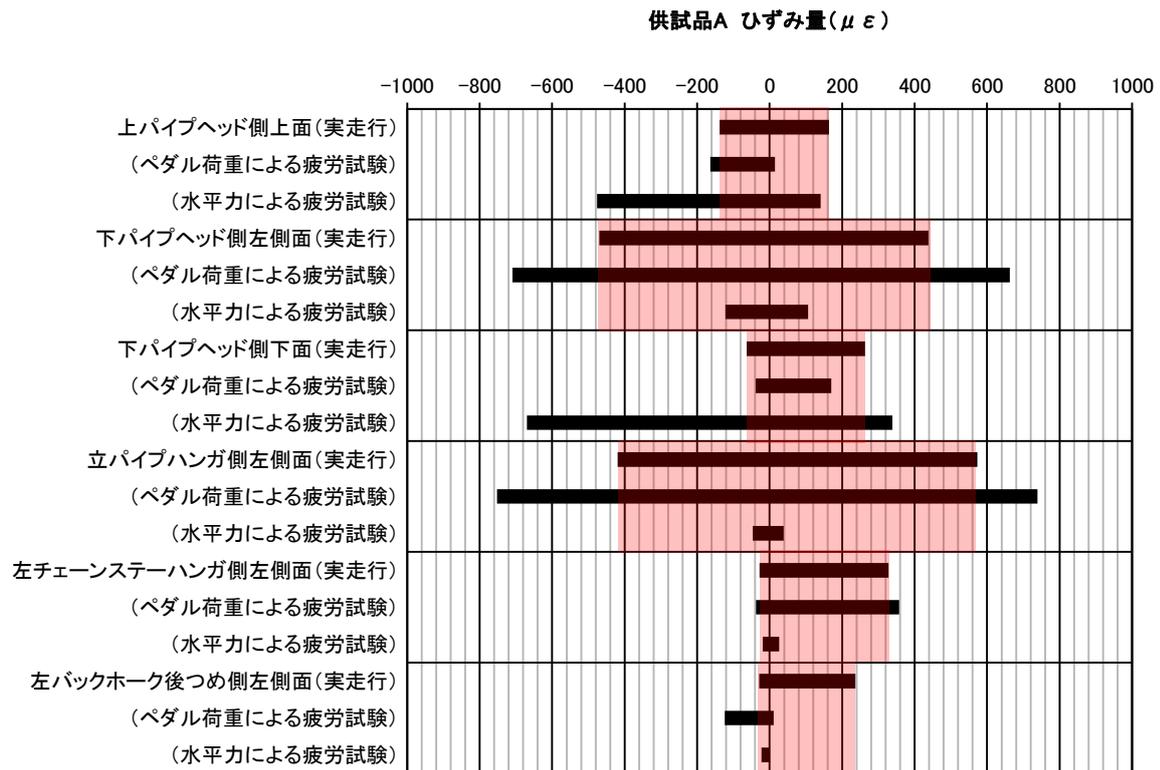


図 20 実走行時と疲労試験時との各部のひずみ量比較 (上：供試品 A、下：供試品 B)

4.2.3 ペダル荷重による疲労試験時におけるひずみ測定

各供試品の、ペダル荷重による疲労試験時のひずみ測定の結果を図 21 に示す。ペダリングを模した試験であるため、実走行時と同様に下パイプヘッド側左側面や立パイプハンガ側左側面のひずみ量が大きかった。当然、銘柄によってフレームの設計や形状が異なるため、ひずみ量もそれぞれ異なるが、A・B と C・D で左チェーンステーハンガ側左側面のひずみ量に大きな差があった。これはボトムブラケットの構造の違いに由来するものと考えられる（A、B はプレスフィットタイプの BB、C、D はボトムブラケットの構造の違いに由来するものと考えられる（A、B はプレスフィットタイプの BB））。

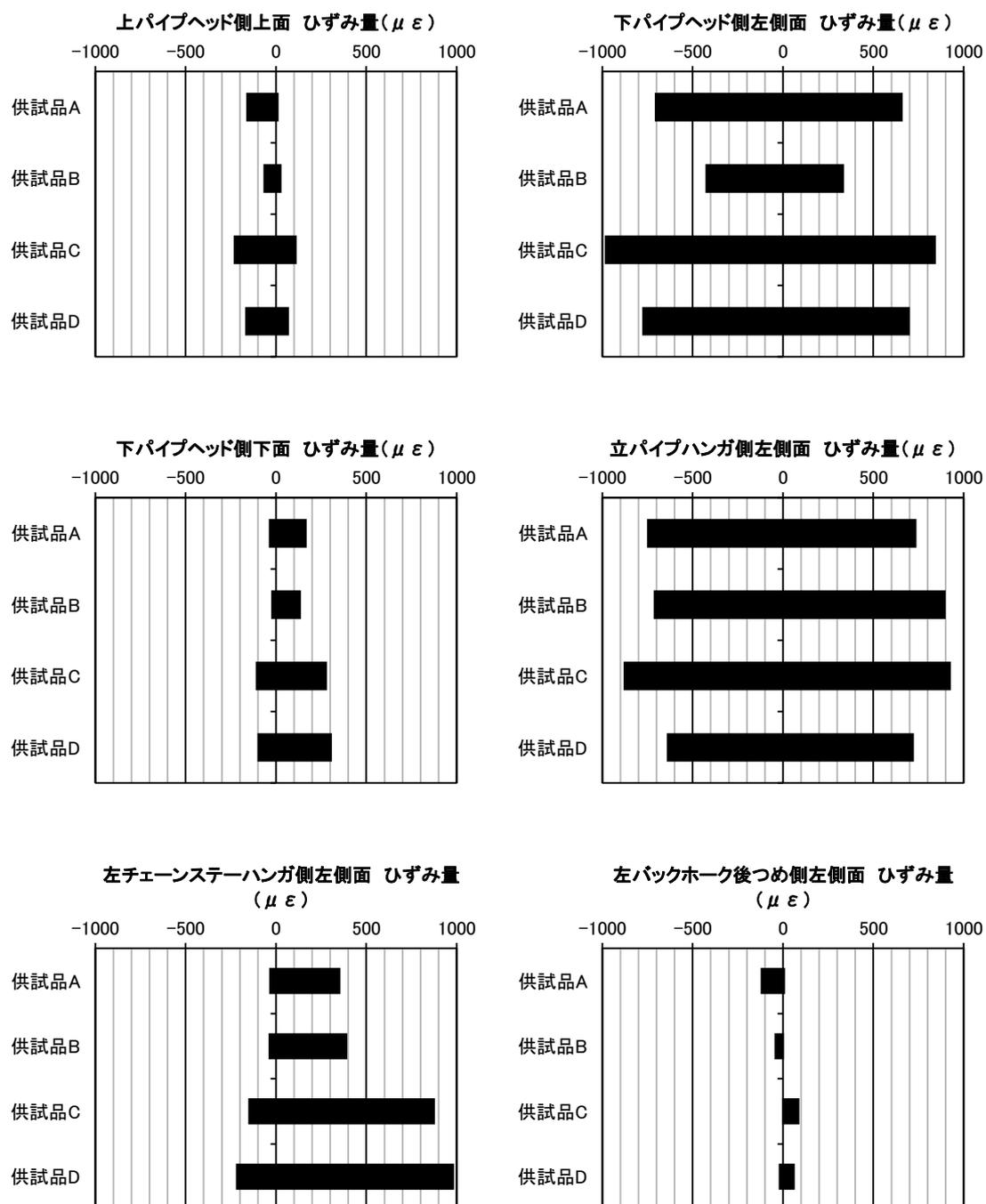


図 21 ペダル荷重による疲労試験時の各部のひずみ量

4.2.4 水平力による疲労試験時におけるひずみ測定

水平力による疲労試験時のひずみ測定の結果を図 22 に示す。前後方向に力を付与する試験であるため、上パイプヘッド側上面や下パイプヘッド側下面など前三角のひずみ量が大きく、後三角にはほとんど負荷がない状態であった。

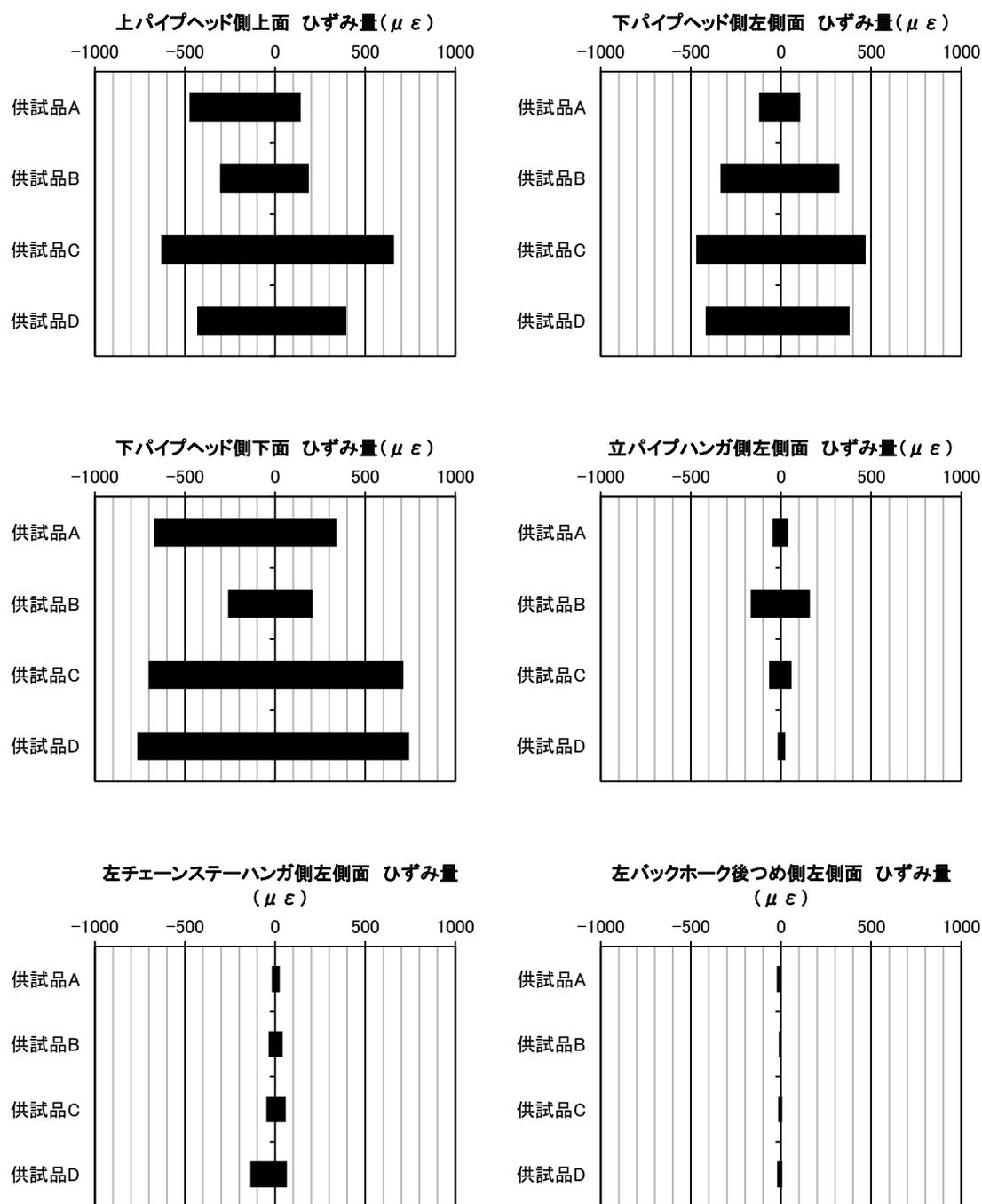


図 22 水平力による疲労試験時の各部のひずみ量

4.3 新品状態でのフレームの耐久性と疲労試験前後での変化

供試品 4 銘柄について、表 4 に示したペダル荷重による疲労試験と水平力による疲労試験を繰り返し実施し、新品の状態でフレーム体の耐久性がどの程度であるかを調べた。試験手順と結果を図 23 にまとめた。

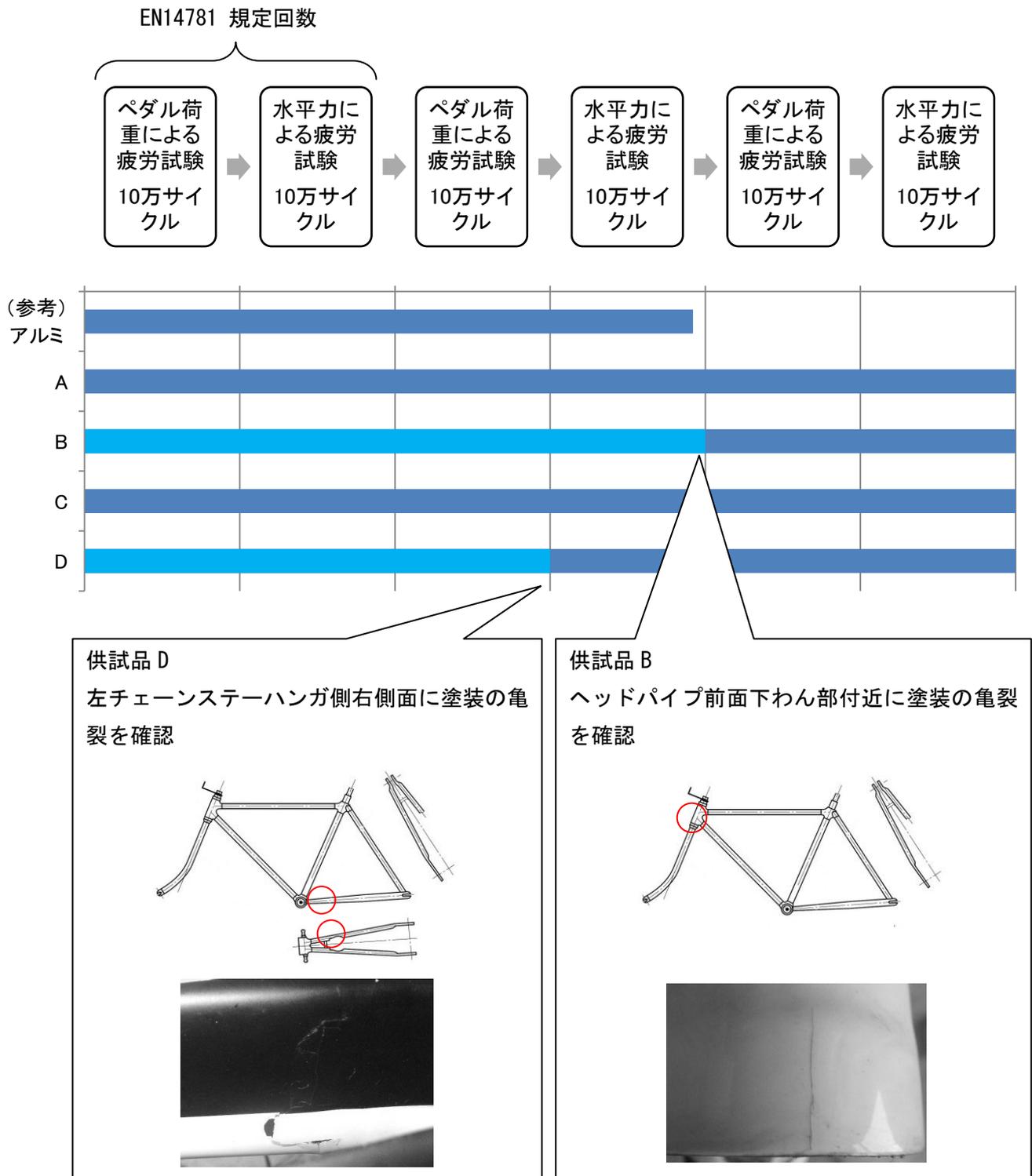


図 23 試験手順と試験結果

図 23 より、各銘柄とも EN14781 の規定回数終了時（各疲労試験 10 万サイクル後）に異常は見られなかった。規定回数を超えて試験を実施した結果、供試品 D で、ペダル荷重による疲労試験 20 万サイクル、水平力による疲労試験 10 万サイクル後、左チェーンステーハンガ側右側面に亀裂を確認した。また供試品 B では、各疲労試験 20 万サイクル後にヘッドパイプ下わん部付近に亀裂を確認した。供試品 A、C については各疲労試験 30 万サイクル後も外観で異常は見られなかった。

まず、供試品 D についてであるが、写真 7 に亀裂発生個所の周囲の塗装をはがした外観、図 24 に内部の非破壊検査画像を示す。図 24 に示すように、塗装に亀裂が生じた箇所はボトムブラケット部とチェーンステーの接合部であり、塗装に亀裂が入りやすかったと考えられる。非破壊検査画像からも層間剥離等の異常は確認できず、塗装の亀裂のみであった。この後、各疲労試験が計 30 万サイクルとなるまで疲労試験を続けたが、亀裂に外観上変化は見られなかった。塗装の亀裂のみであったため、フレームの強度には影響しなかったと考えられる。

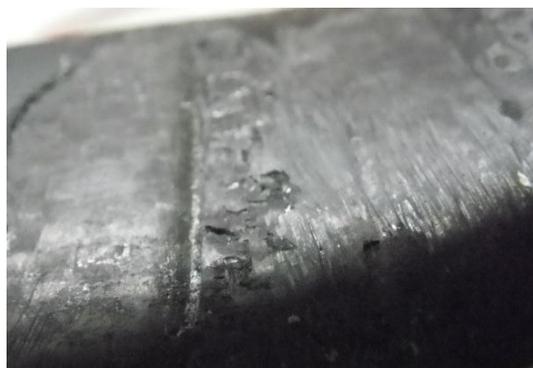


写真 7 塗装をはがした様子

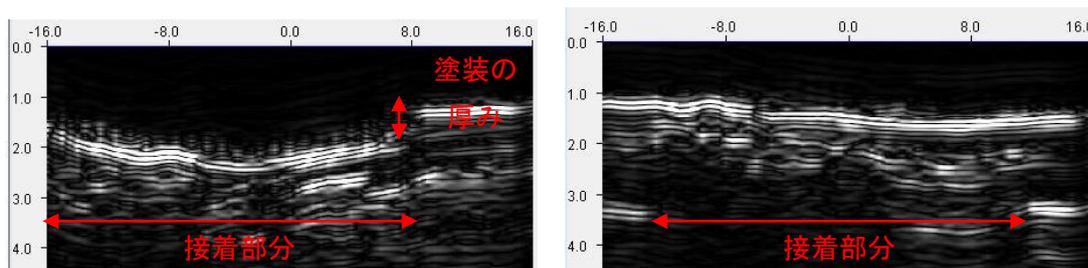


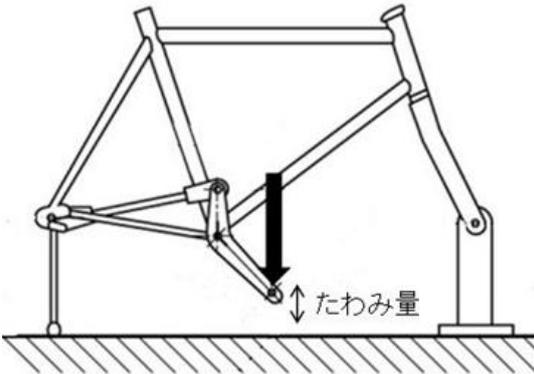
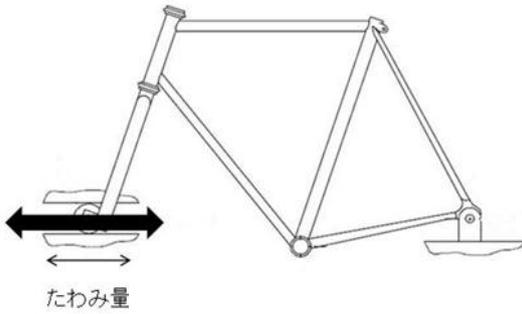
図 24 供試品 D 非破壊検査画像（左：亀裂発生個所、右：亀裂発生個所の反対側健全部）

次に、供試品 B についても、母材の亀裂ではなく塗装の亀裂のみであったため、フレームの強度には影響せず、各疲労試験が計 30 万サイクルとなるまで疲労試験を続けたが、亀裂に外観上変化は見られなかった。

次に、疲労試験前後でフレームの特性に何か変化があるのかを調べた。CFRP 製自転車を継続して使用していると「使用感が変わった」、「ペダルをこいでいて進まなくなった」、「へたる」という現象を耳にした。「へたる」とは「機能、性能が衰える」ということである。

使用感など感覚的な部分については、定量的に調べることは難しいが、例えば、繰り返し使用する前後で同じ力を加えた際に、フレームのたわみ量を測定することで変化があるのかを調べた。調査方法について、表 6 にまとめた。

表 6 CFRP 製自転車のへたりに関する調査内容

| | |
|------|--|
| 供試品 | 供試品として、CFRP 製自転車 4 銘柄を用いた |
| 試験方法 | <p>供試品 4 銘柄について、ペダル荷重による疲労試験、水平力による疲労試験での新品状態と疲労試験 10 万サイクル後のたわみ量を比較した。たわみ量は試験力の負荷点で測定した。</p> <p>(ペダル荷重による疲労試験)</p>  <p>ペダル荷重による疲労試験のたわみ量測定箇所</p> <p>(水平力による疲労試験)</p>  <p>水平力による疲労試験のたわみ量測定箇所</p> |

・試験結果

図 25 にペダル荷重による疲労試験及び、水平力による疲労試験の新品状態のたわみ量に対する 10 万サイクル後のたわみ量の増減の割合を示す。

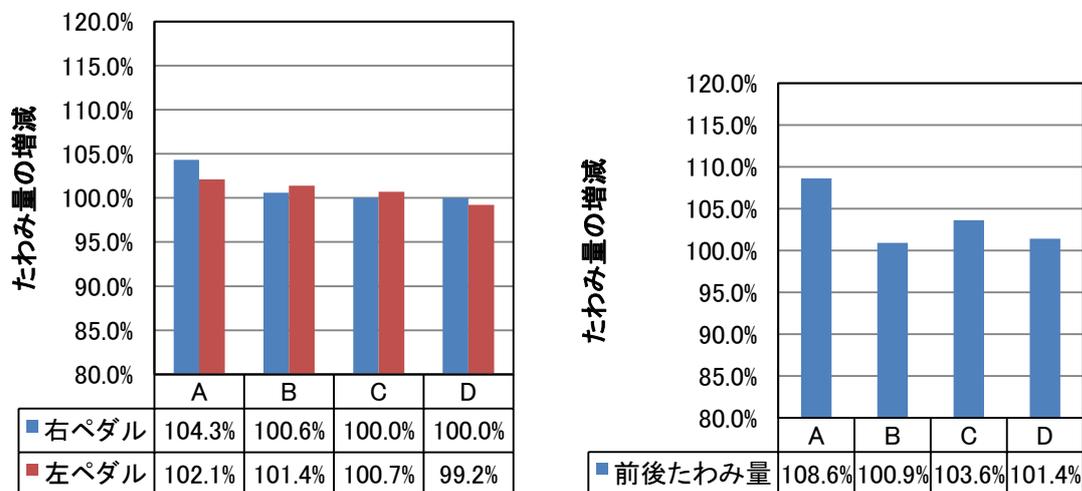


図 25 疲労試験前後におけるたわみ量変化
(左：ペダル荷重による疲労試験、右：水平力による疲労試験)

まず、ペダル荷重による疲労試験では、-0.8%～+4.3%の増減が見られた。数%の増減は試験機にフレームを固定するねじ（特にクランク部のねじが疲労試験により緩む）などの緩みやヘッド部品の摩耗によっても変動するため、ペダル荷重による疲労試験では、新品状態のフレームではたわみ量の変化はほとんどなかったと考えられる。すなわち、今回の供試品では、繰り返しペダリングをしても CFRP の「へたり」はほとんどないと考えられる。また EN 規格では、試験力の負荷点における試験中の最大たわみ量が初期値の 20%を超えて増加した場合不適合となるが、今回対象としたすべての銘柄において、試験力の負荷点における試験中の最大たわみ量が初期値の 20%を超えて増加はしなかった。

次に、水平力による疲労試験では、0.9%～+8.6%の増減が見られた。増減率の大きなものに関しては、ヘッド部品の摩耗（特にスリーブが摩耗し、ガタが生じる）が比較的大きかったためである。ペダル荷重による疲労試験と同様に、数%の増減は見られたが、水平力による疲労試験でも、新品状態のフレームではたわみ量の変化はほとんどなかったと考えられる。

以上の結果より、CFRP 製自転車のへたりに関しては CFRP 自体の変化はほとんど見られず、それ以上にねじの緩みや部品の摩耗が影響するものと考えられる。

P27～P56 は閲覧できません

6. まとめ

今回の調査内容と結果を以下にまとめた。

- ① **CFRP製自転車に関する意識や実態を調査するため、サイクルモードにて一般ユーザーや自転車販売店などを対象にアンケート調査を実施した。その結果、**
 - ・ 衝撃による損傷が気になるユーザーはアンケート回答者の約6割を占めた
 - ・ **CFRP製自転車非所有者と比較し、CFRP製自転車所有者の方が衝撃やトルク過多による損傷、樹脂の劣化等を気にする割合が多かった**
 - ・ アンケート回答者の約4割が**CFRP**に関するトラブルを経験した、あるいは見かけるなどしていた
 - ・ 非破壊検査を活用したい人が約9割であったなどの結果が得られた。
- ② 平成23年度開発分のプローブでは検査が難しかった狭隘部やコーナー部を非破壊検査可能にするため、新たに2種類のプローブを開発した。狭隘部用フラットプローブについては精度よく測定可能となった。コーナー部用プローブについては、**CFRP**の特性ゆえに使用条件が限られるものの、定性的な検査が可能となった。
- ③ 様々な衝撃を付与した**CFRP**製自転車フレーム、あるいは損傷履歴のわかる**CFRP**製自転車フレームを用いて、損傷と耐久性の調査を行った。その結果、今回の調査からは
 - ・ 軽微な層間剥離（ ϕ 10mm 程度の領域）であれば、使用感は別として通常使用に差し支えない
 - ・ 広い範囲で層間剥離が生じている（亀裂を伴っている可能性大）場合は注意が必要。特に、使用時にねじれ方向に力がかかる箇所は、通常使用時に伸展する恐れがある
 - ・ 亀裂があるものは損傷の伸展や、他の箇所で新たに損傷が生じる可能性があるため使用不可などの結果が得られた。
- ④ **CFRP**製自転車部品について、今回の調査では、前ホークは衝撃により耐久性が変化する可能性があった。**CFRP**製シートポストやハンドルバーについては耐久性に大きな変化は見られなかった。

今回の事業において、

「**CFRP** 製自転車検査方法開発普及検討会」を設置し、指導を得て事業を遂行しました

委員 鵜澤 潔（金沢工業大学大学院工学研究科、東京大学先端科学技術研究センター）

永田 啓一（東京大学大学院工学研究科）

林 富士夫（財団法人日本自転車競技連盟）

春日 伸敏（ブリヂストンサイクル株式会社）

下山 晃（東レ株式会社）

また、東芝電力検査サービス株式会社、財団法人 **JKA**、日本競輪学校の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 「CFRP 製自転車損傷に関する調査と検査方法について」(2012), 財団法人自転車産業振興協会