

平成 21 年度 自転車の 3R 設計促進
実施報告書

折りたたみ自転車長寿命化設計

平成 22 年 3 月

財団法人 自転車産業振興協会



この事業は競輪の補助金を受けて実施したものです
<http://ringring-keirin.jp/>

はじめに

当協会では、平成 21 年度自転車社会の促進補助事業として、自転車の 3R 設計促進事業を実施しました。

本事業は、循環型社会の構築に即した環境の 3R（リデュース・リユース・リサイクル）のうちリデュース対策として、製品の長寿命化に着目し、その調査対象として、近年使用頻度が高まっている折りたたみ自転車を取り上げ、試験評価及び技術調査を行い、長寿命化設計方針を検討しました。

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「折りたたみ自転車長寿命化設計検討会」を設置の上、事業参加企業 7 社と連携して事業を実施し、報告書を取りまとめました。

本報告書を製品設計時あるいは製品作りの参考として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 阿 部 忠 壽

目次

1.	経緯と目的	1
2.	折りたたみ自転車の現状と課題.....	3
2.1	折りたたみ自転車フレームの特徴.....	3
2.2	試買テスト結果.....	4
2.3	アンケート調査.....	7
2.4	事業実施方法	10
3.	フレーム強度に関する現状把握と改善点の抽出.....	11
3.1	供試自転車	11
3.2	試験内容	12
3.2.1	フレームの強度試験.....	12
3.2.2	実走行試験.....	13
3.2.3	応力測定	15
3.2.4	寿命予測	16
3.3	試験結果	19
3.3.1	耐振性試験.....	19
3.3.2	疲労試験	29
3.3.3	実走行試験.....	37
4.	参加企業の過去の取組み.....	49
5.	長寿命化設計方針の検討.....	50
5.1	参加企業各社の長寿命化設計案.....	50
5.2	長寿命化設計方針.....	51
5.2.1	フレーム材料と溶接.....	51
5.2.2	フレーム形状.....	53
5.2.3	ヒンジ周辺.....	56
6.	最後に	57

1. 経緯と目的

平成 12 年に循環型社会形成推進基本法において 3R の考え方が導入され、(1) リデュース (2) リユース (3) リサイクル (4) 熱回収 (サーマルリサイクル) (5) 適正処分 の優先順位で廃棄物処理およびリサイクルが行われるべきであると定めている。以来、3R の理念は広がっており、各方面で実践されている。自転車製造業者・業界においても、環境問題への関心が広がると共に設計・製造・流通・販売段階等での 3R 対策や環境問題への取組みは進んでいる。表 1 にその一例を示す。

表 1 自転車製造販売業者が取り組んでいる 3R や環境問題への対策の一例 (50 音順)

会社名	取組内容
関西商事株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・梱包材使用量の削減 ・環境BAA制度参加 (環境負荷物質削減への取組み) ・社内での電気使用量の削減 (無駄な照明の削減)
パール金属株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・環境負荷物質の使用削減
パナソニック サイクルテック 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> <自転車づくり> <ul style="list-style-type: none"> ・製品安全を最優先した安心安全な自転車展開 ・環境負荷を可能な限り削減した商品の開発、推進 <材料づくり> <ul style="list-style-type: none"> ・高剛性/薄肉パイプの開発、推進 ・脱塩ビ部材の開発、推進 <町づくり> <ul style="list-style-type: none"> ・エコサイクルシステムの展開 ・盗難・放置自転車をなくす展開 <工場づくり> <ul style="list-style-type: none"> ・ISO-9001/14001認証取得
プリヂストンサイクル 株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・公的規格/基準と共に市場情報等に基づき独自に設定した厳しい基準による評価も実施している。 ・ISO14001の認証を取得し環境保全活動を全社で推進中。 ・環境負荷物質含有量の削減も推進中。(BAA及びSBAA環境負荷物質含有基準の順守)
ホダカ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・省資源 (JISより厳しい条件で試験を実施することで、安全性と製品の長寿命化に取り組んでいる) ・省エネルギー (設定温度・湿度の適正化、ESシステムDNAの設置) ・リサイクル製品の使用 (リサイクルトナー、OA再生紙の利用等) ・廃棄物の減量化 (リサイクル可能な紙製品、および金属ゴミの分別、コンテナ積載方法の改善による木屑の削減) ・包装・梱包資材の削減 (完成車での納品、パッケージ変更による削減) ・リサイクルの推進 (容器・包装リサイクル法に準じた再商品化委託契約の実施) ・環境にやさしい製品の取り扱い ・その他 (環境負荷物質検査機器の導入)

また、各自転車製造事業者が「製品アセスメント（環境への負荷の少ない製品を提供するために、開発・設計段階からその製品の環境負荷をあらかじめ評価し、より環境にやさしいものづくりを行う手法）」を行うためのマニュアルを策定する上で、標準的な考え方を示すことを目的とした「自転車製品アセスメントマニュアルガイドライン」¹⁾も作成されている。これは経済産業省発行の「廃棄物処理・リサイクルガイドライン」²⁾にも引用されており、産業構造審議会環境部会等での会議資料「業界団体における製品アセスメントガイドラインの策定・改定等の動向」³⁾でも記載されている。環境問題に関しては、今後も「自転車製品アセスメントマニュアルガイドライン」に基づき、持続的にさらなる取り組みを進めるべきである。

その一環として、本事業では3Rのうち最も優先順位の高いリデュースのうち長寿命化設計の考え方を提案し、今後の方針として取りまとめることを目的とした。しかし、長寿命化設計のアプローチは様々であり、価値寿命（動作していても新製品と比べて外観、サイズ、性能等が劣るために捨てられてしまう）を延ばす設計、あるいは物理寿命（製品が故障、劣化し動作しなくなるために捨てられてしまう）を延ばす設計など考慮すべき点が多い。その中で、安全性の向上にも繋がる物理寿命を取り上げ、その長寿命化設計の方針をまとめることとした。

長寿命化設計の対象としたのは折りたたみ自転車である。車のトランクに積載し、郊外でサイクリングを楽しむ、あるいは列車に自転車を持ち込むなど、折りたたみ自転車の特徴を活かした使われ方以外に、近年では通勤や通学など、日常的に使用される頻度も高まっている。特に都心部では自転車の保管場所が限られるなどの問題もあり、折りたたみ自転車を購入する動機の一つとなっているようだ。自転車小売店の販売動向調査⁴⁾によると、販売台数全体の内、折りたたみ自転車が占めている割合は3.0%であるが、自転車小売店以外にも量販店や雑貨店などで売られているケースもあり、販売台数以上に普及していると考えられる。

しかし折りたたみ自転車は、折りたためるが故に、その構造に由来する破損も起こりうる。後述のアンケート調査結果においても、製造販売業者の6割以上が、シティ車よりも強度が劣ると回答している。シティ車と同様に使用されれば、安全性の確保の点においても長寿命化は有効な手段である。

そこで、本事業では20インチ以下の折りたたみ自転車（以下「折りたたみ自転車」と呼ぶこととする）のフレームを対象として、長寿命化のための設計方針を導くべく、JISによるフレーム強度試験や実走行時の応力解析を行うことにより、自転車フレームの寿命予測を行い、折りたたみ自転車の弱点を究明したうえで、その長寿命化設計の方針となる事項をまとめた。

1) 財団法人自転車産業振興協会 自転車製品アセスメントマニュアルガイドライン 平成18年改定版

2) 経済産業省 廃棄物処理・リサイクルガイドライン 平成18年フォローアップ

3) 経済産業省 業界団体における製品アセスメントガイドラインの策定・改定等の動向 平成16年

4) 財団法人自転車産業振興協会 自転車統計要覧 第43版

2. 折りたたみ自転車の現状と課題

2.1 折りたたみ自転車フレームの特徴

折りたたみ自転車がシティ車と比較して有利な点は、当然ながら折りたためることであり、手軽に持ち運べる、あるいは保管場所が小さくて済む点等が挙げられる。そのため構成部品には折りたたみ自転車固有のものがある。最も特徴的なものとして、多くの折りたたみ自転車には、メインパイプの中央やハンドルシステムにヒンジが取り付けられている（図1）。フレーム形状はH形、あるいは後部にサスペンション等が付いている場合はY形のものが多い。またフレームサイズが小さいので、足の長いライダーにも対応するためシートポストを長くしているものも多い。

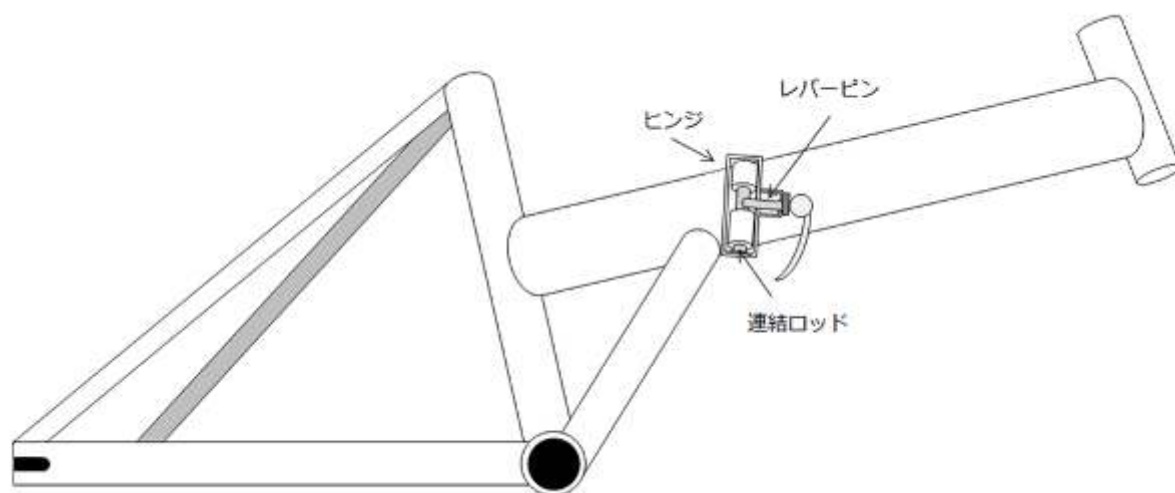


図1 一般的な折りたたみ自転車のフレーム体（H形）

その他、クイックリリースを使用した折りたたみ機構に関しては、JIS 9301:2008 により固定操作力・解除操作力の範囲や多重機構（2動作以上の操作で装置が解除される機構）によって、不意にレバーなどの固定装置が解除されないような構造でなければならないと規定されている。

2.2 試買テスト結果

当協会では平成12年度より、国内市場で流通している自転車の品質を確認するため試買テストを行ってきた。その中でJIS D 9301（一般用自転車）のフレームの強度に関する

○ 耐振性試験：

フレームのヘッド部等に荷重を取り付けた状態で、前ハブ軸に 17.6m/s^2 (大人車用—ダイヤモンド形以外)の上下振動を与え、70,000回の加振で破損、変形、ゆがみを生じないこと

○ 疲労試験（繰返し強度試験）：

フレームを前後ハブ軸の位置が水平になるように固定し、フレーム内側に下方に850Nの荷重を100,000回加えたときフレームの各部に破損、著しい変形及びゆがみが生じないこと。

○ 前倒し衝撃試験：

シート部に70kgのおもりを固定し、前ホークの先端を落下高さ250mmで金床上に繰り返し2回落下させたとき、各部に著しい破損を生じないこと

の3試験の結果を、シティ車、折りたたみ自転車別に表2と表3にまとめた⁵⁾。

表2 試買テスト結果（シティ車）

年度	銘柄数	耐振性試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率	疲労試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率	前倒し衝撃試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率
12	12	11 / 12	91.7%	- / 0	-	11 / 11	100.0%
13	32	26 / 32	81.3%	- / 0	-	26 / 26	100.0%
14	18	17 / 18	94.4%	17 / 17	100.0%	17 / 17	100.0%
15	24	24 / 24	100.0%	- / 0	-	23 / 24	95.8%
16	15	12 / 15	80.0%	- / 0	-	12 / 12	100.0%
17	15	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%
18	15	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%
19	15	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%
20	15	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%	15 / 15	100.0%
計	161	150 / 161	93.2%	77 / 77	100.0%	149 / 150	99.3%

表3 試買テスト結果（折りたたみ自転車）

年度	銘柄数	耐振性試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率	疲労試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率	前倒し衝撃試験 (適合数 / 試験対象数)	適合率
12	5	3 / 5	60.0%	- / 0	-	3 / 3	100.0%
13	5	2 / 5	40.0%	- / 0	-	2 / 2	100.0%
14	10	5 / 10	50.0%	6 / 7	85.7%	6 / 6	100.0%
15	17	9 / 17	52.9%	- / 0	-	9 / 9	100.0%
16	13	9 / 13	69.2%	- / 0	-	8 / 9	88.9%
17	15	7 / 15	46.7%	13 / 15	86.7%	14 / 14	100.0%
18	15	10 / 15	66.7%	14 / 15	93.3%	13 / 14	92.9%
19	15	12 / 15	80.0%	13 / 15	86.7%	13 / 14	92.9%
20	15	12 / 15	80.0%	13 / 15	86.7%	15 / 15	100.0%
計	110	69 / 110	62.7%	59 / 67	88.1%	83 / 86	96.5%

⁵⁾ 財団法人自転車産業振興協会 試買テスト結果報告（平成12年度～平成20年度）

表 2 と表 3 を比較すると、フレームの強度に関する 3 つの試験で、シティ車に対して折りたたみ自転車の適合率が低く、特に耐振性試験では平成 20 年度までの合計で 30 ポイント以上適合率が低かった。

次に、年度ごとの耐振性試験の適合率の推移を図 2 に示す。

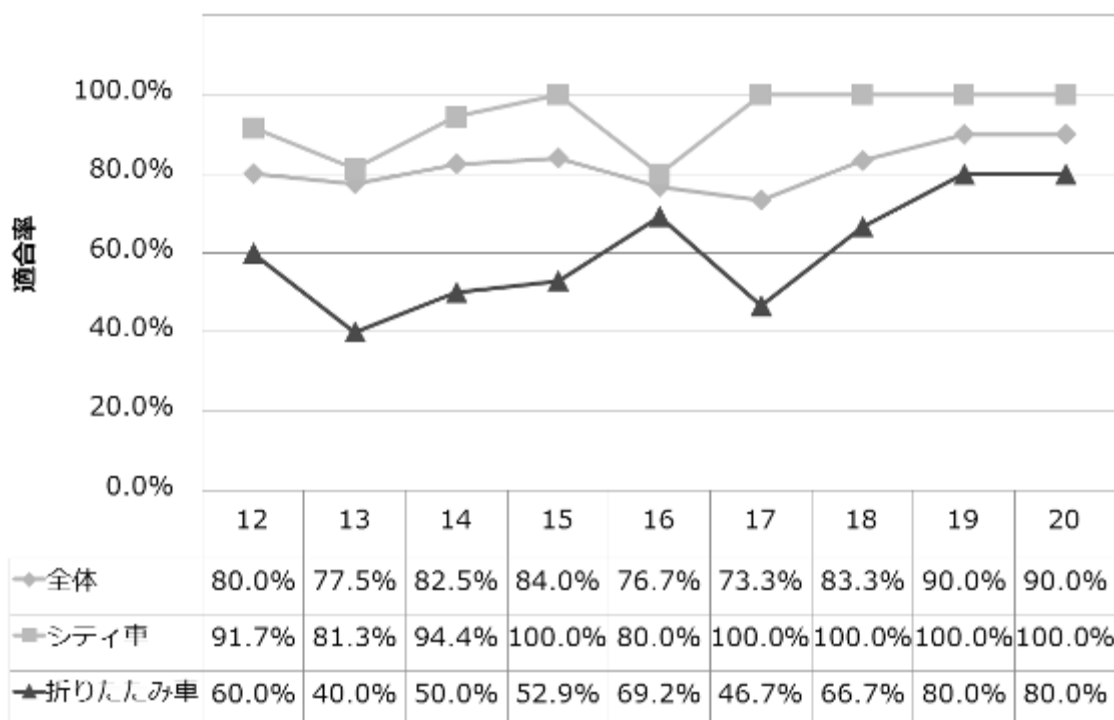


図 2 耐振性試験 適合率の推移

折りたたみ自転車、シティ車共に年々耐振性試験の適合率は上昇する傾向にあるが、どの年度においても折りたたみ自転車の適合率がシティ車の適合率を上回ることにはなかった。

また、折りたたみ自転車に関して、耐振性試験・疲労試験で不適合となった要因と破断等が生じたときの試験回数を表 4 にまとめた。

表 4 で示したように、折りたたみ自転車特有の機構（折りたたみ部分、長いシートポスト）に由来する破損が多くあり、おおよそ以下の 4 箇所付近に分類できる

- | | |
|---------------|-----------------|
| ① ヒンジ内部での破損 | ② ヒンジ周りの溶接部での破損 |
| ③ ヒンジレバーピンの破損 | ④ 立パイプの破損 |

試買テストの結果から、折りたたみ自転車の長寿命化に際しては、少なくともこの 4 箇所付近を中心に改良することが有効な手段と考えられる。

表 4 フレームの強度試験で不適合となった要因

耐振性試験			不適合 銘柄数
年度	回数	不適合となった要因	
12	10,000	ヒンジ内側溶接部に亀裂	2
	12,000	ヒンジ前溶接部に亀裂	
13	1,200	立パイプシートラグ付近に亀裂	3
	400	シートポストが曲がる	
	300	メインパイプが屈曲する	
14	8,628	ヒンジ後溶接部に亀裂	5
	704	シートポストが屈曲	
	9,536	ヒンジ前溶接部に亀裂	
	46,293	ヒンジ前溶接部に亀裂	
	70,000	シートポストが屈曲	
15	21,156	ヒンジ溶接部に亀裂	8
	61,379	立パイプと補強パイプ溶接部亀裂	
	33,794	ヒンジ溶接部に亀裂	
	2,735	ヒンジ溶接部に亀裂	
	52,585	前ホーク足の折損	
	46,824	ヒンジ連結ピンの破断	
	34,332	立パイプが折損	
	1,666	前ホークステムの際で屈曲	
16	15,400	立パイプが折損	4
	18,900	立パイプが折損	
	7,400	立パイプが折損	
	34,800	ヒンジ連結ピンが破断	
17	67,600	ヒンジ連結ロッド支持ピンに亀裂	8
	44,800	立パイプに亀裂	
	35,900	レバーピンが折損	
	54,700	メインパイプと チェーンステーに亀裂	
	14,700	メインパイプが破断	
	22,100	後ホークとチェーンステーが破断	
	59,500	ヒンジ後溶接部が破断	
	45,100	ヒンジ内部に亀裂	
18	67,600	レバーピンが折損	5
	13,200	ヒンジ内部の破損	
	29,600	ヒンジ内部の破損	
	30,700	ヒンジ内部の破損	
	29,900	立パイプが破断	
19	65,000	立パイプに亀裂	3
	14,750	レバーピンが折損	
	26,000	補強パイプが破損	
20	18,750	立パイプに亀裂	3
	1,340	ヒンジ前溶接部が破断	
	35,000	ヒンジ内部の破損	
計			41

疲労試験			不適合 銘柄数
年度	回数	不適合となった要因	
14	65,000	ヒンジ後溶接部に亀裂	1
17	87,300	ハンガと立パイプに亀裂	2
	49,600	チェーンステーが破損	
18	84,100	立パイプに亀裂	1
19	97,000	前ホークが破損	2
	78,000	ヒンジ前溶接部に亀裂	
20	83,160	補強パイプ、メインパイプ接合部に亀裂	2
	12,800	構成部品の割れ	
計			8

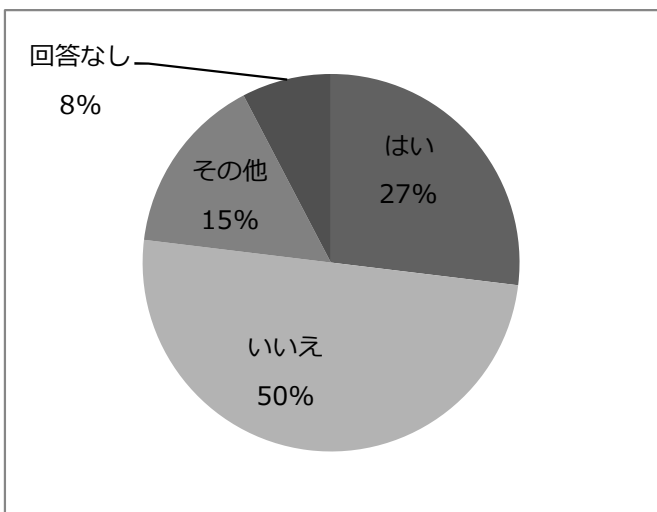
前倒し衝撃試験		不適合 銘柄数
年度	不適合となった要因	
16	ヒンジ溶接部に亀裂	1
18	ヒンジ内部の破損	1
19	ヒンジ前溶接部に亀裂	1
計		3

2.3 アンケート調査

平成 21 年 4 月 8 日～4 月 17 日に、試買テストにて購入した折りたたみ自転車の製造販売業者を対象に、折りたたみ自転車に関するアンケート調査を行った。結果を以下にまとめる。

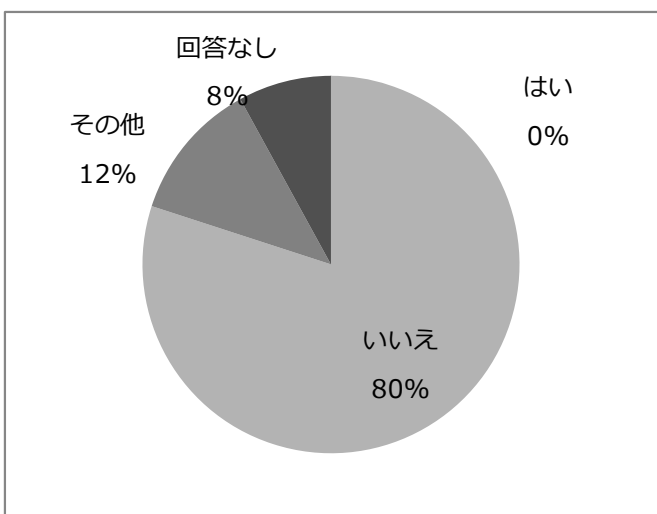
- ・調査対象：当協会が行っている試買テストにて折りたたみ自転車あるいはシティ車を購入した業者の一部 計 49 社
- ・調査方法：アンケート用紙を送付、記入後ファックスまたは郵送にて返信
- ・実施期間：平成 21 年 4 月 8 日～4 月 17 日
- ・返 答 率：53.1% (26 社より返答)

Q1. 折りたたみ自転車の設計開発は貴社内で行っていますか



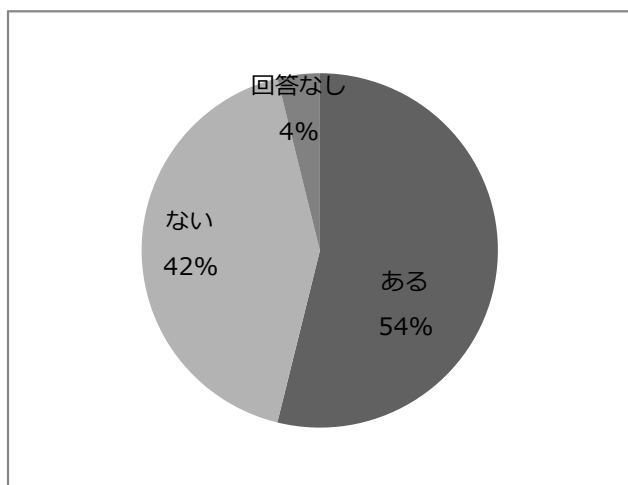
「その他」の内容としては、OEM 先と共同開発している、自社設計分と OEM 先設計分の商品を取り扱っている、思案・開発のみしているといったものがあった。

Q2. 折りたたみ自転車の製造は貴社内で行っていますか



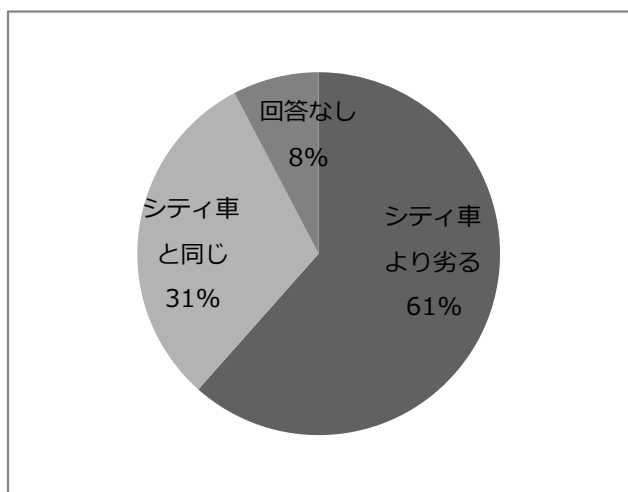
「その他」の内容としては、自社と中国企業で生産したもの両方取り扱っている、中国に自社工場があるといったものがあった。

Q3. 貴社が販売した折りたたみ自転車でクレームはありますか



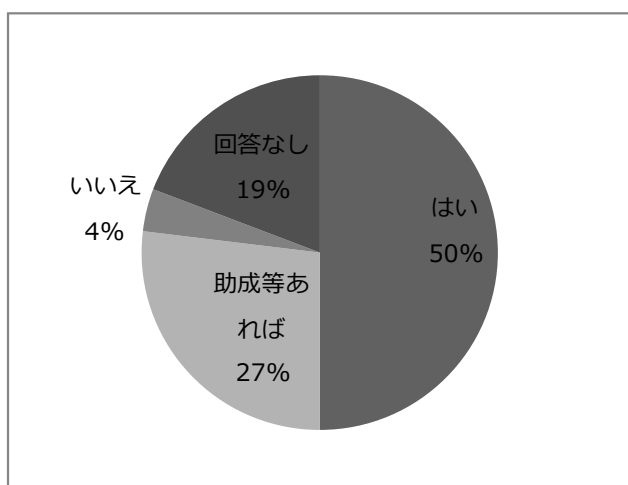
クレーム内容としてはフレーム傷に関するものが最も多く、ハンガ下スタンドの曲がり、変速調整部分、折りたたみ方法が分かりにくい、ハンドル部分のガタ、折りたたみ可動部分のガタ、エアールール、スポーク折損、折りたたみ接合部の変形、ブレーキの音鳴り、サビ、フレーム折損などがあつた。

Q4. 折りたたみ自転車の耐久性についてどう思われていますか。



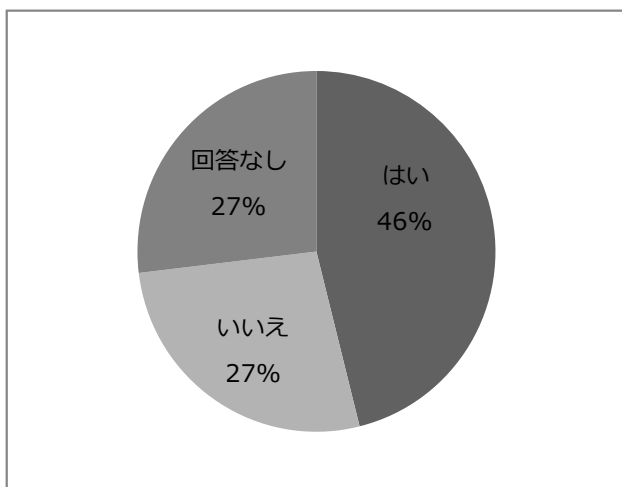
「シティ車より劣る」と答えた理由としては、ヒンジ部があるのだから当然である、あるいはシティ車と同じ試験を行った際壊れやすいといった意見があつた。また、「シティ車と同じである」と答えた理由としては、シティ車と同じ JIS 規格に適合するからという意見があつた。

Q5. 折りたたみ自転車の長寿命化に取り組み、商品化したいと考えますか。



助成がある場合も含め、約 77%の業者が折りたたみ自転車の長寿命化に取り組み、商品化したいと考えていることがわかつた。「はい」と答えた企業からは、共通化された部品が多く、他社との協働で進めていきたいなどの意見があつた。しかし長寿命化に対して興味はあるものの、現行製品が安定しているので仕様変更したくないという意見もあつた。

Q6. 自転車の 3R 設計促進事業に参画し、自社製品を改良したい等の要望はありますか。



「はい」と答えた企業からは、メーカーの責任として環境への配慮が必要と感じている、あるいはリデュース可能な製品（部品）の共有化ができれば積極的にその部品を使っていきたい、ガイドラインがあれば進めやすいなどの意見があった。

以下、アンケートの結果をまとめる。

- ①返答のあった製造販売業者の 27%において自社で商品の設計開発を行っている。
- ②製造はほぼ 100%中国で行っている。
- ③返答のあった製造販売業者の 54%において過去に折りたたみ自転車に関するクレームがある。
- ④返答のあった製造販売業者の 61%が折りたたみ自転車は強度的にシティ車より弱いと考えている。
- ⑤返答のあった製造販売業者の 77%が折りたたみ自転車の長寿命化設計に取り組みたいと考えている。

2.4 事業実施方法

事業を遂行するに当たり、学識経験者及び業界有識者を委員とし構成する「折りたたみ自転車長寿命化設計検討会」を設置した。また、アンケート実施後、返答のあった業者に書面および当協会ホームページで「折りたたみ自転車長寿命化設計」事業参加企業を募り、参加を希望した7社全てを採用し、事業を進めることとした。事業の流れを図3に示す。

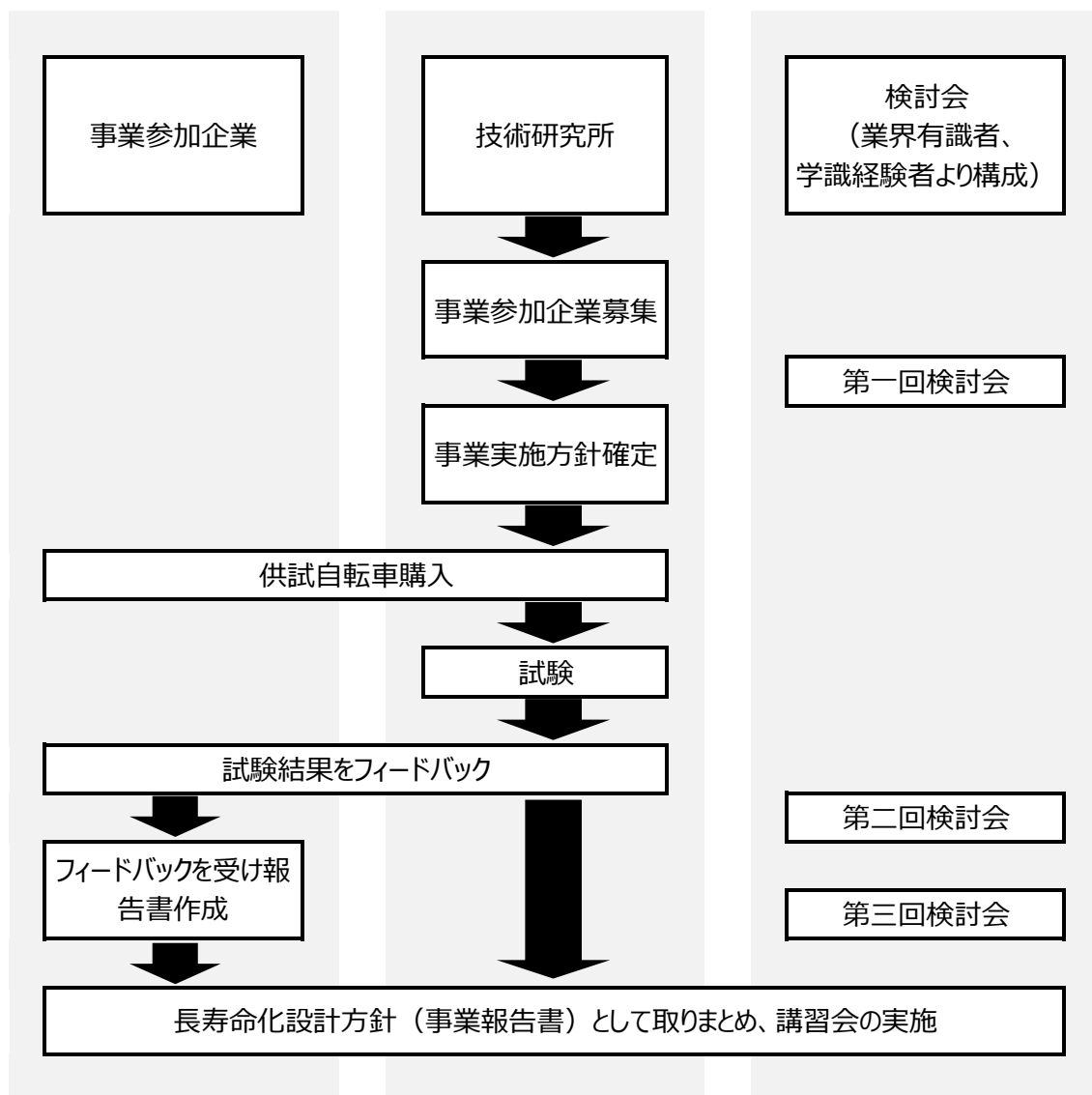


図3 事業の流れ

3. フレーム強度に関する現状把握と改善点の抽出

3.1 供試自転車

供試自転車に関しては事業参加企業が指定した折りたたみ自転車7銘柄（各社1銘柄ずつ）と、比較用として一般的な一本パイプのシティ車2銘柄、小径車1銘柄を購入した。フレームの詳細を表5に、形状の大まかなイラストを図4にまとめた。

表 5 供試自転車

自転車No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
フレーム材料	鉄系合金					アルミ合金					
種類	シティ車	小径車	折りたたみ自転車			シティ車	折りたたみ自転車				
フレーム体重量(kg)	3.8	3.1	3.7	4.1	4.8	2.2	3.1	2.9	2.5	2.5	
車輪の径の呼び	26	20	16	20	20	26	16	18	20	20	
フレームの形状	U形	H形	H形	H形	Y形 前後サス	U形	H形	H形	H形	H形	
購入価格(円)	21,800	15,800				16,900					
肉厚の 最大値 (mm)	メインパイプ	2.0	1.4	1.5	1.4	1.5	2.6	3.5	2.0	1.9	1.6
	立パイプ	2.0	2.0	1.5	2.0	1.4	2.2	4.0	2.2	2.5	2.2
	補強パイプ	1.3	1.3	1.2	1.4	1.2	2.1	2.0	1.6	1.8	1.6

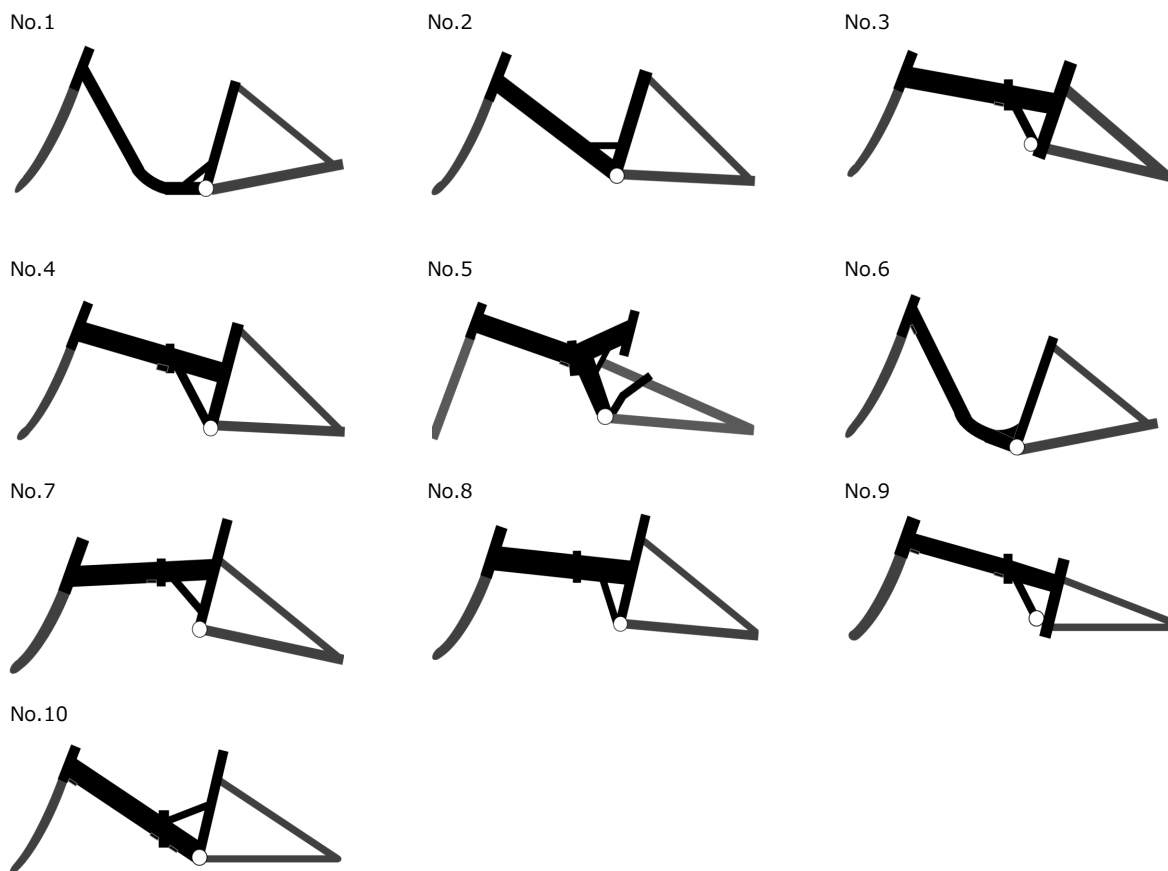


図 4 フレーム形状イラスト

3.2 試験内容

3.2.1 フレームの強度試験

a) 耐振性試験

JIS D 9301:2008 に基づき、大人車、その他の条件（おもり：ヘッド部 5kg、シート部 45kg、ハンガ部 15kg 計 65kg、加振部の加速度 17.6m/s^2 ）で試験を行った（図 5）。加振回数は JIS では 70,000 回と規定されているが、破損する回数を知るため、振動周波数 5Hz で最大 210,000 回加振した。また、5~12Hz で周波数をスイープさせることにより共振周波数も探索した。

応力測定においては、5~12Hz 間を 1Hz 刻みで応力を測定した。測定時間は各 5 秒間で、その間の疲労被害度を計算し、寿命予測を行った。

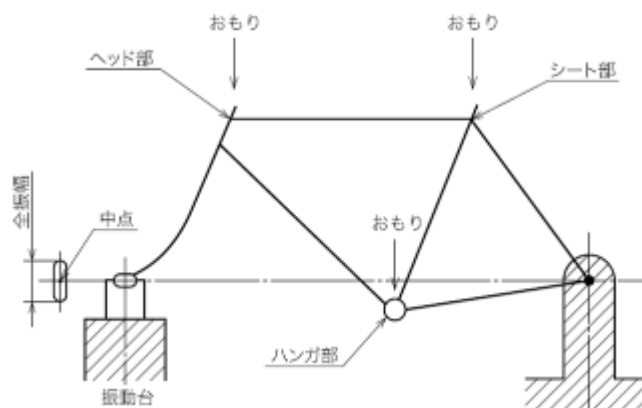


図 5 耐振性試験

b) 疲労試験

JIS D 9301:2008 に基づき、試験を行った（図 6）。試験力と負荷回数は JIS では 850N、100,000 回と規定されているが、破損する回数を知るため、最大 300,000 回試験力を負荷した。

応力測定においては、試験力 850N、925N、1000N で応力を測定した。測定時間は各 60 秒間（負荷回数 90 回）で、その間の疲労被害度を計算し、寿命予測を行った。

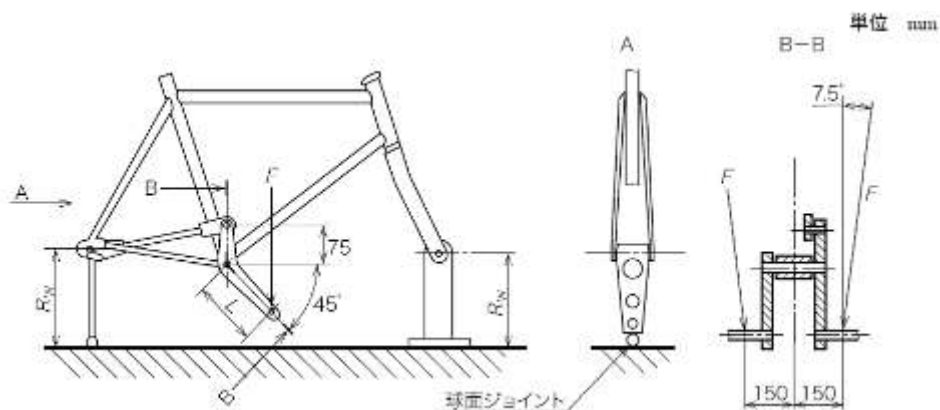


図 6 疲労試験

3.2.2 実走行試験

実走行時に、フレームに対する負荷が大きいと考えられる 8 つの走行路面にて試験を行った。体重 65kg、75kg、100kg の 3 名で各条件 3 回ずつ試験を行った。以下、各走行路面についてまとめた。

a) はしご棧

幅50 mm、高さ25 mm で、タイヤが触れる角部に12 mm、45°の面取りを施した木片 (JIS D 9301:2008の路上試験で規定されているもの) を用いた (写真 1)。走行速度は15km/hを目安にし、走行距離は約20m、木片は10段である。



写真 1 はしご棧

b) 砂利道

写真 2 に示す砂利道を走行した。走行速度は15km/hを目安にした。走行距離は約8mである。



写真 2 砂利道

c) 坂道登り

写真 3 に示す傾斜路を立ちこぎで登った。斜面の角度は約 13 度 (約 23%の坂道) である。走行速度は設定せず、登りきれの速度とした。走行距離は約 11m である。



写真 3 傾斜路

d) 急制動

c) で用いた傾斜路を用い、走行速度が時速 16km となった時に、前後同時にブレーキをかけ急制動を行った。

e) 段差降り

写真4に示す、高さ約100mmの段差を降りた。走行速度は15km/hを目安にした。

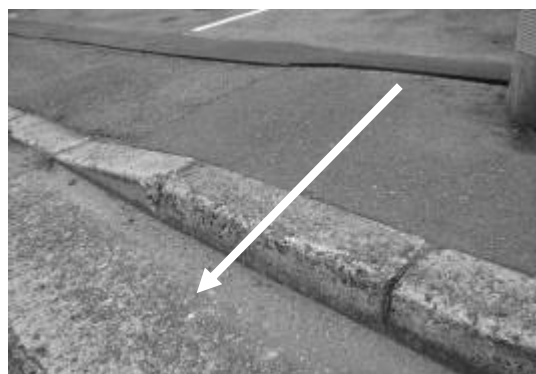


写真 4 段差降り

f) 段差上り

写真5に示す高さ約70mmの段差を上った。走行速度は15km/hを目安にした。



写真 5 段差上り

g) 点字ブロック

写真6に示す線状の点字ブロック上を走行した。ブロックの点字部分の高さは約5mmであった。走行速度は15km/hを目安にした。走行距離は約80mである。



写真 6 点字ブロック

h) 線路横断

写真7に示す路面電車の線路を横断した。線路とアスファルト間の凹凸は深さ約80mm、幅約70mmであった。走行速度は15km/hを目安にした。



写真 7 線路横断

3.2.3 応力測定

試買テスト結果で破損が多かった立パイプ、メインパイプとヒンジ溶接部付近、ヒンジ部を中心に選択し、供試自転車ごとに20枚前後のひずみゲージを貼付け測定した。その一例を図7に示すが、赤色の長方形で示す箇所にひずみゲージを貼付けた。溶接部付近に関しては、溶接の止端部に出来る限り近づけるよう貼付けた。測定方向は図に示す長方形の長軸方向の応力を測定した。無負荷状態（おもりを乗せない状態、試験力を負荷しない状態、乗員が乗らない状態）をゼロ点とした。応力はデータロガーにより収録し、応力振幅 σ_a を求めた。

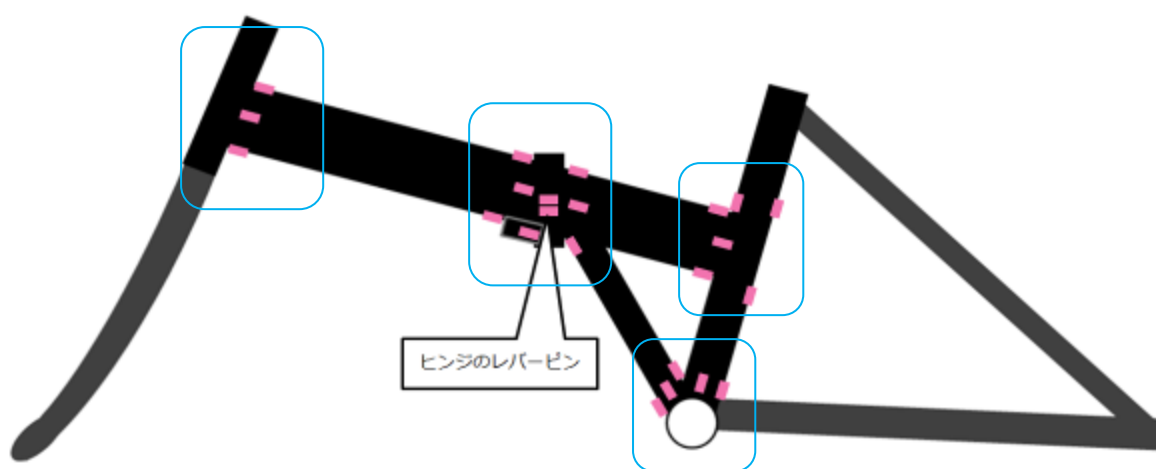


図7 ひずみゲージの貼付箇所（例）

なお、応力振幅 σ_a は、試験時間内の最大応力を σ_{max} 、最小応力を σ_{min} とすると、

$$\sigma_a = \frac{1}{2}(\sigma_{max} - \sigma_{min})$$

で計算される値とした。代表的な応力波形を図8に示す。

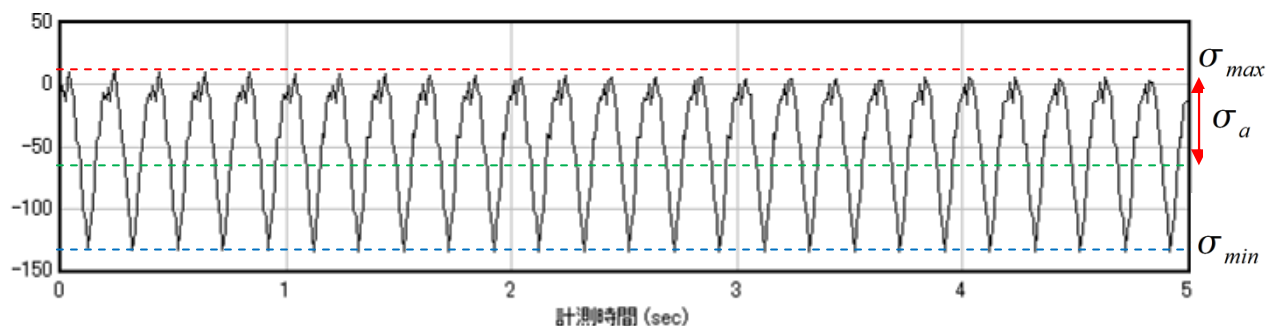


図8 代表的な応力波形

3.2.4 寿命予測

寿命予測に関しては、測定した応力を頻度解析した後、自転車用パイプの SN 曲線により算出した。

頻度解析にはレインフロー法⁶⁾を用いた。レインフロー法とは応力の変動幅を正確に把握し、頻度処理できる解析方法である。図9のような時間経過（横軸）に対する応力変化（スライスレベルで表記、縦軸）があったと仮定すると、レインフロー法では軸を時計回りに90度回転させて考える。概念図を図10に示す。

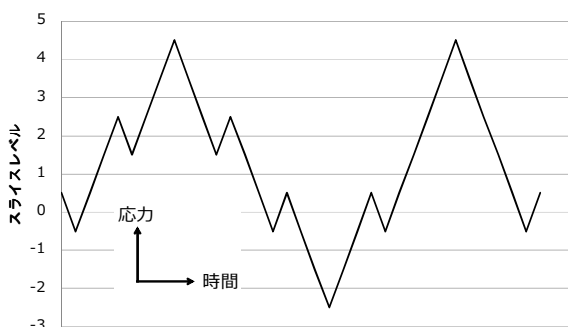
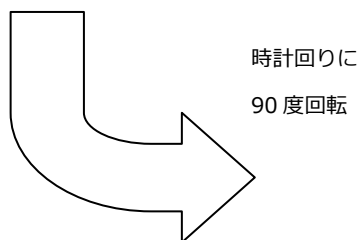


図9 応力変化の例



セルナンバ	カウントデータ
10	0
9	0
8	2
7	0
6	2
5	0
4	0
3	0
2	9
1	0

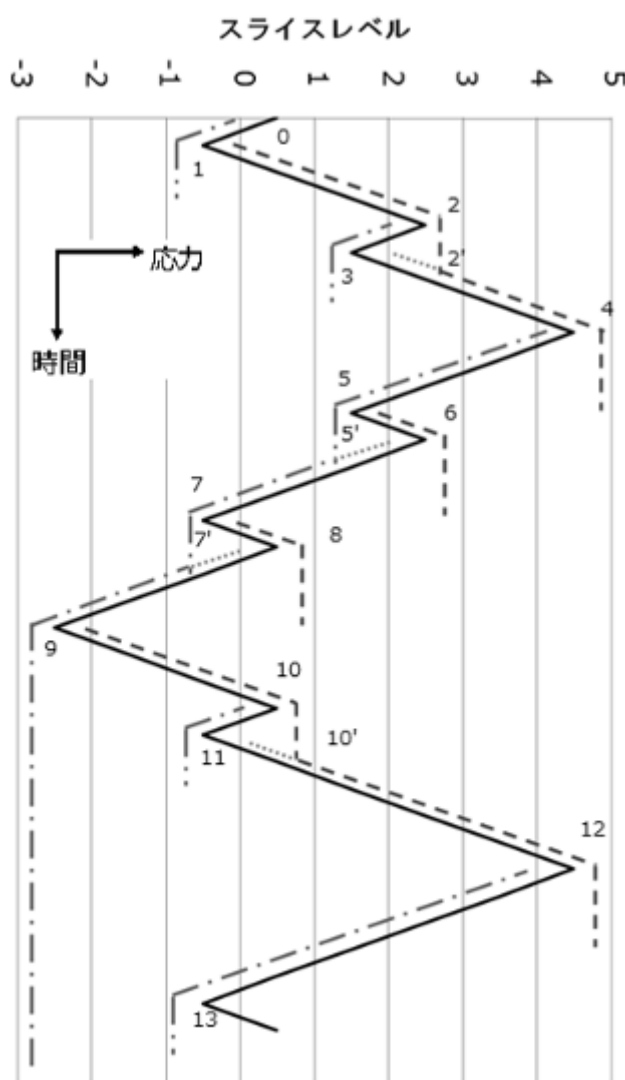


図10 レインフロー法概念図とカウントデータ

⁶⁾ 遠藤達雄・松石正典・光永公一・小林角市 『「Rain Flow Method」の提案とその応用』 九州工業大学研究報告 1974年

頻度解析の別手法である極大値・極小値法では、ひずみ変化を隣り合う山と谷の振幅として、算出するが、**図 10**のレインフロー法では多重の屋根として考える。屋根の高い位置（**図 10**の上方向）より雨滴を流すことをイメージする。これにより複雑に変化する波形から振幅成分とそのカウント数を抽出することができる。

図 10の雨滴の流れは次の 3 条件のいずれかに当てはまった時に停止するものとし、その流れた経路の横軸の長さを計測することで振幅を算出する。

- ①右向きに流れる雨滴は、その流れ始めた位置より左側に屋根が現れた時、その流れは停止する。(1-2-2'-4、5-6、7-8、9-10-10'-12：破線で示した雨滴の流れ)
- ②左向きに流れる雨滴は、その流れ始めた位置より右側に屋根が現れた時、その流れは停止する。(0-1、2-3、4-5-5'-7-7'-9、10-11、12-13：一点鎖線で示した雨滴の流れ)
- ③一つの屋根を 2 つの雨滴が流れることはない。先に流れ始めた雨滴に優先権があり、もう 1 つの雨滴の経路に出会った時、その流れは停止する。(3-2'、6-5'、8-7'、11-10'：点線で示した雨滴の流れ)

以上のように算出された振幅がスライスレベル N-1 と N との間にある時、セルナンバ N として積算した。

寿命の計算に用いた SN 曲線は、フレーム体が鉄系合金製のものには鋼製 TIG 溶接フレーム接合部 (STKM14A 相当)、アルミ合金製のものにはアルミ製 TIG 溶接フレーム接合部 (A7005-F 相当) のデータ⁷⁾を用いた。**図 11**に使用した SN 曲線を示す。実際の破断寿命に近づけるため、修正マイナー則により直線の勾配を下方まで延長し、寿命計算した。

⁷⁾ 平成 13 年度 事故原因究明手法開発調査報告書 (独立行政法人 製品評価技術基盤機構)

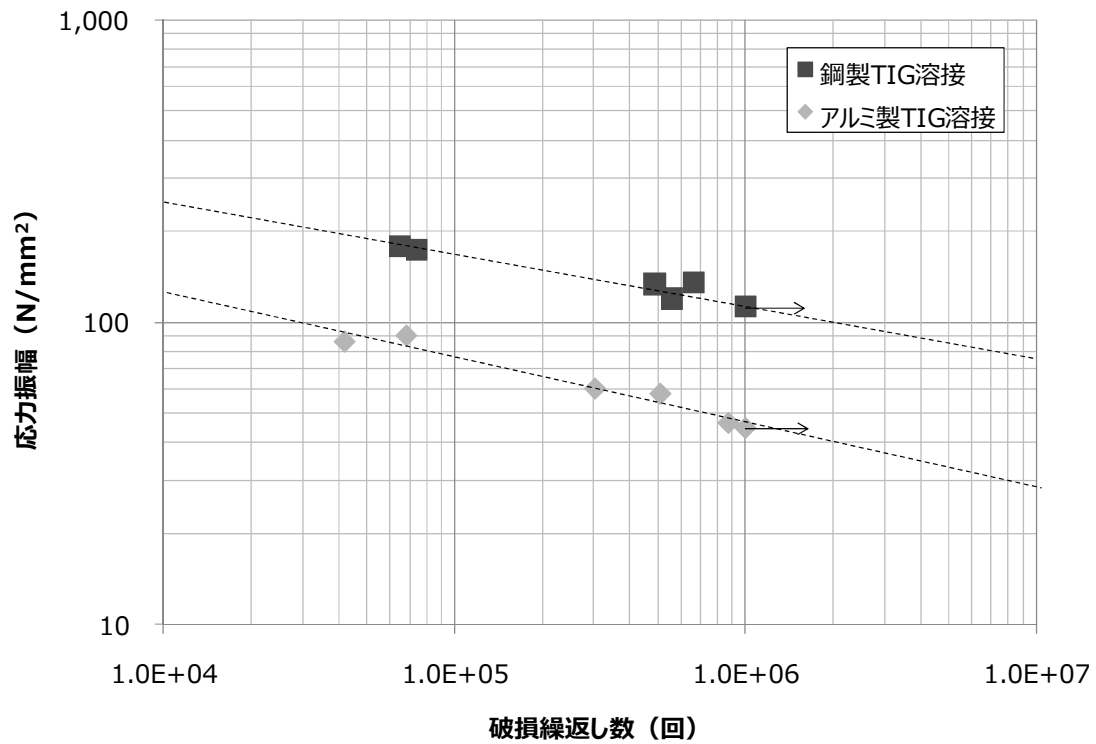


図 11 SN 曲線

なお、応力振幅 S_i の繰り返し応力を加えたときの疲れ破壊までの繰返し数 N_i の材料に、1 サイクルの荷重を加えると、材料は $1/N_i$ の疲労被害を受けたことになり、 n_i 回荷重が加わると n_i/N_i の疲労被害を受けることになる。今回、一回の試験当たりの疲労被害の総和を疲労被害度と呼ぶこととする。理論上、この累計が 1 になる時 ($\sum (\frac{n_i}{N_i})=1$ のとき) 材料が破壊することになる。

3.3 試験結果

3.3.1 耐振性試験

○ 破損回数

各供試自転車の耐振性試験結果を表6、破損した箇所を図12に点線で示す。試験時の振動周波数は5Hzとした。

表6 耐振性試験結果

自転車 No.	フレーム材料	JISの合否	破損した回数	破損した箇所	共振周波数 (Hz)
1	鉄系合金	○	210,000 回以上 (JIS規定回数の 3.0 倍以上)		9.3
2		○	210,000 回以上 (同 3.0 倍以上)		12以上
3		○	182,793 回 (同 2.6 倍)	ヒンジ後溶接部	11.8
4		○	210,000 回以上 (同 3.0 倍以上)		12以上
5		○	210,000 回以上 (同 3.0 倍以上)		12以上
6	アルミ合金	○	210,000 回以上 (同 3.0 倍以上)		7.9
7		○	156,027 回 (同 2.2 倍)	ヒンジ後溶接部	11.2
8		○	210,000 回以上 (同 3.0 倍以上)		12以上
9		○	203,491 回 (同 2.9 倍)	ヒンジ後溶接部	10.1
10		○	118,115 回 (同 1.7 倍)	ヒンジ前溶接部	10.0

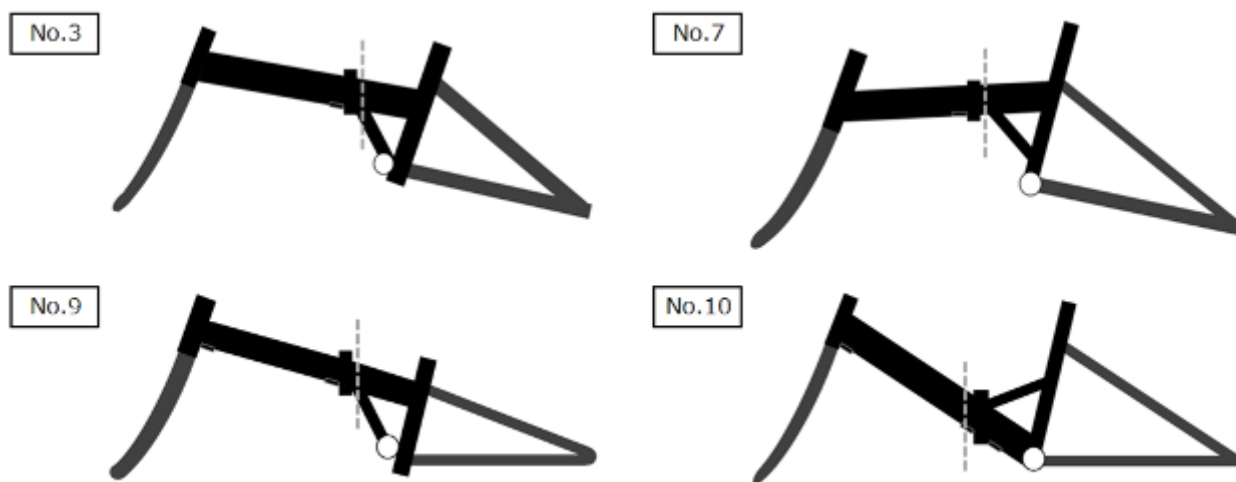


図12 耐振性試験での破損箇所

全ての自転車が JIS の規定回数である 70,000 回をクリアした。また折りたたみ自転車 3 銘柄については JIS 規定回数の 3 倍振動させても壊れなかった。残りの 4 銘柄については 118,115~203,491 回 (JIS 規定回数の 1.7 倍~2.9 倍) まで壊れることはなかった。また共振周波数に関しては一本パイプのシティ車が 10Hz 以下であったのに対し、折りたたみ自転車では全て 10Hz 以上であった。

破損した箇所は 3 銘柄がヒンジの立パイプ側溶接部、1 銘柄がヒンジのヘッドパイプ側溶接部の補強板付近での止端割れ、あるいは母材が不溶着であり、ビード自体が割れて外れたような状態であった。フレーム形状から考えると、ヒンジの立パイプ側溶接部が破損したものは補強パイプがヒンジの後~ハンガ上部に配置されていたのに対し、ヒンジのヘッドパイプ側溶接部の補強板付近が破損したものは補強パイプがヒンジの後~立パイプに配置されていた。また、共振周波数がいずれも 12Hz 以下であった。また No.3 と No.9 についてはヒンジのレバーピンも折れていた。ただしフレームの破損が先か、レバーピンの折れが先かはわからない。

○ 応力測定

各自転車の振動周波数が 5Hz 時の応力分布を図 13～17 に示す。数値を記載してある箇所が応力振幅が最大となった箇所であり、その点における応力波形の一部を示した。

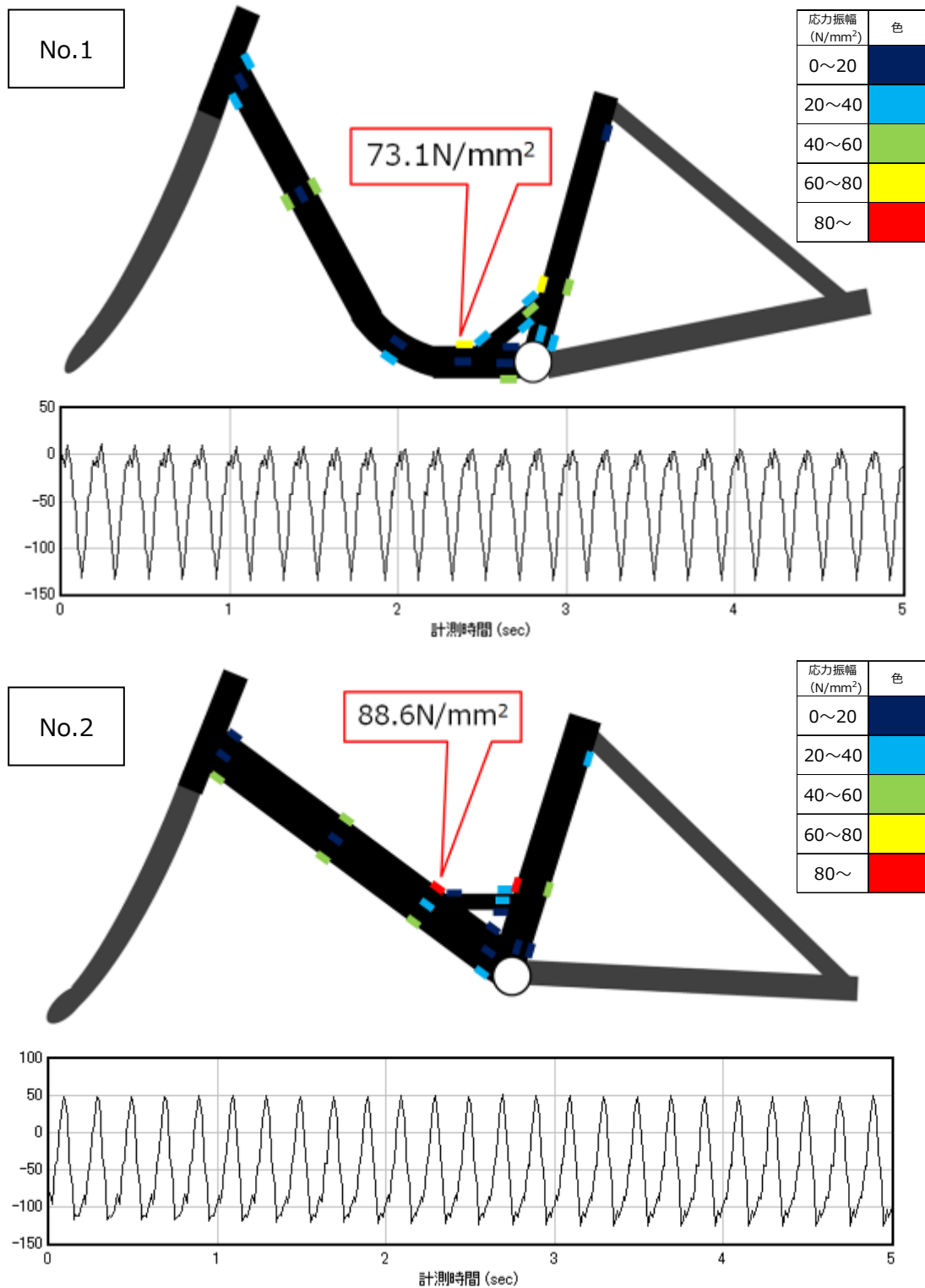


図 13 耐振性試験 応力分布 (自転車 No. 1、No. 2)

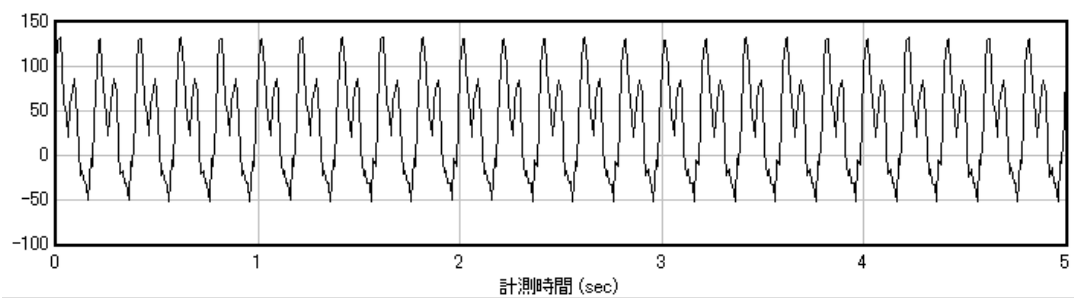
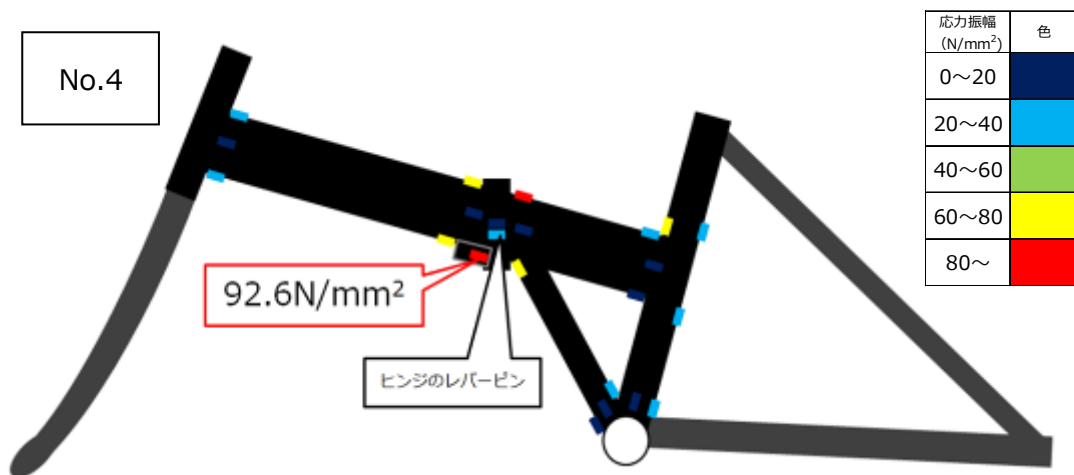
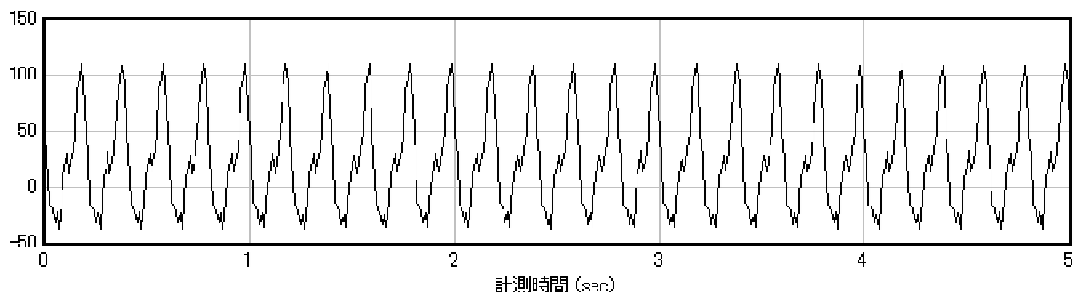
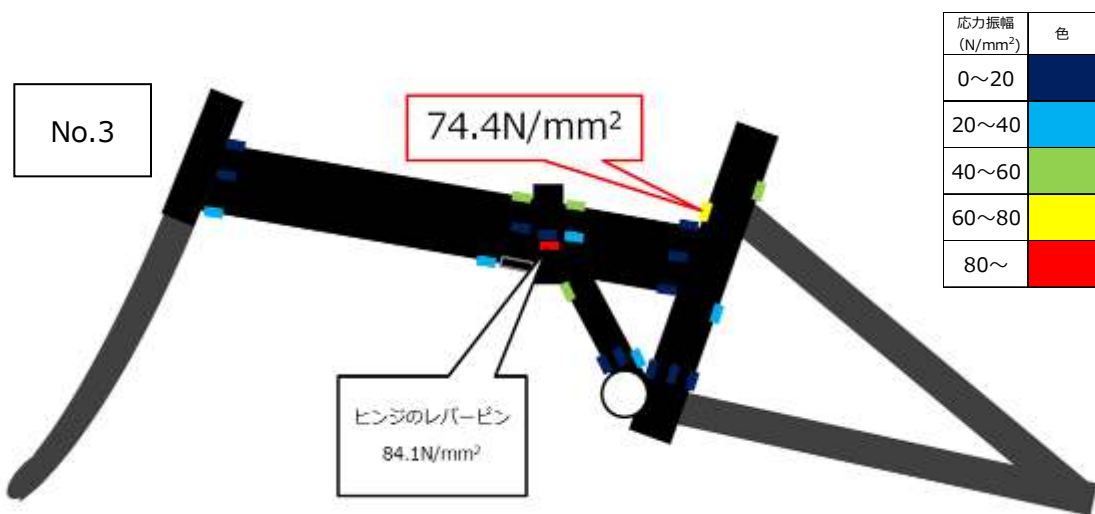


図 14 耐振性試験 応力分布 (自転車 No. 3、No. 4)

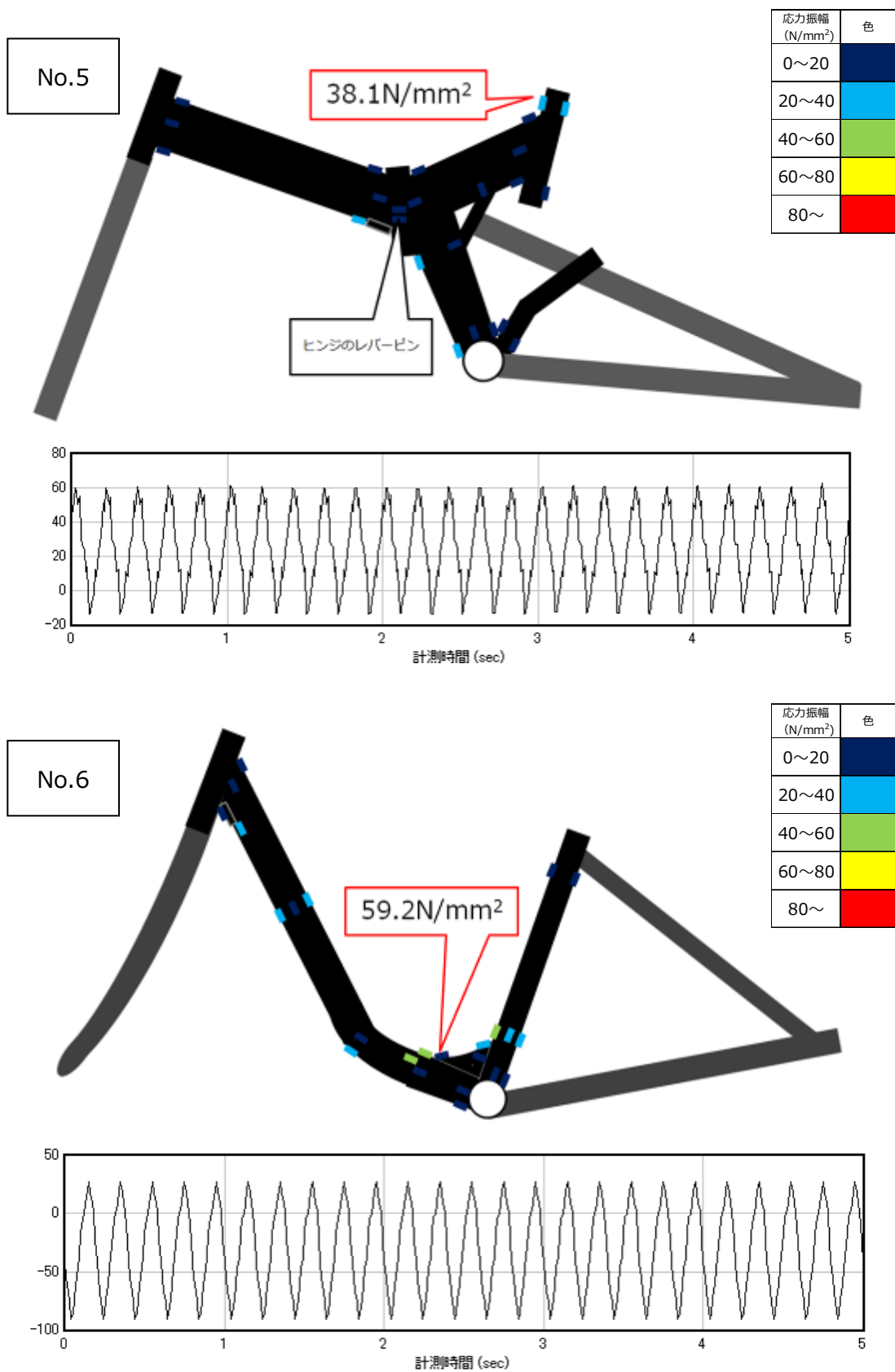


図 15 耐振性試験 応力分布 (自転車 No. 5、No. 6)

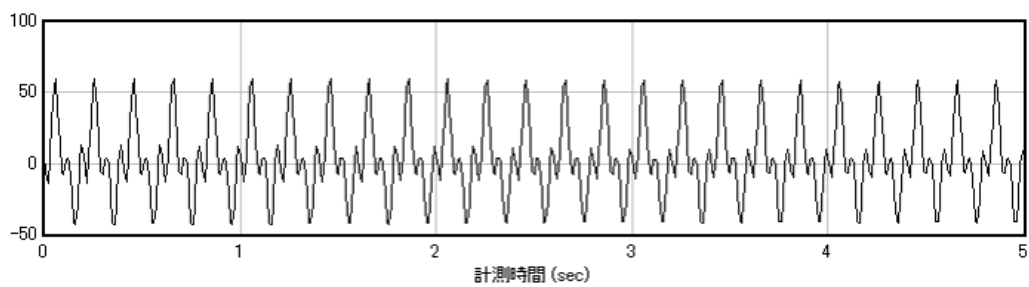
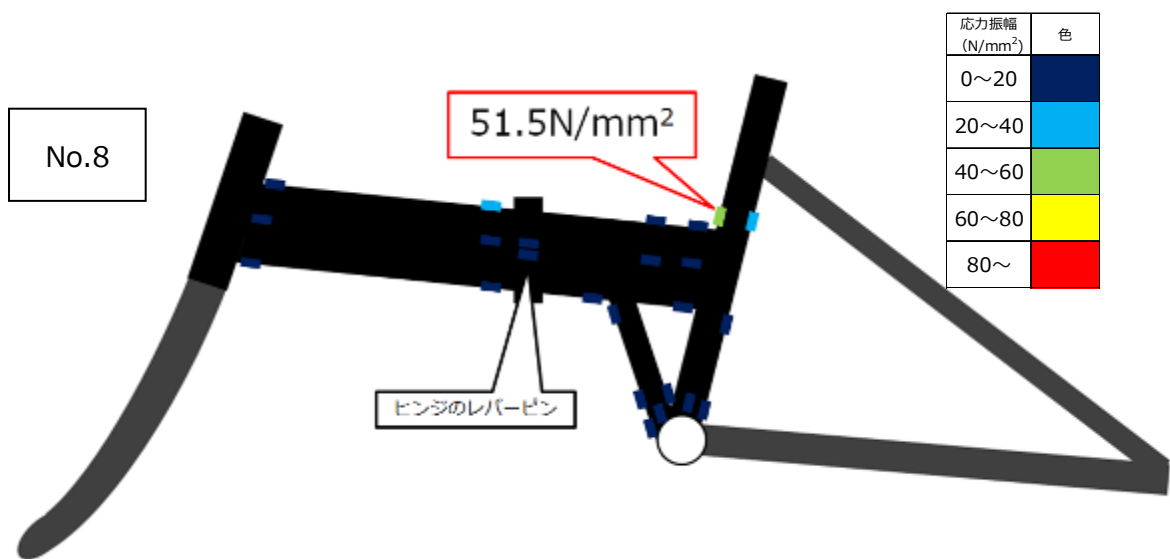
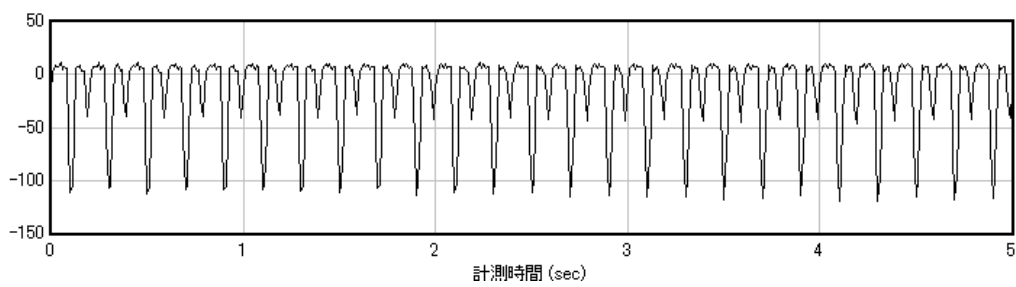
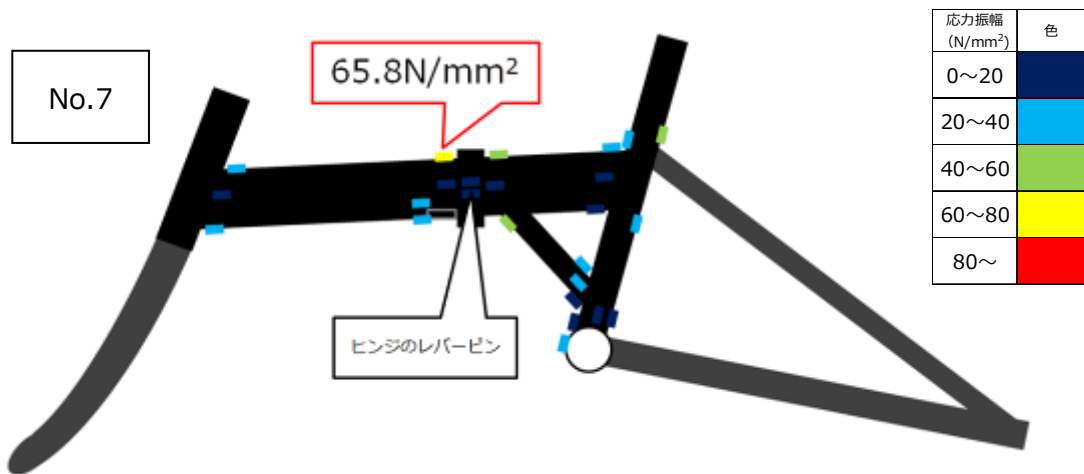


図 16 耐振性試験 応力分布 (自転車 No. 7、No. 8)

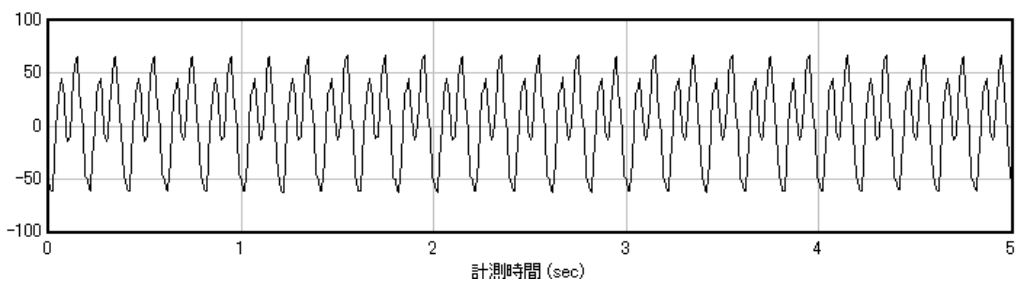
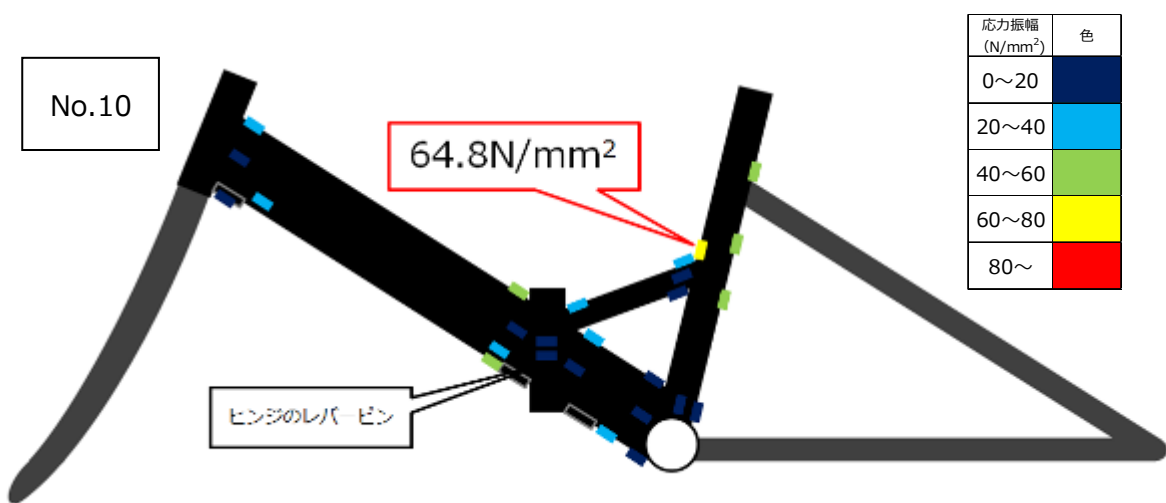
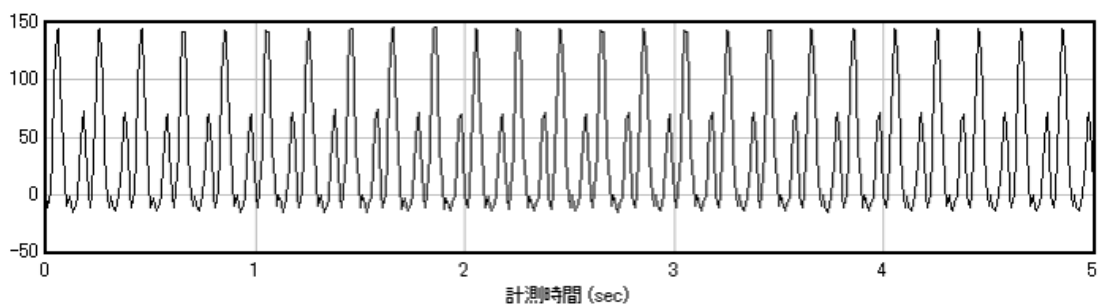
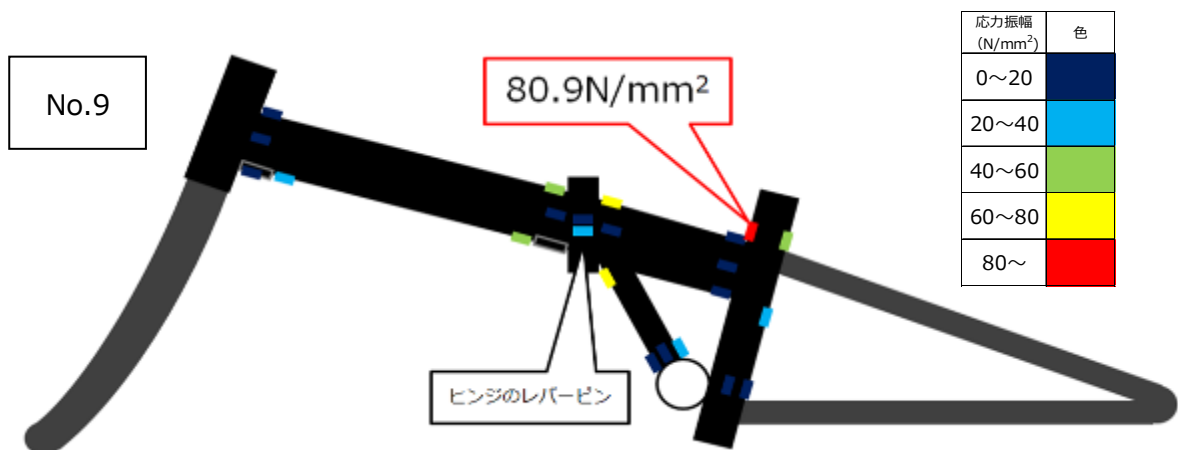


図 17 耐振性試験 応力分布 (自転車 No. 9、No. 10)

折りたたみ自転車に関して、ヒンジ周りあるいは立パイプのメインパイプとの溶接部付近、あるいはメインパイプ・補強パイプ・立パイプで囲まれた三角の外側部分に大きな応力が発生する傾向が見られた。応力振幅値もシティ車（No.1 と No.6）と比較して大きい傾向があった。

また立パイプとメインパイプの溶接部付近で応力が最大となる銘柄が 5 銘柄、ヒンジ周りで応力が最大となる銘柄が 2 銘柄あった。試買テストでも破損の多い箇所であり、同じ傾向があった。

実際にレバーピンが折れた No.3 と No.9 では、レバーピンに生じた応力振幅値が高いことも分かった。折れた箇所に関しては、ねじの谷の部分であるが、ひずみゲージを貼り付けた箇所がねじを切っていない部分であるため、折れた箇所にはさらに応力が生じていると考えられる。

○ 振動周波数による応力振幅値の違い

各自転車の応力振幅値が最大となる点における、振動周波数が 5~12Hz の時の応力振幅値を表 7、図 18 にまとめた。

表 7 応力振幅値が最大となる点の 5~12Hz における応力振幅値

[単位 : N/mm²]

自転車No.	共振周波数 (Hz)	振動周波数 (Hz)								
		5Hz	6Hz	7Hz	8Hz	9Hz	10Hz	11Hz	12Hz	
1	9.3	73.1	83.1	111.1	※	※	75.9	34.6	168.3	
2	12以上	88.6	131.6	112.8	120.6	※	※	※	※	
3	フレーム	11.8	74.4	76.6	84.8	92.4	100.9	131.6	※	※
	(レバーピン)		84.1	84.4	90.6	99.7	102.2	107.3	※	※
4	12以上	92.6	100.9	93.4	117.6	※	※	※	※	
5	12以上	38.1	37.0	38.1	41.8	39.6	38.3	46.3	44.6	
6	7.9	59.2	81.9	※	※	82.4	50.2	39.3	36.1	
7	11.2	65.8	69.8	72.8	75.1	※	※	※	※	
8	12以上	51.5	39.7	51.9	45.3	48.9	56.9	68.5	88.0	
9	10.1	80.9	93.4	80.6	88.0	※	※	※	※	
10	10.0	64.8	64.4	76.6	87.2	※	※	※	※	

※ : 共振のため測定できなかった

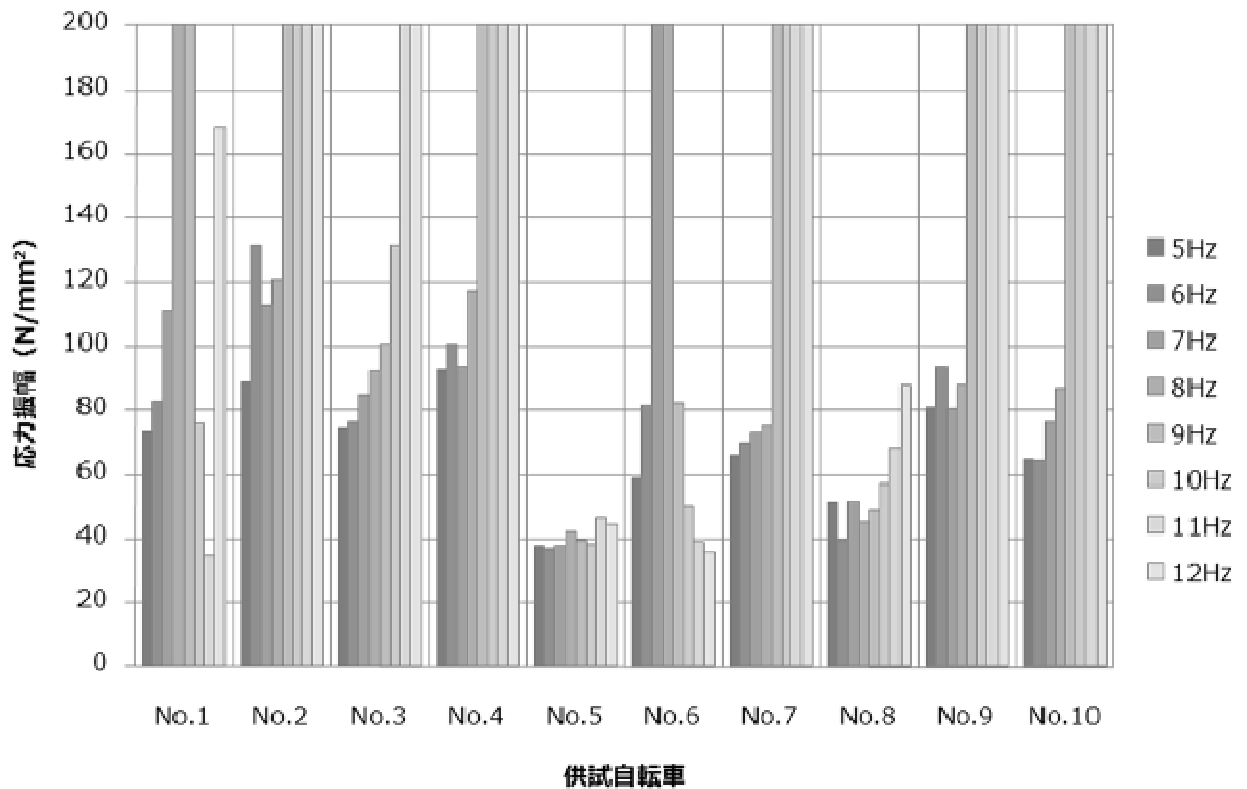


図 18 振動周波数による応力振幅値の変化

各自転車において、共振周波数に近づくほど応力振幅値が大きくなることが分かった。また、今回折りたたみ自転車以外で試験対象としたシティ車（一本パイプ）は共振周波数が 8~9Hz 付近であり、共振周波数が 10Hz 以上である折りたたみ自転車に比べ、振動周波数が低い領域において応力振幅値が大きくなっていた。

○ 耐振性試験での寿命予測

各自転車の応力振幅値が最大となる点において、振動周波数が 5~12Hz の時のフレーム体の寿命を予測した。結果を表 8、図 19 にまとめた。

表 8 や図 19 から、鉄系合金フレームの自転車に比べアルミ合金フレームの自転車の寿命が短いことが分かった。

また、実際に試験で何らかの破損があった No.3、No.7、No.9、No.10 の自転車のうち No.7、No.9、No.10 は、寿命予測でも 9 万回~32 万回と短い銘柄であった。実際の破断回数と予測した寿命と若干違うが、実際に破損した箇所は溶接の止端部や溶接ビード部付近であり、ビードの凸凹によって応力集中が生じた、あるいは溶接後の熱影響を受け、溶接箇所近傍（溶接 2 番部）の疲労強度が低下し、繰返し応力に対して弱くなったことも考えられる。また、破損後の断面を見ると母材が不溶着のものもあり、不溶着部が起点となったことも考えられる。

表 8 各振動周波数での予測寿命

[単位 : $\times 10^4$ 回]

自転車 No.	振動周波数 (Hz)							
	5	6	7	8	9	10	11	12
1	100以上	100以上	100以上			100以上	100以上	0.4
2	100以上	72	100以上	100以上				
3	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	81		
4	100以上	100以上	100以上	100以上				
5	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上	100以上
6	40	10			10	85	100以上	100以上
7	32	53	20	22				
8	74	100以上	89	100以上	100以上	48	26	9
9	9	6	15	6				
10	28	33	15	7				

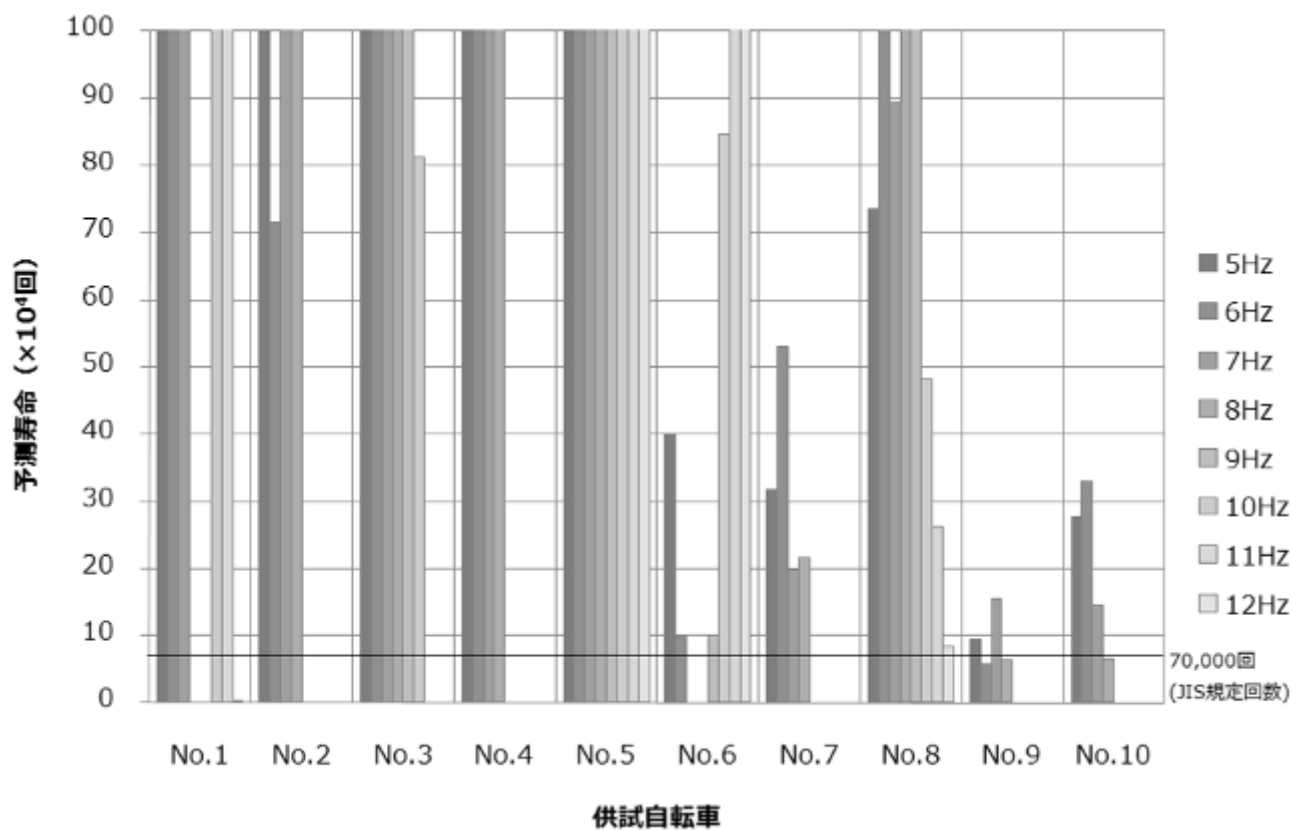


図 19 各振動周波数での予測寿命

3.3.2 疲労試験

○ 破損回数

各供試自転車の疲労試験結果を表9、破損した箇所を図20に点線で示す。

表9 疲労試験結果

自転車 No.	フレーム材料	JISの合否	破損した回数	破損した箇所
1	鉄系合金	○	300,000 回以上 (JIS規定回数の 3.0 倍以上)	
2		○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
3		○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
4		○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
5		○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
6	アルミ合金	○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
7		○	300,000 回以上 (同 3.0 倍以上)	
8		○	249,734 回 (同 2.5 倍)	ハンガ上
9		○	234,433 回 (同 2.3 倍)	ヒンジレバーピン
10		○	229,914 回 (同 2.3 倍)	ヒンジ前溶接部

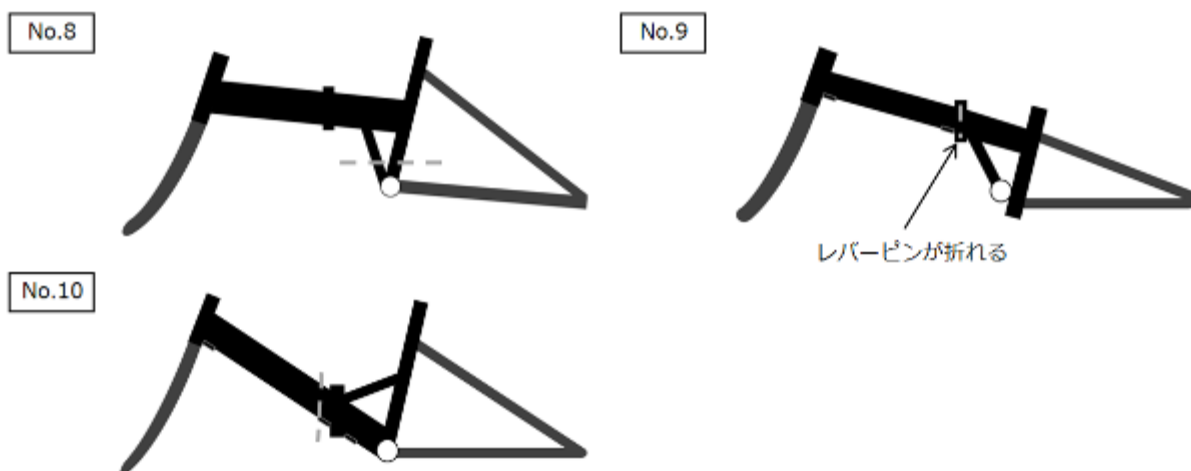


図20 疲労試験での破損箇所

全ての自転車が JIS の規定回数である 100,000 回をクリアした。また折りたたみ自転車 4 銘柄については JIS 規定回数の 3 倍試験力を付加させても壊れなかった。残りの 3 銘柄については 229,914~249,734 回 (JIS 規定回数の 2.3 倍~2.5 倍) まで壊れることはなかった。30 万回未満で破損したものの共通点としては、全てアルミ合金フレームであった。No.8 はハンガ上の立パイプ・補強パイプの溶接部付近の止端割れ、No.10 は耐振性試験と同様にヒンジのヘッドパイプ側溶接部の補強板付近の止端割れであった。No.9 は耐振性試験同様レバーピンが折れたが、折れた箇所も同じ連結ロッド付近であった。

○ 応力測定

各自転車の試験力が 850N 時の応力分布を図 2 1 ~ 2 5 に示す。数値を記載してある箇所が応力振幅が最大となった箇所であり、その点における応力波形の一部を示した。

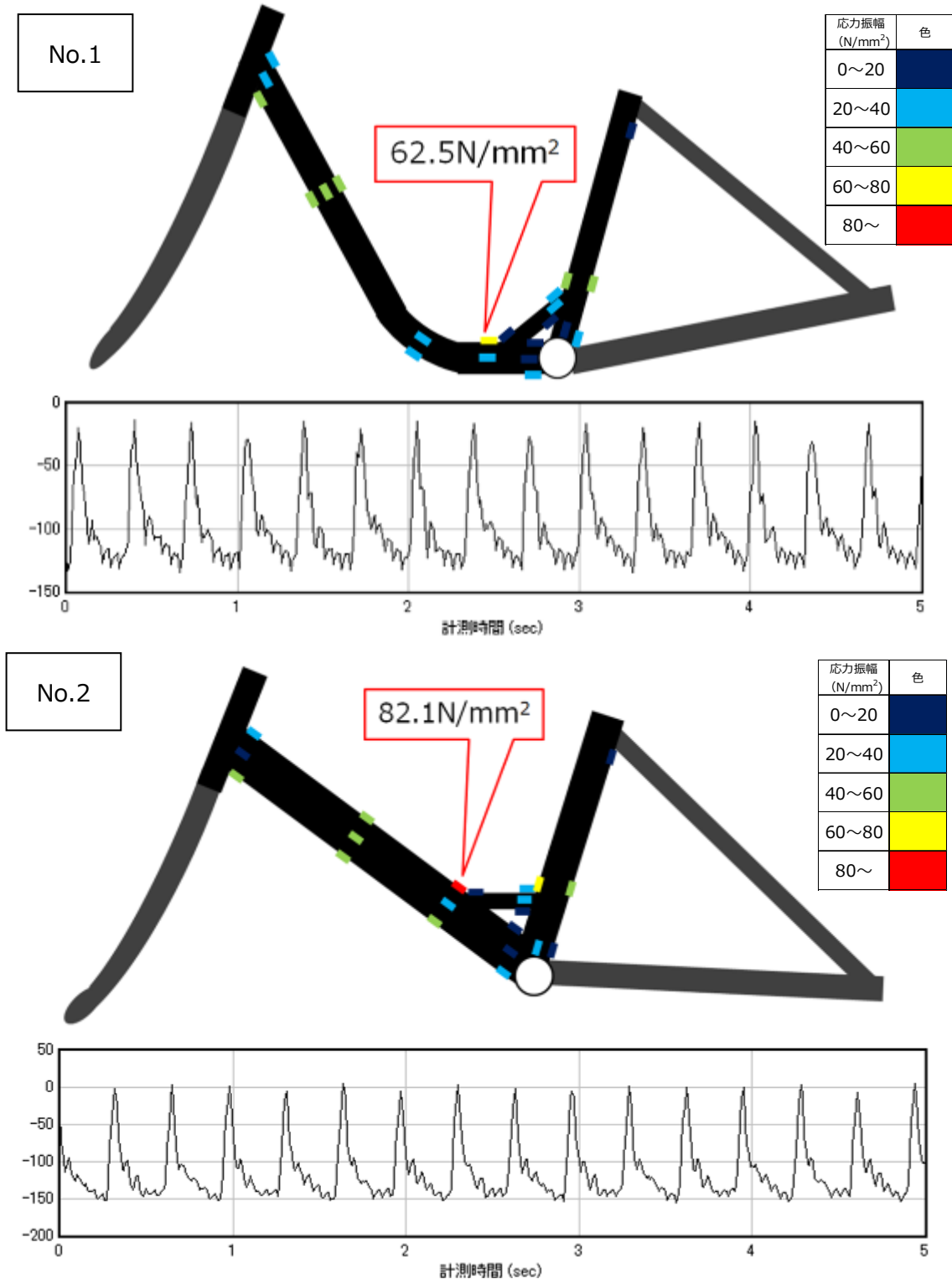


図 21 疲労試験 応力分布 (自転車 No. 1、No. 2)

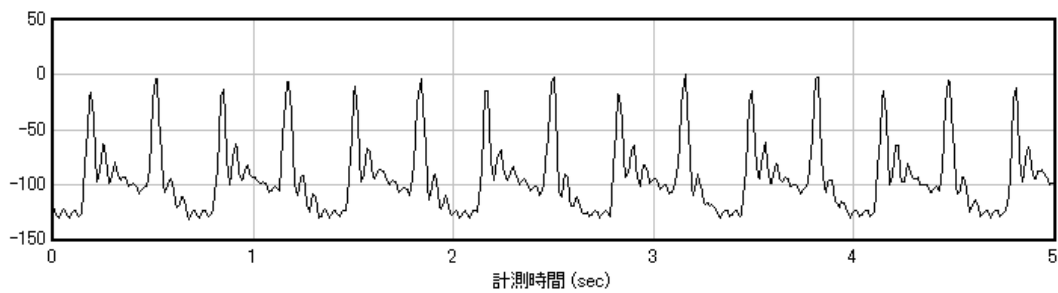
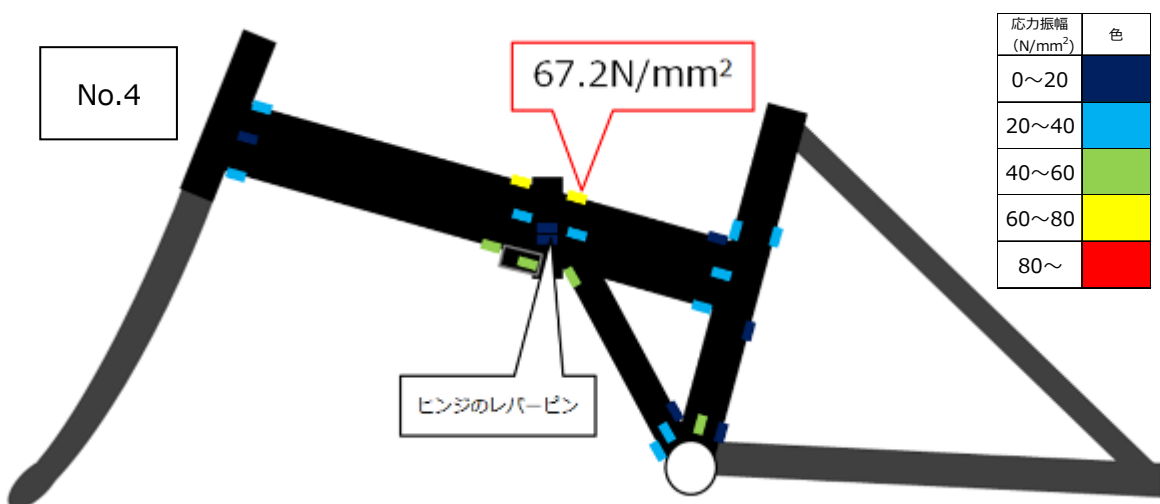
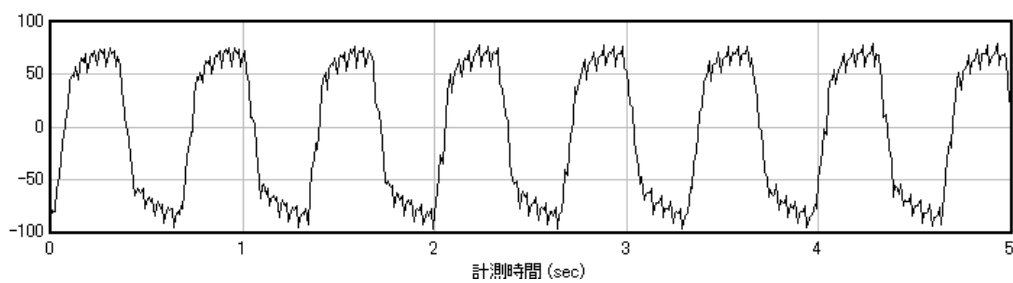
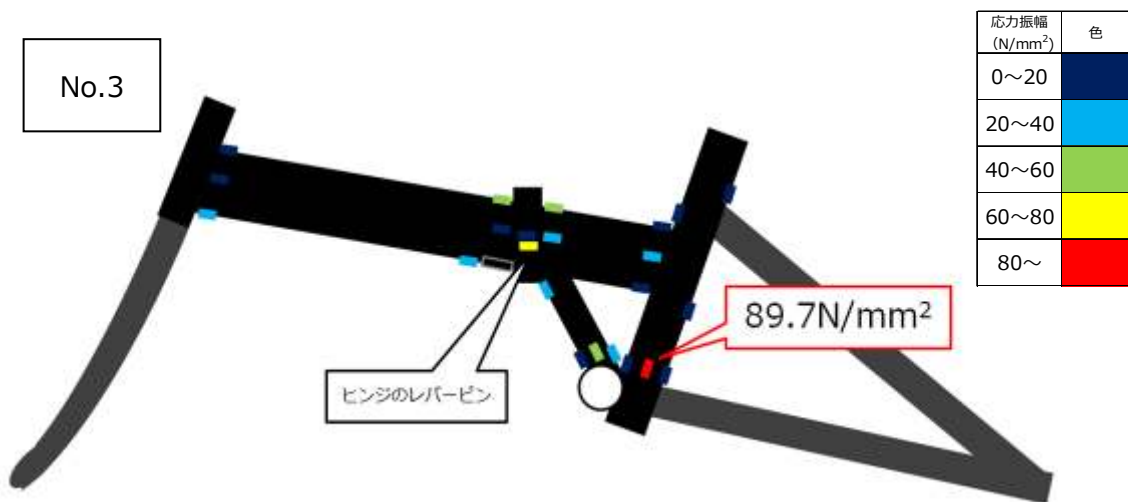


図 22 疲労試験 応力分布 (自転車 No. 3、No. 4)

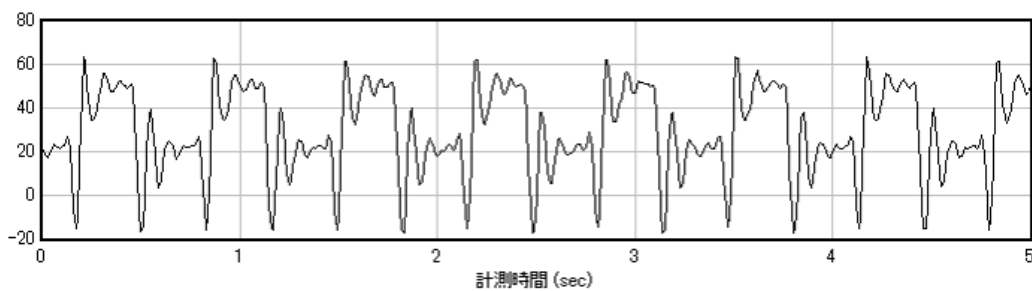
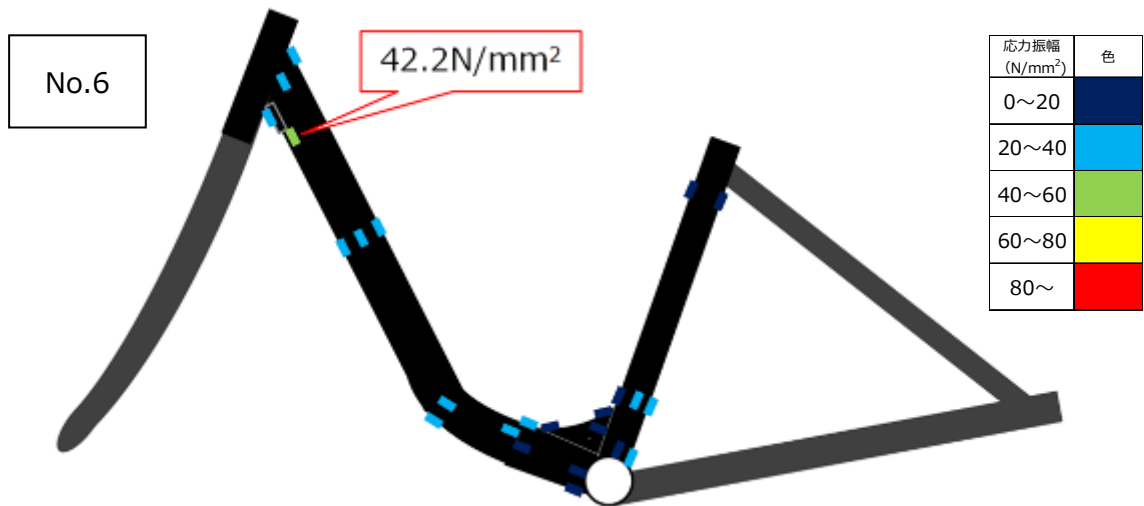
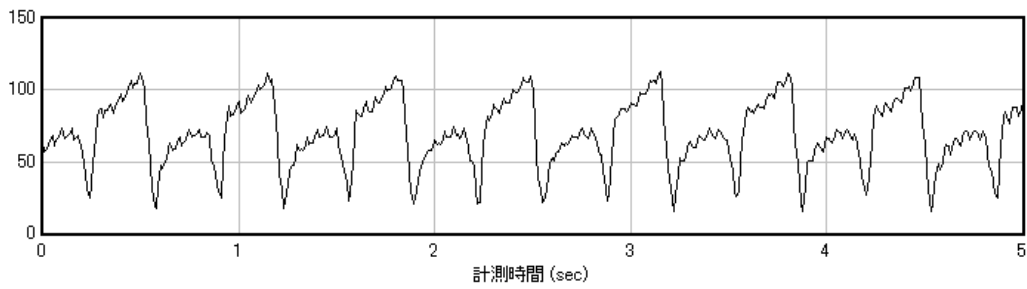
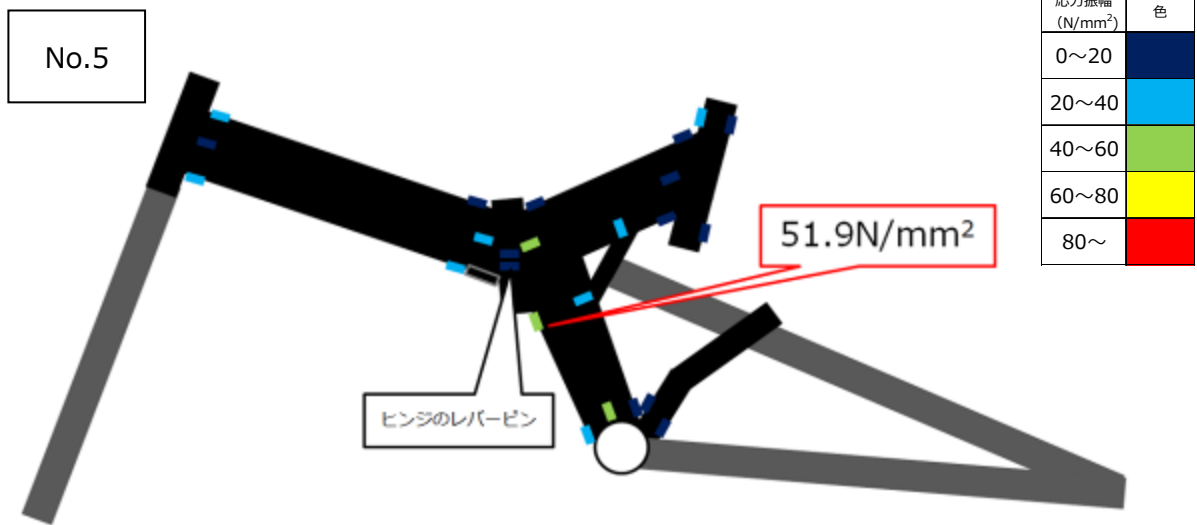


図 23 疲労試験 応力分布 (自転車 No. 5、No. 6)

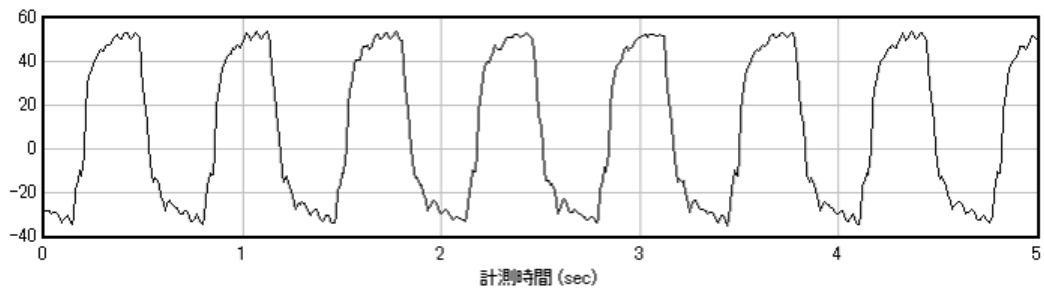
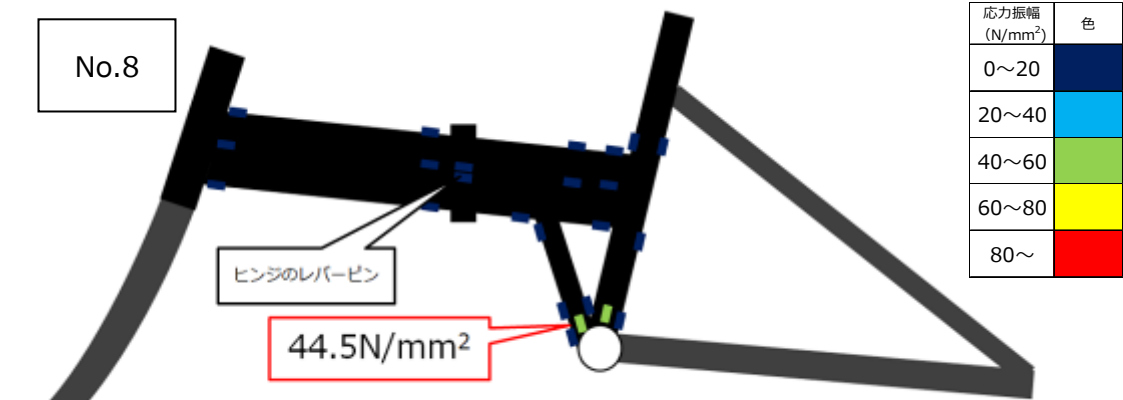
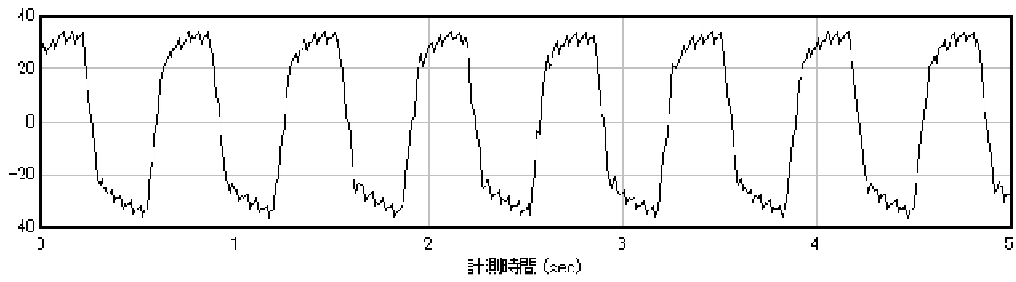
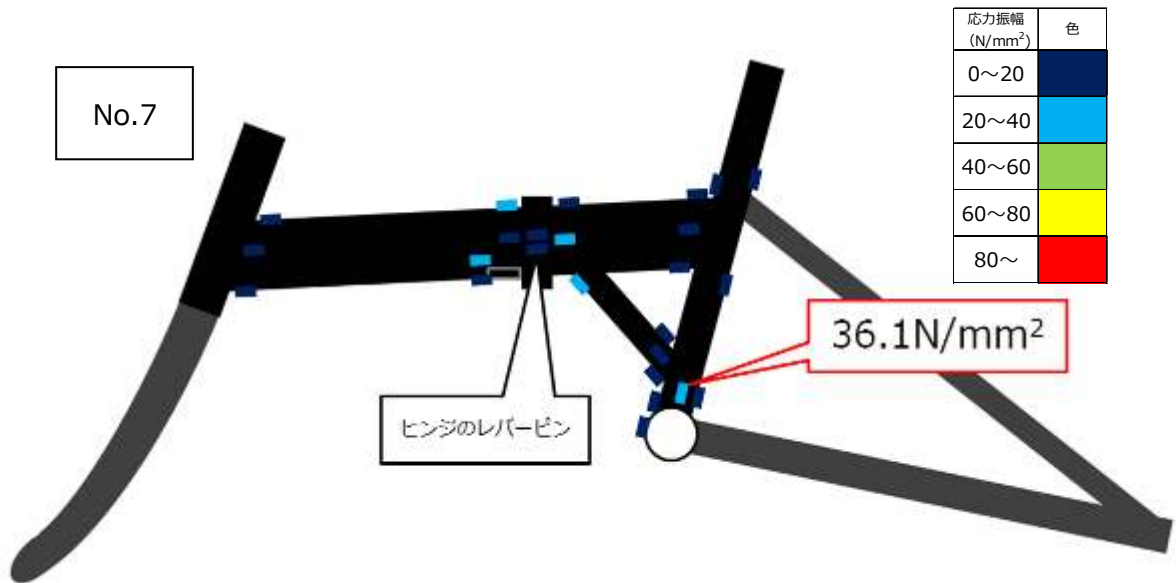


図 24 疲労試験 応力分布 (自転車 No. 7、No. 8)

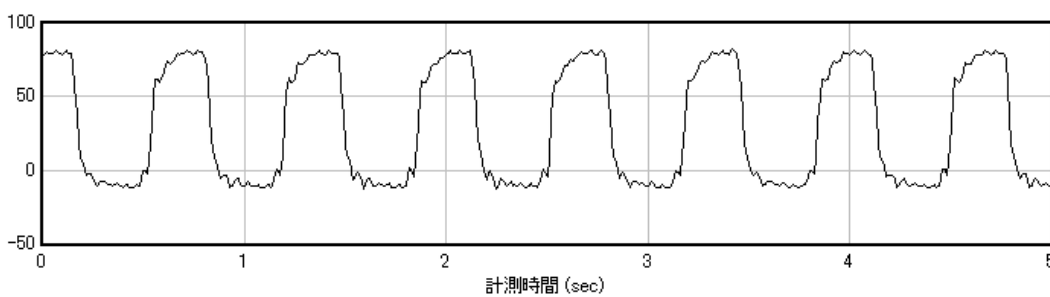
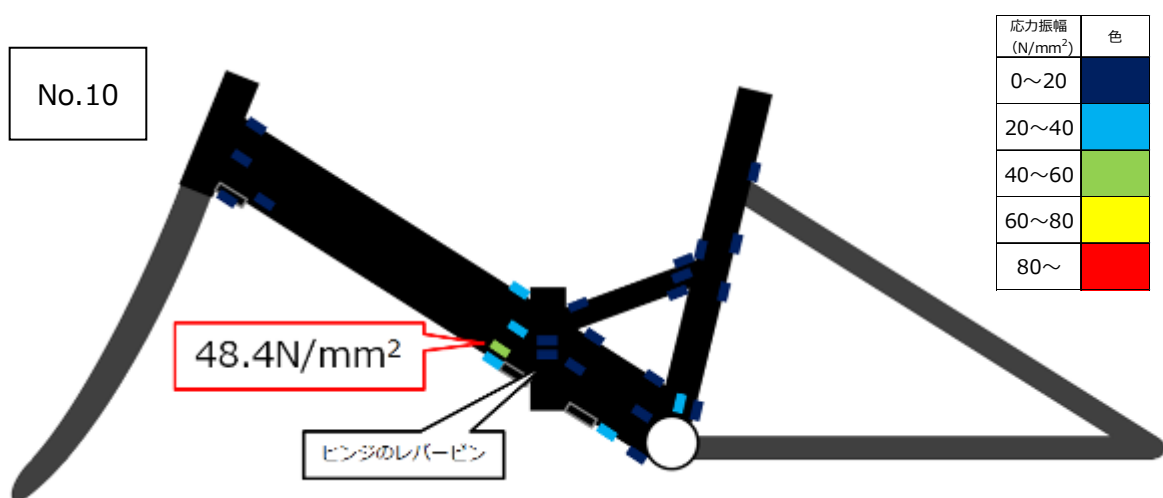
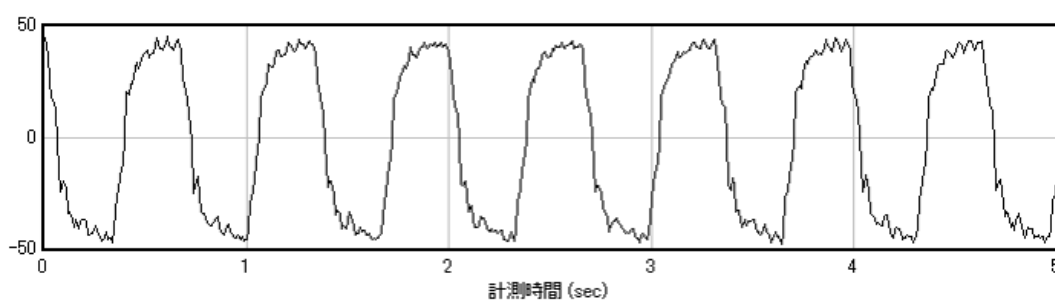
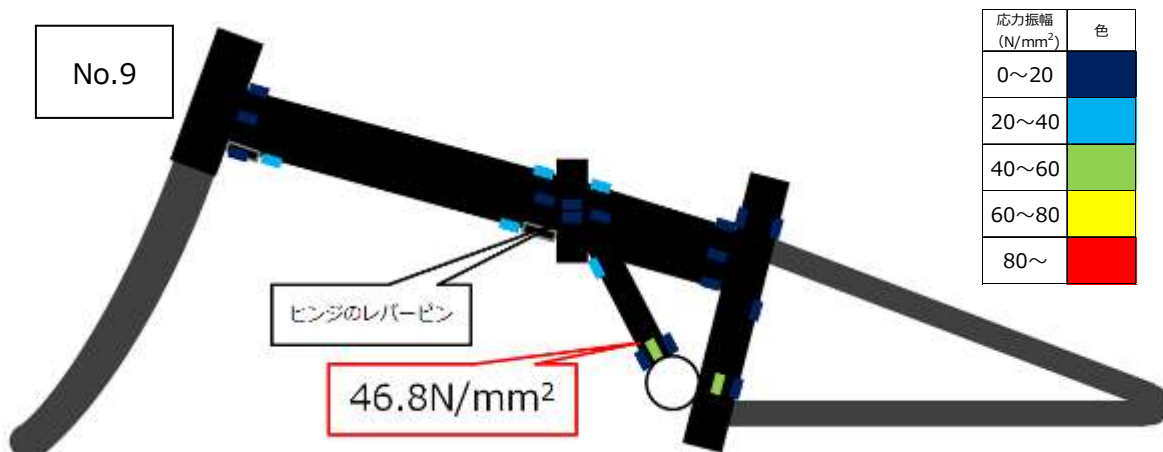


図 25 疲労試験 応力分布 (自転車 No. 9、No. 10)

○ 試験力による応力振幅値の違いと寿命予測

各自転車の応力振幅値が最大となる点において、試験力が 850、925、1,000N の時の応力振幅値を表 10 と図 26 にまとめた。

表 10 応力振幅値が最大となる点の試験力 850~1,000N における応力振幅値

[単位 : N/mm²]

自転車No.	試験力 (N)			
	850	925	1,000	
1	62.5	68.4	71.9	
2	82.1	86.4	94.5	
3	フレーム	89.7	96.5	102.9
	(レバーピン)	71.1	76.1	79.6
4	67.2	69.5	69.1	
5	51.9	56.8	57.1	
6	42.2	45.0	47.6	
7	36.1	39.3	41.4	
8	44.5	49.0	53.1	
9	46.8	51.6	54.9	
10	48.4	52.1	56.3	

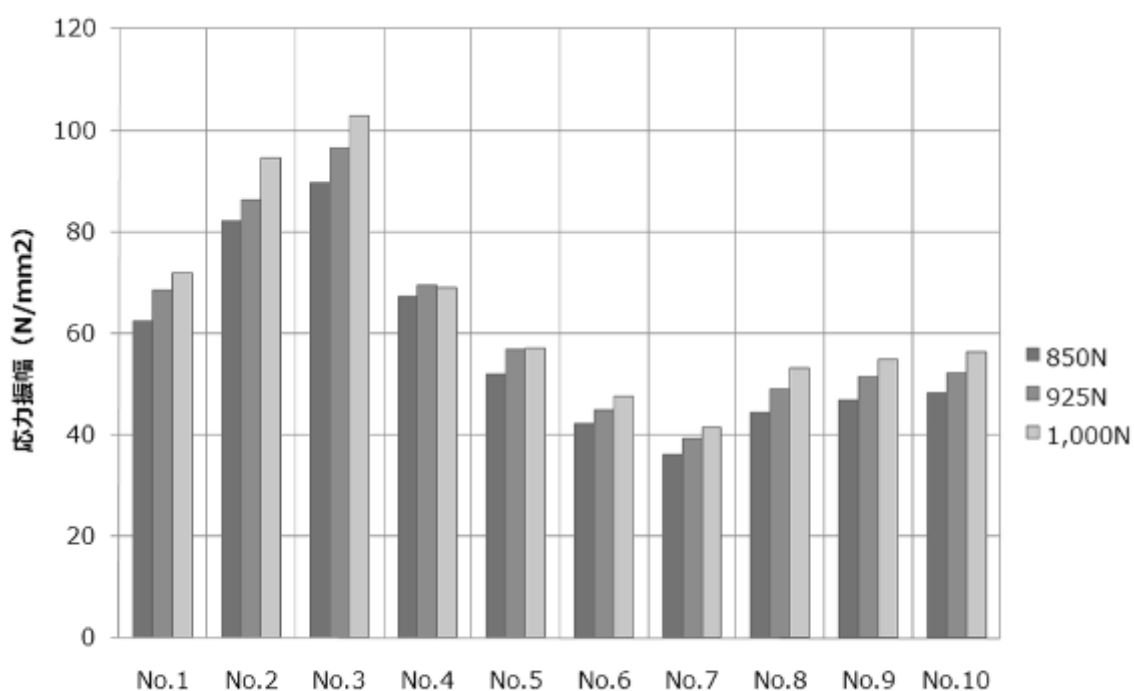


図 26 試験力 850~1,000N における応力振幅値

いずれの銘柄においても試験力の上昇と共に応力振幅値も大きくなった。850N 時の応力振幅値が大きいものほど、試験力を上げた時の応力振幅値の上昇幅が大きい傾向があった。

○ 疲労試験での寿命予測

各自転車の応力振幅値が最大となる点において、試験力が 850、925、1,000N の時の寿命を予測した。結果を表 11、図 27 にまとめた。

疲労試験においても、耐振性試験と同様にアルミ合金フレームの折りたたみ自転車の寿命が短い傾向にあった。また、No.8、No.10 の折りたたみ自転車は寿命予測においても寿命が短く、実際にその箇所で破損したが、予測値は実際の破損回数よりも大きな値であった。これは耐振性試験の時と同様、ビードの凸凹による応力集中や溶接 2 番部の影響などが原因と考えられる。しかし、予測した寿命が短いものが破損したという傾向は見られた。

表 11 各試験力での予測寿命

[単位：×10⁴回]

自転車 No.	試験力 (N)		
	850	925	1,000
1	500以上	500以上	500以上
2	500以上	425	311
3	500以上	360	240
4	500以上	500以上	500以上
5	500以上	500以上	500以上
6	168	110	77
7	237	198	171
8	129	84	62
9	100	74	57
10	87	69	50

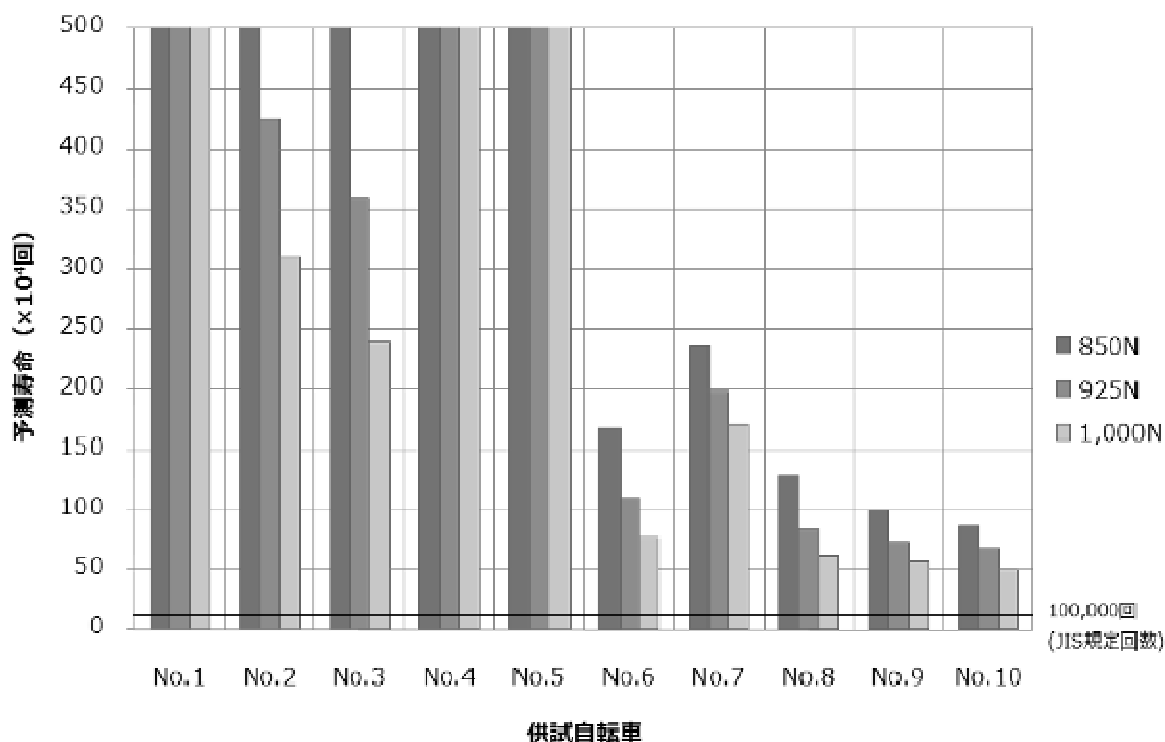


図 27 各試験力での予測寿命

3.3.3 実走行試験

○ 走行路面別の結果

a) はしご棧

各自転車のはしご棧走行時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表12に、その箇所を図28に示す。また、試験時に前輪のハブ軸に生じる加速度の一例を図29に示す。

表 12 累積疲労被害度と予測寿命（はしご棧）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)			耐振性試験 (5Hz)
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)			
	65	75	100	65	75	100	
1	8.19E-08	1.48E-07	3.34E-07	500以上	500以上	299	100以上
2	1.77E-09	3.46E-08	1.58E-07	500以上	500以上	500以上	100以上
3	3.34E-08	0.00E+00	4.53E-08	500以上	500以上	500以上	100以上
4	5.67E-09	8.44E-09	1.26E-08	500以上	500以上	500以上	100以上
5	2.01E-09	1.77E-09	8.94E-08	500以上	500以上	500以上	100以上
6	2.23E-06	4.19E-06	4.60E-06	45	24	22	40
7	3.24E-07	3.61E-07	2.01E-06	308	277	50	32
8	5.74E-07	4.69E-07	3.11E-06	174	213	32	74
9	3.73E-06	4.68E-06	7.91E-06	27	21	13	9
10	5.58E-07	1.35E-06	4.95E-06	179	74	20	28

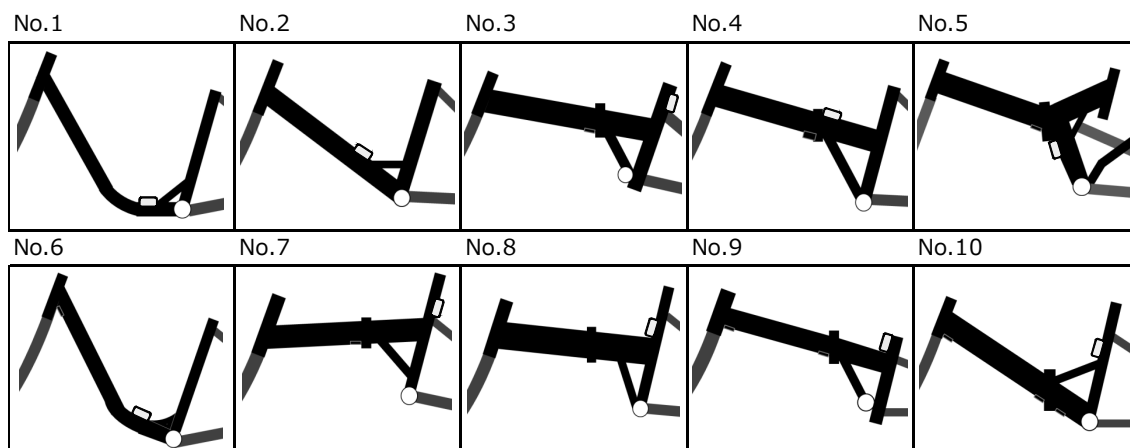


図 28 寿命計算対象箇所（はしご棧）

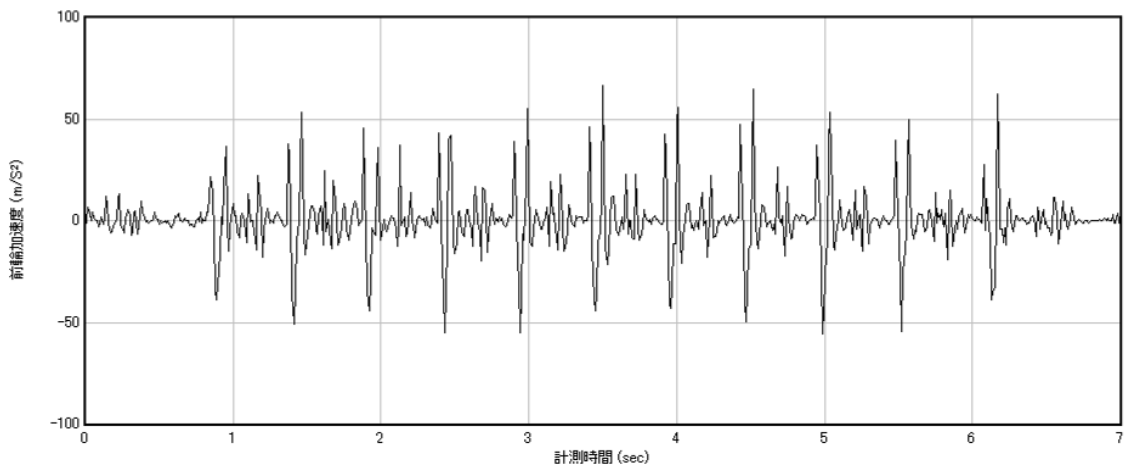


図 29 前輪ハブ軸に生じる加速度

周期的に段差を乗り越えるので、耐振性試験に近い状況であると考えられる（前後輪のハブ軸に生じる最大加速度は約 50m/s^2 と耐振性試験に比べ大きい）。実際に発生した応力も耐振性試験と同じような傾向が見られ、鉄系合金フレームのものは、ほぼ 500 万回以上試験を行ったとしても壊れず、一方アルミ合金フレームに関しては最も短いもので 27 万回と鉄系合金フレームに比べ短かった。

特筆すべき点は、寿命が短い箇所、即ちダメージを受ける箇所がアルミ合金フレームに関しては全て立パイプであり、乗員体重が重いほど寿命が短くなるという点である。この試験条件では乗員体重に直接関係する箇所がダメージを受け、かつ乗員体重の違いが大きく反映されたと考えられる。鉄系合金フレームにおいては、応力が大きい箇所は 3 銘柄とも異なった。

b) 砂利道

各自転車の砂利道走行時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 1 3 に、その箇所を図 3 0 に示す。また、試験時に前輪のハブ軸に生じる加速度の一例を図 3 1 に示す。

表 13 累積疲労被害度と予測寿命（砂利道）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	1.46E-08	7.26E-08	6.92E-08	500以上	500以上	500以上
2	6.41E-09	5.99E-09	2.05E-08	500以上	500以上	500以上
3	2.68E-08	0.00E+00	1.79E-08	500以上	500以上	500以上
4	0.00E+00	0.00E+00	3.53E-09	500以上	500以上	500以上
5	1.77E-09	2.27E-08	2.36E-08	500以上	500以上	500以上
6	8.11E-07	1.47E-06	2.94E-06	123	68	34
7	9.03E-08	5.15E-07	8.74E-07	500以上	194	114
8	5.77E-07	4.86E-07	1.28E-06	173	206	78
9	1.62E-06	2.43E-06	4.23E-06	62	41	24
10	1.27E-06	8.58E-07	7.51E-07	79	117	133

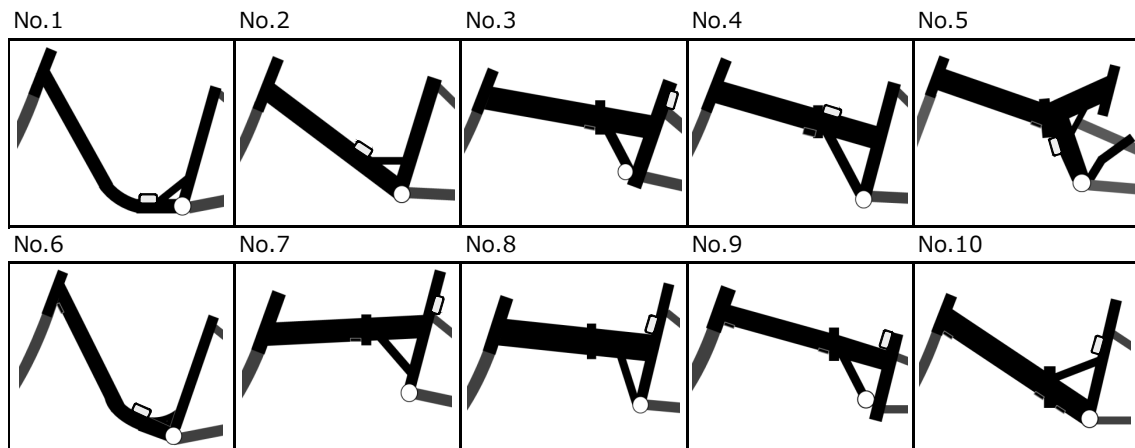


図 30 寿命計算対象箇所（砂利道）

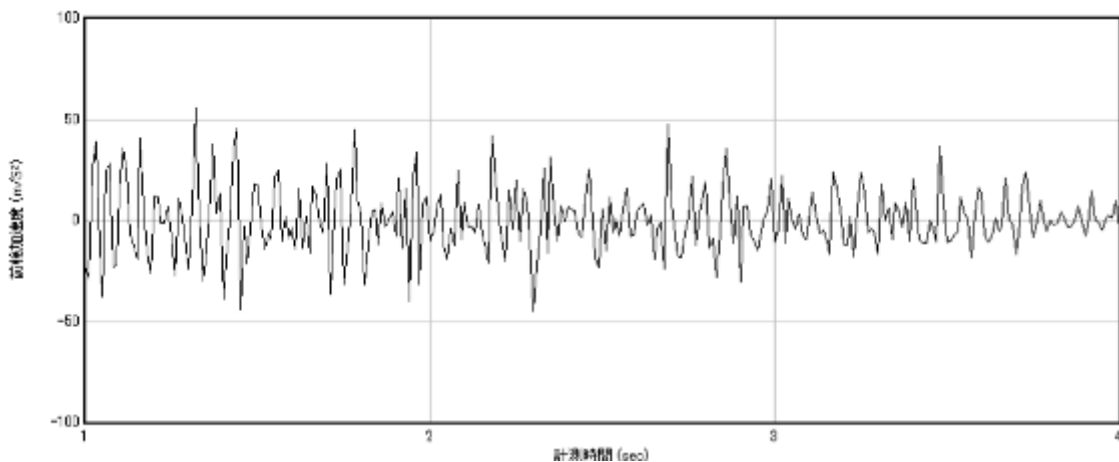


図 31 前輪ハブ軸に生じる加速度

耐振性試験やはしご棧に近い状況であるが、前後輪の上下加速度は、はしご棧に比べて小さい（前後輪のハブ軸に生じる最大加速度は約 40m/s^2 ）。鉄系合金フレームのものは全て 500 万回以上試験を行ったとしても壊れないという結果になった。一方アルミ合金フレームに関しては最も短いもので 62 万回であった。寿命が短い箇所、即ちダメージを受ける箇所に関しては、はしご棧と同じ箇所であった。

c) 坂道登り

各自転車の坂道登り時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 14 に、その箇所を図 32 に示す。

表 14 累積疲労被害度と予測寿命（坂道登り）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 ($\times 10^4$ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	1.88E-07	5.71E-08	9.92E-07	500以上	500以上	101
2	6.86E-08	8.82E-08	2.73E-07	500以上	500以上	367
3	5.71E-08	9.64E-08	8.90E-08	500以上	500以上	500以上
4	3.38E-08	2.30E-09	8.61E-09	500以上	500以上	500以上
5	9.08E-09	0.00E+00	3.78E-09	500以上	500以上	500以上
6	3.05E-06	1.82E-06	3.24E-06	33	55	31
7	8.28E-07	1.28E-06	1.76E-06	121	78	57
8	1.67E-06	3.83E-06	1.90E-06	60	26	53
9	2.83E-06	5.70E-06	1.67E-06	35	18	60
10	1.96E-06	3.97E-06	1.86E-06	51	25	54

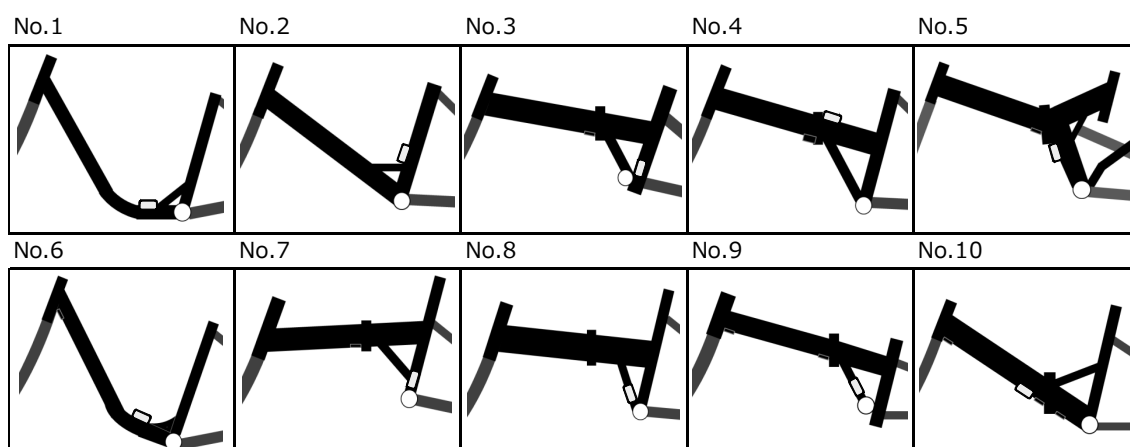


図 32 寿命計算対象箇所（坂道登り）

この試験条件に関しては疲労試験に近い状況であると考えられる。実際、疲労試験で応力振幅値が大きい箇所と今回坂道登りで累積疲労被害度が大きい箇所はほぼ同じ箇所であった。

鉄系合金フレームの折りたたみ自転車は、65kgの乗員時では全て500万回以上試験を行ったとしても壊れない一方、アルミ合金フレームの折りたたみ自転車に関しては最も短いもので35万回であった。また、乗員体重の影響を考えると、はしご棧や砂利道走行時と比較して、体重による差が明確にはわからない銘柄が多くあった。ペダルの踏み込み方や重心位置など、乗員の乗り方が大きく左右される試験条件と考えられる。

d) 急制動

各自転車の急制動時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表15に、その箇所を図33に示す。

表 15 累積疲労被害度と予測寿命（急制動）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	2.48E-08	2.01E-09	4.55E-08	500以上	500以上	500以上
2	1.89E-09	0.00E+00	1.14E-07	500以上	500以上	500以上
3	0.00E+00	0.00E+00	8.05E-09	500以上	500以上	500以上
4	7.03E-09	0.00E+00	0.00E+00	500以上	500以上	500以上
5	3.45E-08	1.89E-09	1.20E-06	500以上	500以上	83
6	1.30E-07	1.46E-07	3.80E-07	500以上	500以上	263
7	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-07	500以上	500以上	500以上
8	1.43E-07	0.00E+00	7.03E-08	500以上	500以上	500以上
9	6.70E-07	2.83E-07	3.82E-07	149	353	262
10	2.24E-07	2.55E-07	3.24E-07	447	392	309

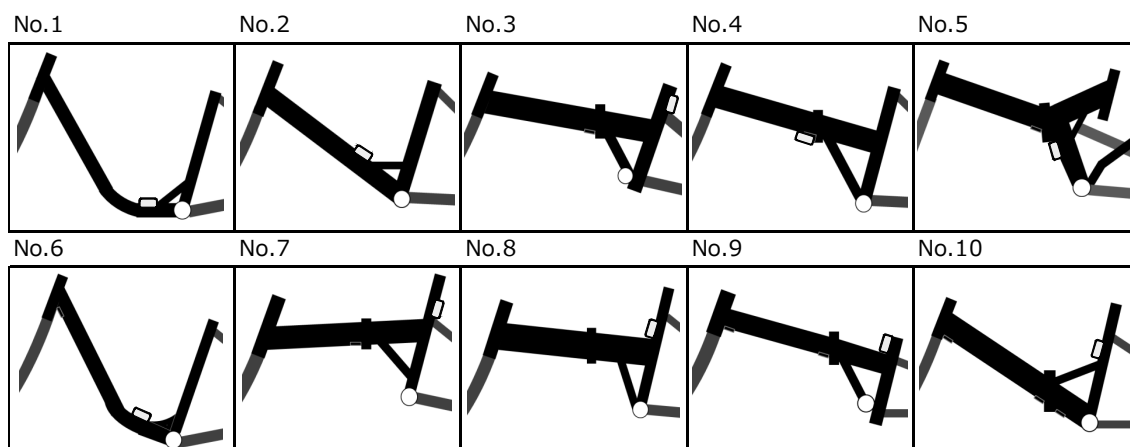


図 33 寿命計算対象箇所（急制動）

この条件で特筆すべき事項は、フレームにサスペンションが付いている No.5 の自転車において乗員体重が 100kg 時に大幅に寿命が短くなる点である。No.5 の該当箇所における、急制動時の 65kg と 100kg の乗員での応力の波形を図 3 4 に示す。この箇所では定常的な運転状態では引張応力（応力値が正）がかかっているが、急制動前、すなわち坂道を降りてすぐのタイミングでは 100kg の乗員において圧縮の方向に応力が負荷していることが分かる。これはサスペンションが底付きの状態になっていると考えられ、乗員体重の違いも相まって、応力値に大きな変化が起きたと考えられる。

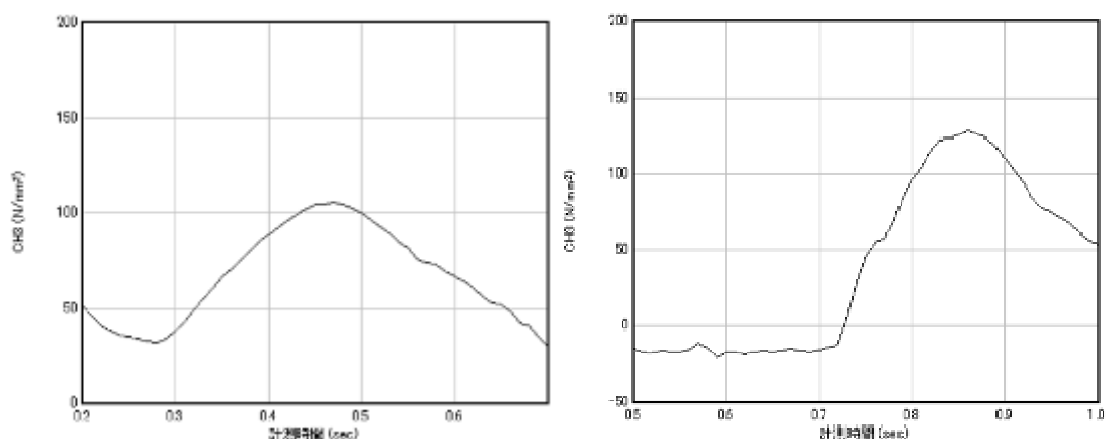


図 34 応力波形（左：65kg の乗員、右：100kg の乗員）

e) 段差降り

各自転車の段差降り時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 1 6 に、その箇所を図 3 5 に示す。

表 16 累積疲労被害度と予測寿命（段差降り）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 ($\times 10^4$ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	9.27E-07	9.81E-07	1.40E-06	108	102	71
2	8.38E-08	1.38E-07	2.42E-07	500以上	500以上	413
3	1.62E-08	2.05E-08	8.25E-08	500以上	500以上	500以上
4	5.86E-08	5.58E-08	3.91E-08	500以上	500以上	500以上
5	2.05E-07	2.10E-07	6.05E-07	487	476	165
6	3.42E-06	4.51E-06	1.02E-05	29	22	10
7	3.50E-07	5.63E-07	3.69E-07	286	178	271
8	4.49E-07	6.71E-07	1.48E-06	223	149	68
9	2.49E-06	5.06E-06	5.87E-06	40	20	17
10	1.09E-06	1.75E-06	3.40E-06	91	57	29

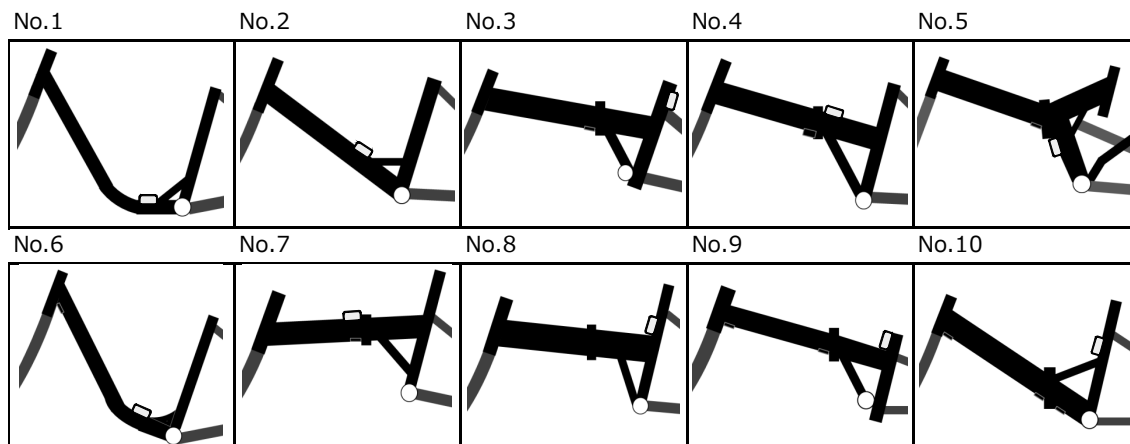


図 35 寿命計算対象箇所（段差降り）

この条件に関しては、シティ車の受けるダメージが大きかった。また、立パイプの寿命が短い No.8、No.9、No.10 に関しては、体重の変化に対して累積疲労被害度、寿命の変化が大きかった。各条件同様にアルミ合金フレームの自転車の寿命が短い結果となった。

f) 段差上り

各自転車の段差上り走行時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 17 に、その箇所を図 36 に示す。

表 17 累積疲労被害度と予測寿命（段差上り）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	3.54E-07	1.42E-07	2.05E-07	282	500以上	488
2	2.35E-07	6.31E-08	5.78E-07	426	500以上	173
3	4.62E-08	2.93E-08	2.03E-07	500以上	500以上	492
4	4.30E-08	2.71E-08	2.01E-07	500以上	500以上	497
5	6.49E-09	2.66E-08	5.01E-09	500以上	500以上	500以上
6	9.43E-07	1.57E-06	1.52E-06	106	64	66
7	3.55E-07	3.32E-07	1.96E-06	282	302	51
8	1.08E-07	1.47E-06	5.97E-07	500以上	68	168
9	1.29E-06	8.98E-07	1.44E-06	77	111	69
10	3.78E-07	1.78E-06	1.47E-06	264	56	68

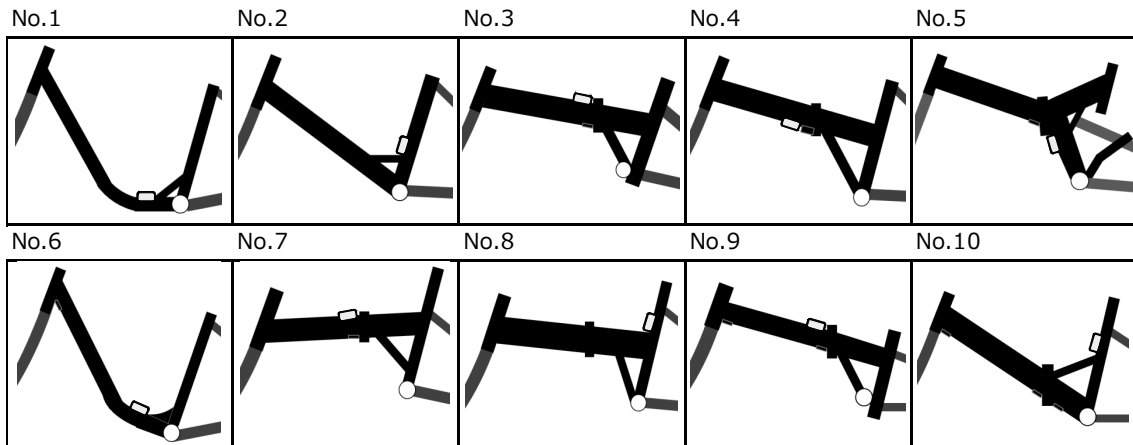


図 36 寿命計算対象箇所（段差上り）

この条件では全体的に累積疲労被害度が小さく、フレームの材料による違いも他の条件に比べ小さかった。段差を登る際に、ハンドルを引く等、乗員側が無意識に力を分散させるような乗り方をとっていると考えられる。

g) 点字ブロック

各自転車の点字ブロック走行時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 18 に、その箇所を図 37 に示す。

表 18 累積疲労被害度と予測寿命（点字ブロック）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	0.00E+00	4.39E-09	7.36E-08	500以上	500以上	500以上
2	0.00E+00	3.00E-09	1.17E-08	500以上	500以上	500以上
3	0.00E+00	0.00E+00	1.63E-08	500以上	500以上	500以上
4	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	500以上	500以上	500以上
5	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	500以上	500以上	500以上
6	2.61E-07	1.17E-06	1.96E-06	384	85	51
7	1.05E-07	5.84E-08	5.19E-07	500以上	500以上	193
8	2.50E-07	8.47E-07	1.11E-06	401	118	90
9	2.13E-06	2.44E-06	3.97E-06	47	41	25
10	1.89E-07	3.26E-07	2.99E-06	500以上	307	33

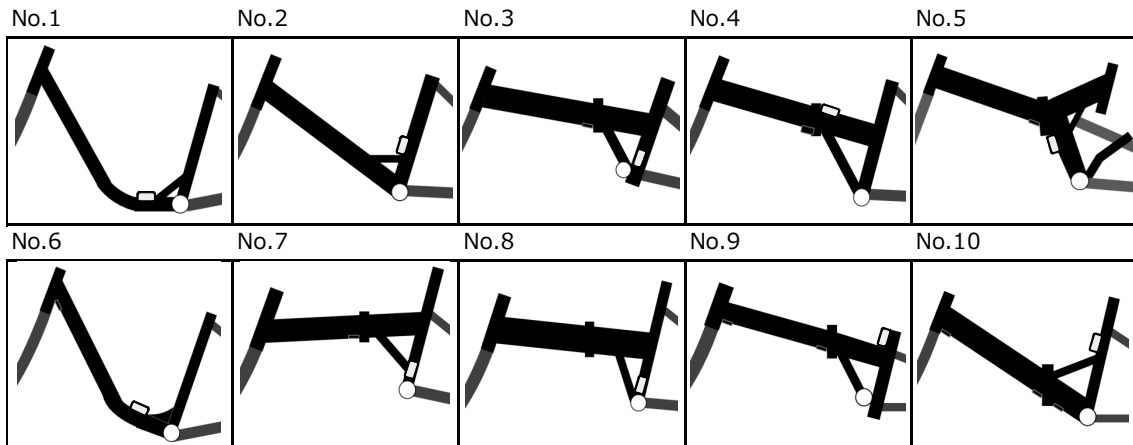


図 37 寿命計算対象箇所（点字ブロック）

この条件では、比較的高い周波数で振動が加わる。図 38 に前輪ハブ軸に生じる加速度とそのスペクトル解析の結果を示す。前輪ハブ軸に生じる加速度をスペクトル解析した結果、20Hz 弱の振動が際立っていた（アスファルト走行時や砂利道走行時にはピークが少しぼやける）。状況としては、高い周波数領域での耐振性試験時にペダルを踏みこんでいる状況である。この条件下でもアルミ合金フレームの累積疲労被害度が大きく寿命が短い結果となった。また、No.3、No.7、No.8 ではハンガ上部へダメージがあり、点字ブロックの振動よりもペダル踏み込みの影響が大きいと考えられる。

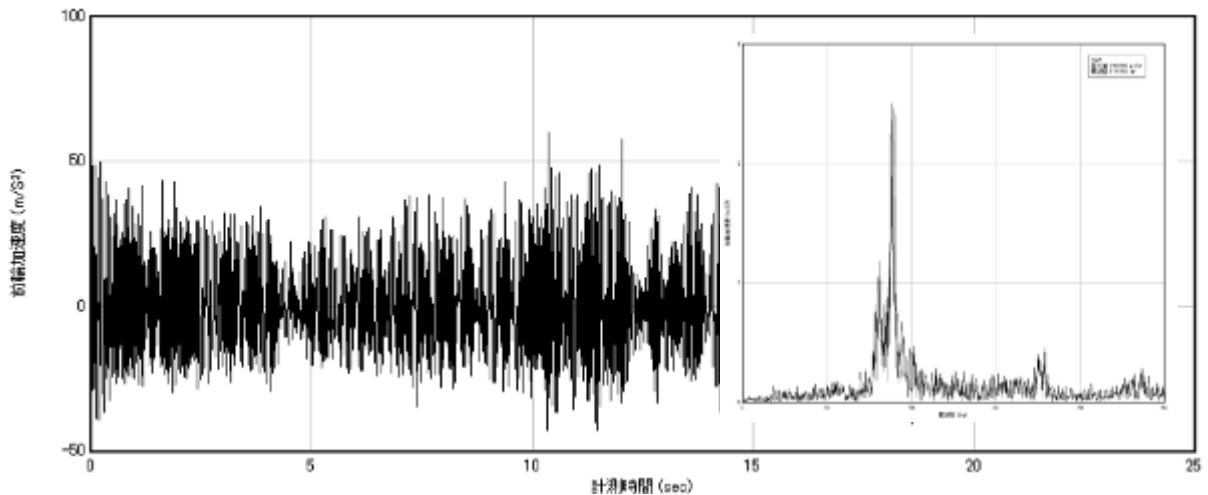


図 38 前輪ハブ軸に生じる加速度とスペクトル解析結果

h) 線路横断

各自転車の砂利道走行時に最も累積疲労被害度の大きかった点の累積疲労被害度とその値より計算した予測寿命を表 19 に、その箇所を図 39 に示す。

表 19 累積疲労被害度と予測寿命（線路横断）

自転車 No.	試験一回当たりの累積疲労被害度			予測寿命 (×10 ⁴ 回)		
	乗員体重 (kg)			乗員体重 (kg)		
	65	75	100	65	75	100
1	1.10E-07	3.18E-07	1.18E-07	500以上	315	500以上
2	7.10E-08	3.61E-08	8.81E-08	500以上	500以上	500以上
3	0.00E+00	6.07E-09	6.18E-08	500以上	500以上	500以上
4	2.80E-08	4.12E-08	4.31E-09	500以上	500以上	500以上
5	1.01E-08	1.69E-08	3.28E-08	500以上	500以上	500以上
6	2.15E-06	2.03E-06	4.10E-06	47	49	24
7	1.66E-07	7.44E-07	1.03E-06	500以上	134	97
8	4.49E-07	8.17E-07	1.10E-06	223	122	91
9	2.10E-06	2.08E-06	4.55E-06	48	48	22
10	1.62E-06	1.79E-06	3.35E-06	62	56	30

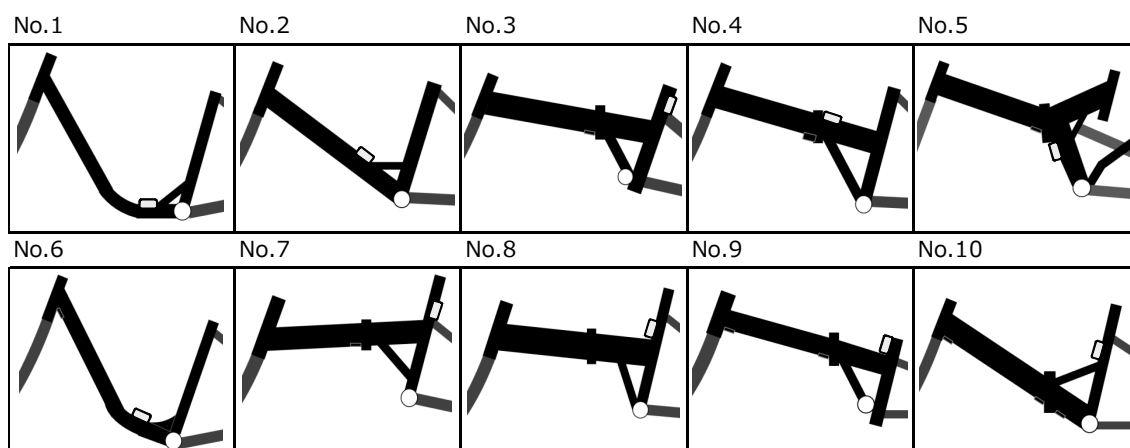


図 39 寿命計算対象箇所（線路横断）

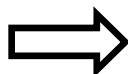
条件としては段差上り・降りに近い状況である。累積疲労被害度が大きな箇所もその両条件で大きな箇所と同じような箇所であった。

○ 乗員体重による傾向の違い

表 12～表 19 の実走行試験各条件における累積疲労被害度に関して、乗員体重 65kg と 75kg、65kg と 100kg の比を計算した。

(計算方法の例)

試験一回当たりの累積疲労被害度		
乗員体重 (kg)		
65	75	100
9.27E-07	9.81E-07	1.40E-06



$$\frac{75\text{kg時の累積疲労被害度}}{65\text{kg時の累積疲労被害度}} = \frac{9.81 \times 10^{-7}}{9.27 \times 10^{-7}} = 1.06$$

$$\frac{100\text{kg時の累積疲労被害度}}{65\text{kg時の累積疲労被害度}} = \frac{1.40 \times 10^{-6}}{9.27 \times 10^{-7}} = 1.51$$

そして、全試験条件・全供試自転車において、それらがどのように分布するかを図 40 に示す。横軸は累積疲労被害度を、縦軸はその度数を示す。例えば 100kg の乗員時の試験において、乗員体重 65kg 時の 2～2.25 倍の累積疲労被害度となったものが 7 件あったということになる。

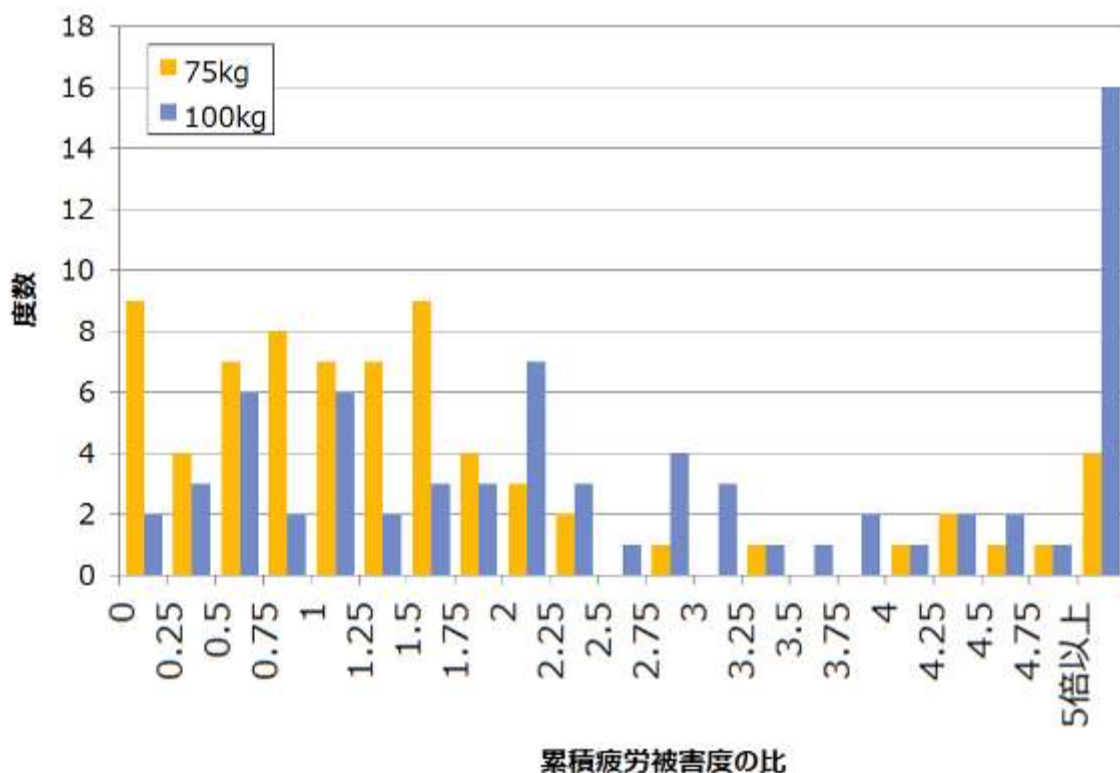


図 40 乗員体重 65kg の累積疲労被害度を 1 とした時の、75kg、100kg における各条件での試験一回当たりの累積疲労被害度の分布

65kg の乗員と 75kg の乗員との比較では、累積疲労被害度が 1.5～1.75 倍の時が最も多く、0～2 倍に集中した。平均で約 2 倍の累積疲労被害度であった。0～0.25 倍となる時も多いが、累積疲労被害度が計算できないほど小さい状況が多かったためである。

65kg の乗員と 100kg の乗員との比較では、累積疲労被害度が 5 倍以上となる時が最も多く、75kg 乗員時の分布と傾向が異なり、0～5 倍まで広く分布していることが分かった。平均で約 6 倍の累積疲労被害度であった。

どちらの比較においても、乗員の乗り方の違いが反映されるものの、やはり乗員体重が重いとフレームに対するダメージ（累積疲労被害度）が大きく、寿命も短くなる傾向があった。

4. 参加企業の過去の取組み

本事業に参加した企業が現在までに折りたたみ自転車に関して取り組んできた改良点を提示していただき、表20にまとめた。

表 20 現在までに折りたたみ自転車に関して取り組んだ改良点

項目	内容
折りたたみ部の ガタ	フレーム折畳み部分にガタ付きがあったためヒンジメーカーと相談し隙間を少なくし、ガタ付きが少なくなるよう改良を行った。
	クイックレバーのガタを取り除くため、蝶番の精度やボルトの精度に気を使った。
	ガタを極力抑えるとともに、接触面積を増やすことで剛性を高めた。
	ヒンジ部は強度上の最重要ポイントであり、過去に板材のプレス品を使用したものでヒンジ部の変形が発生し、鍛造品に変更した経緯がある。以降のヒンジ部は、素材に係らず鍛造品又は同等以上の強度を有するものとするを基本としている。
	前後のヒンジ面を均一に接触させる為、鍛造完成品後のヒンジピン部等の加工は前後セットで行なった。その結果、フレームになってもヒンジ接触面は片当たりせず、ヒンジピン&ボルト部に過大な負荷がかかるのを抑えた。
折りたたみ部の ロック	走行中にハンドル2重ロック部分が解除されハンドルが倒れ転倒したという事故があった。二重ロック部分のポッチを2mm長くて安易に2重ロックが解除しないように改良した。
レバーピンの 太さ	今回の試験でピン部分の折れの指摘があったため、ピンを6mm⇒8mmに太くしたサンプルを作製し、軸側の強度に問題がなければ改良を検討する予定。
ヒンジ構造	ヒンジ全長（水平方向）を伸ばして補強パイプをヒンジ部に溶接してもヒンジ近傍部に溶接箇所が集中しないようにした。その結果、溶接による熱影響を抑えられ強度が安定した。
パイプ・ フレーム	アルミ素材の設計。本フレームのメインパイプは、縦方向の楕円形状とするとともに、アルミパイプ押し出し製法の特性を活かし上下方向の板厚を厚くして、縦方向の強度を確保すると共に軽量化を計っている。
	一般軽快車よりメインパイプ径をサイズアップしてヒンジ部との溶接面積を増やした。その結果、メインパイプ部にかかる応力が分散でき補強板の必要がなくなった。
	別形状車種での試買テストにおいてシートポストが曲がったため、シートポストの長さを500mmから350mmに変更した。350mmに変更した条件で耐振試験（JIS基準の3倍（21万回））行なった結果、問題はなかった。販売でのクレーム実績はない。
	横剛性をあげることで、フレームの剛性を持たせた。
	開発段階でジョイント前下部に補強板を追加した。ジョイントと前フレームの接合部強度が向上した。
	サスペンション機構を持たせることにより、衝撃荷重のピーク値を下げることができ、フレームへの負荷を軽減させた。
品質管理	中国のフレームメーカーに技術者を派遣、指導している。品質を安定させるため。
	・公的規格/基準と共に市場情報等に基づき独自に設定した基準による評価も実施してきた。 ・折りたたみ車は折りたたみ機構がポイントであり、操作性と確実性を主点に、開発・設計及び改良を行い現在に至る。又、フレーム及び完成車で強度や重量等について総合的な評価を行っている。
	別形状（鉄フレーム）の折りたたみ状態で箱に入れている商品で、箱の損傷があった分についてヒンジ部に損傷があり販売できないとのクレームがあり、ヒンジ部に発砲スチロールの保護材を追加した。以後クレームはない。

5. 長寿命化設計方針の検討

5.1 参加企業各社の長寿命化設計案

本事業に参加した企業が今回の試験結果を踏まえ、今後、折りたたみ自転車をどう改良し長寿命化するかを表21にまとめた。

表 21 各社の長寿命化設計案

項目	自転車 No.	内容	今後、製品化実現のための課題、目標
ヒンジ構造	3	長寿命化設計されたヒンジを市場に普及させるために、操作性と外観にも観点を置き試作品を作成したい。	
		簡単な操作性と外観はシンプルなデザインで可能な限り小さく折畳み部分が目立たない構造ができれば市場でも受け入れられる仕様となると考える。	
	8	ヒンジ部に大きな応力がかかる為、アルミ材でヒンジを作製する場合、軽量化効果を十分に活かして内部品質が安定できる鍛造品を使用する。	
		新設計の固定方式を含めヒンジの軽量化 ヒンジ部に応力集中させないフレーム構造	
9	QRLレバーの破断を受け、材質の見直しとレバーのガタ付き防止用の樹脂製カラーを入れQRLレバーの密着度を向上し固定力を上げる。スチールフレームでもQRLレバーの改善を導入しQRLレバー側の固定力改善を行いたい。		
10	ヒンジ部の形状を変更し、応力を分散させる。		
パイプ・フレーム	4	アルミフレームの折りたたみ自転車に今後取り組んでいきたい。溶接部が従来の鉄製のものから変わるので気をつけなければならない。	
	5	ダウンチューブの肉厚アップ(1.4mm→1.6mm) およびパイプのつぶし加工寸法の最適化により、応力値を下げる。	肉厚upにより重量増が懸念される。また応力集中箇所に対策を施すと、他の箇所に応力集中が変化する可能性があり、最適なバランスを持った構造にする必要がある。折損する可能性のある箇所を想定し、応力測定の上、安全率を見る。重量増は仕様の見直し等により極力抑える。
	8	長期使用を考慮して、破損すると危険であるヒンジを含む一本パイプ部での破損を避け、破損しても使用ユーザーが安全に使用を停止できるようにしたフェイルセーフ構造にする。	
		長寿命化設計によりフレーム重量も増える傾向にあったが一定の成果が達成できたので、今後は3Rの観点からもフレームの軽量化を目指す。 材料開発を含めパイプの軽量化	
	9	耐振性試験にて破断したジョイント後部へ補強板を追加する、その上に補強パイプを溶接する。また、立パイプを0.2mm厚くする。	パイプ厚みを変更することによるコストアップ吸収が課題。デザインを重視するフレーム設計の場合はフレームの厚みを注視し強度の評価を行いたい。
		今寿命評価で強度の劣る立パイプ上部へパイプを集中させゆがみを抑える。	
10	立パイプ・メインパイプを肉厚のものに変更するか、直径の大きいものに変更し、発生応力を小さくさせる。	他の箇所の応力が大きくなる可能性があるため、応力バランスの調整が必要。また、使用材料のコストアップ・特殊形状による金型代等要求の可能性があり、コスト・販売量の両面より検討が必要。フレーム以外の部品でのコストダウンも検討が必要。	
	補強パイプの位置を現在よりも上方に変更し、立パイプの前方向に対する強度を上げる。	自転車製造メーカーがアルミフレームについては外注委託であり、外注先を含めた確認が必要である。	
	補強板を大きくし、応力を分散させる。	パイプ肉厚公差の安定。今回のフレームにおいて、肉厚の差があり薄い部分より亀裂が入ったと考えられるため、公差範囲が安定したパイプメーカー・パイプ入荷時の受入検査の徹底が必要	
溶接	7	発売以来、フレームに関する市場クレームの発生はなく現在に至っている。今回の評価では、耐振性試験でヒンジの溶接部が破損したが、この箇所は溶接ビードが集中しており溶接上も注意が必要な箇所である。今後は現行仕様を継続すると共に、市場状況の監視も引き続き行っていく。溶接品質の安定化も努めていく。	メーカーは、安心して使って頂ける商品を適切な価格で提供することが使命であると考えている。様々な使われ方をされる自転車は、軽量化と強度の両立が課題であり、今後も評価技術の確立に努め、より良い自転車の提供を目指していきたい。

5.2 長寿命化設計方針

5.1 では各社製品の今後の改良点ということでまとめた。本章では

- ・ フレーム材料と溶接
- ・ フレーム形状
- ・ ヒンジ

の3つの観点より、一般的な議論も含め改良のポイントをまとめた。

5.2.1 フレーム材料と溶接

今回の結果では、実測・寿命予測両方においてアルミ合金フレームの方が鉄系合金フレームよりも弱いという結果となった。ただ、折りたたみ自転車の特徴でもある携帯性を活かすためには、軽量であるアルミ合金は不可欠な材料でもあり、今後さらに自転車に使用されるであろう。

アルミ合金を採用する場合には、縦弾性係数の違い（鉄系合金に比べ、アルミ合金は約3分の1）による剛性の変化（曲げ剛性は縦弾性係数と断面二次モーメントの積で与えられる）があるため、パイプ断面を大きくするような工夫が望ましい。表2.2に示すように、断面積が同程度ものでも、断面が大きい構造ほど断面二次モーメントや、断面係数が大きくなるからである。強度の面においても、曲げ応力は断面係数に反比例するので、断面係数の大きい断面の方が有利である。

表 2.2 各寸法パイプの断面二次モーメント、断面係数⁸⁾

パイプ寸法	外径 (mm)	25.4	28.6	28.6	31.8
	肉厚 (mm)	1	0.8	0.9	0.8
断面積 (mm ²)		77	71	79	77.87
断面二次モーメント (mm ⁴)		5800	6700	7500	9340
断面係数 (mm ³)		460	470	520	587

8) 財団法人自転車産業振興協会 自転車実用便覧 第4版

次に溶接に関して、破損箇所となるが多かった溶接部付近は、設計や製造時に十分な注意・管理が必要であることは言うまでもない。

図4-1に溶接箇所における疲労破壊の模式図を示す。破壊の起点となりうるのが余盛の止端部、溶接欠陥、不溶着部である。長寿命化に際しては、破壊の起点となりうるビードの止端部にできるだけ応力が集中しないようなフレーム形状にする、あるいは溶接欠陥・不溶着部、ビードの凹凸をなくすことが重要である。

しかし、今回の試験では外見では美しいビード(図4-2に例を示す)であるが、母材同士が不溶着であり、パイプの接合部分がビードのみで保持されているものもあった(それでも今回は耐振性試験、疲労試験は適合した)。この場合、不溶着部がルートき裂の起点にもなることから、理想を言えば、溶接状況を非破壊で全数検査出来ればよいが、実現し難い。作業者の技術力向上や管理の徹底が重要であろう。

ビードの凹凸に関しては、溶接の起点・終点において凹凸が大きい場合があるので、できるだけ応力のかからない方向(縦方向は路面の振動、横方向はペダリングによる負荷がある)に持ってくるのが望ましい。

また、応力集中箇所を避けて溶接することも重要である。図4-3にAの箇所で断面積が変化する一例を示すが、この断面積の違いが応力集中を招くので、可能な限りBやCのように応力集中箇所を避けた箇所で溶接を行う方が良い。

Aの箇所で溶接する場合には、止端部への応力付加を避けるため補強板を取り付ける方法が一般的であるが、補強板溶接の止端部や不溶着部が起点となって破損する場合があるので、溶接箇所に注意しなければならない。また、断面の変化を緩やかにし、剛性や応力の急変を避けるような形状の補強板が効果的である。

鉄系合金フレームのものに関しては今回フレーム強度には問題がなく、物理的な長寿命という観点では十分だと思われる。しかし、溶接に関する管理はアルミ合金フレームと同様、十分になされる必要がある。

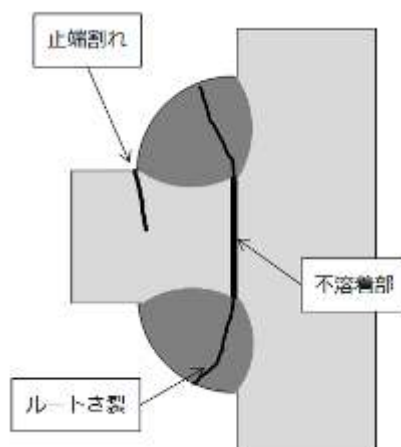


図41 疲労破壊の模式図(断面)



図42 溶接ビード

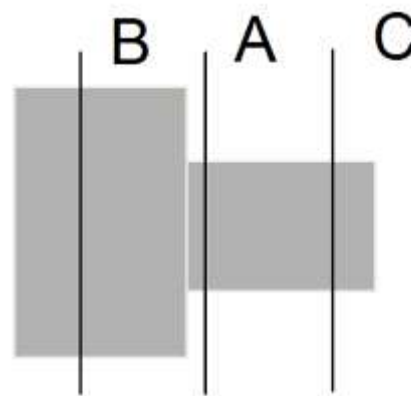


図43 断面積の変化

5.2.2 フレーム形状

今回対象とした自転車はパイプのレイアウトによって何種類かに分類できる。本章では3種類のフレーム形状からそれぞれの特徴や比較をまとめた。

※ 以下図中で用いる数値は

耐振性試験 振動周波数 5Hz 時の応力振幅値 (赤で囲った数値、赤字は最大値)

疲労試験 試験力 850N 時の応力振幅値 (青で囲った数値、青字は最大値)

である。

①ハンガの上に補強パイプ、ハンガの後に立パイプが溶接されているもの (No. 3、No. 9)

鉄系・アルミ系各 1 銘柄を対象に試験を行ったが、図 4 4 に両者の共通点とそれぞれのフレームで応力が大きい点の応力値を示す。

耐振性試験ではメインパイプと立パイプの溶接部付近あるいはメインパイプとヒンジ溶接部付近への応力が大きく、疲労試験では立パイプとハンガの溶接部付近への応力が大きいことが共通していた。他のものと比べてパイプの肉厚が特別薄いというわけでもないの、このフレーム形状に見られる傾向だと考えられる。また、耐振性試験では共に 20 万回前後の振動でメインパイプとヒンジ溶接部付近で折れた。

また No.3 が耐振性試験で、No.9 が耐振性試験と疲労試験でヒンジのレバーピンが折れたことも特徴である。応力測定からも No.3 のレバーピンに加わる応力が大きかった。しかしこれがヒンジの形状によるものかフレームの形状によるものかはわからない。レバーピンに関しては 5.2.3 で述べる。

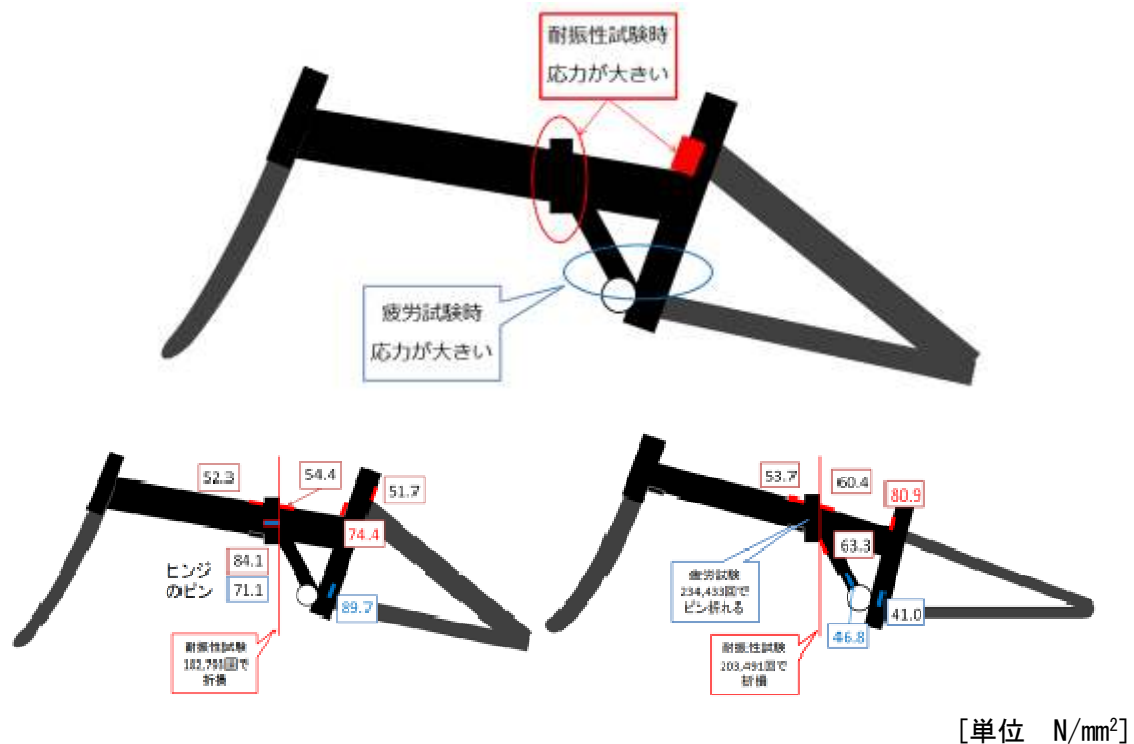


図 44 ハンガ上に補強パイプ、ハンガ後に立パイプが溶接されているフレーム

この形状で改良するポイントとしては

- ・ヒンジ周りの溶接部での破損を防ぐため、ヒンジ周り（特にヒンジ後部）への補強板の追加
- ・立パイプの破損を防ぐため立パイプの肉厚増
- ・立パイプとメインパイプ溶接部付近に補強パイプもしくは補強板の追加等が考えられる。

②ハンガの上に補強パイプ、立パイプが溶接されているもの（No. 4、No. 8）

鉄系・アルミ系各 1 銘柄を対象に試験を行ったが、あまり共通点が見出せなかった。図 45 にそれぞれのフレームで応力が大きい点の応力値を示す。No.8 のヒンジは溶接部に応力が集中しないような構造であり、結果パイプのレイアウトが同じでも全く応力分布が異なるものとなった。そこで、このフレーム形状では、ヒンジ構造によりバランスが大きく変わる例として考えてみる。

ヒンジ部が①のものとあまり変わらない No.4 では耐振性試験ではヒンジ溶接部、メインパイプと立パイプとの溶接部付近への応力が大きかった。対して No.8 ではヒンジ付近への応力集中への対策をしてあるため、耐振動性試験時は立パイプへの応力集中があるのみであった。しかし、疲労試験時にはハンガ上部への応力集中がみられた。応力が小さくなる箇所があるということは、その分力が逃げて応力が大きくなる箇所もあるということである。全体的なバランスをとることが重要である。



図 45 ハンガ上に補強パイプ、立パイプが溶接されているフレーム

③ハンガに直接メインパイプが溶接されているもの (No. 2、No. 10)

鉄系（折りたたみではない）・アルミ系各1銘柄を対象に試験を行ったが、図46にそれぞれのフレームで応力が大きい点の応力値を示す。

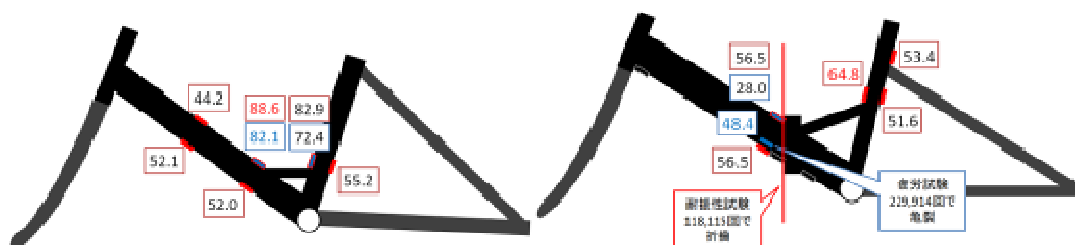


図 46 ハンガに直接メインパイプが溶接されているフレーム

この形状では、疲労試験時に他のフレーム形状とは違う特徴がみられた。メインパイプがハンガに直接付いていない①や②で取り上げたフレームあるいは No.7（補強パイプが立パイプに直接付くフレーム 図47）はハンガ上部の補強パイプや立パイプの応力値が大きくなる傾向があった。しかし③の場合ではヒンジ付近（補強パイプとメインパイプが合流する付近）で応力値が最大となる点があった。この付近は耐振性試験時にも大きな応力が付加する箇所であり、実走行時も立パイプに次いでダメージが大きくなることが多い点であった。異なる外力が付加した条件で同一の箇所に大きな応力が発生することは、寿命を延ばすという観点では避けるべきであるので、例えば補強板の形状を変える、応力の負荷が小さいところで溶接を行う、あるいはメインパイプの肉厚・断面積を上げる等の方法が長寿命化につながると考えられる。

また、No.10 ではヒンジが付いていることもあり、補強板が付いているのだが、耐振性試験・疲労試験両方において、その止端部からき裂が入り、破損した。5.2.1で触れたが、補強板の溶接に関しても十分注意が必要である。

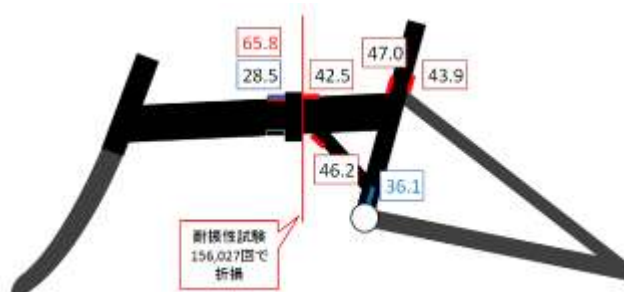


図 47 補強パイプが立パイプに直接つくフレーム

5.2.3 ヒンジ周辺

ヒンジに関しては各社のノウハウ等が多く詰まっており、設計思想が大きく表れる箇所でもある。今回の結果からはレバーピンが折れるものがあったが、本章ではそれを取り上げる。

写真8に示すように折れた箇所はレバーピンが貫通している連結ロッド付近のねじ山の谷部で、軸線に対してほぼ直角に折れていた。写真9に示すように破面は平らであり、最終破断部の様子から破断の方向はヒンジの外側から内側に一気に折れたと考えられる。

レバーピンが折れたものは図48に示すようにヒンジ内部面の傷つき方に偏りがある、あるいはその面積が小さかったことから、接触面で逃げるはずの応力がレバーピンに付加し、折れたと考えられる。レバーピンへの負荷を減らすにはヒンジ面の接触面積が大きく、かつ嵌合性の良い形状が良いと考えられるが、特にプレス加工によるヒンジでは、接触面の確保に工夫が必要である。

またレバーピンの素材に関しては SUS 系あるいは鉄系合金のものであったが、例えば SUS304 使用なのに錆びる（つまり実際は SUS304 ではない）といった話もあり、サビが発生すると強度も落ちるので、素材の管理にも注意しなければならない。

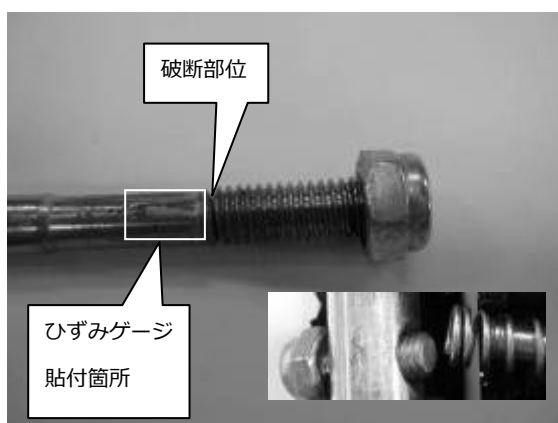


写真 8 折れたピンの外観

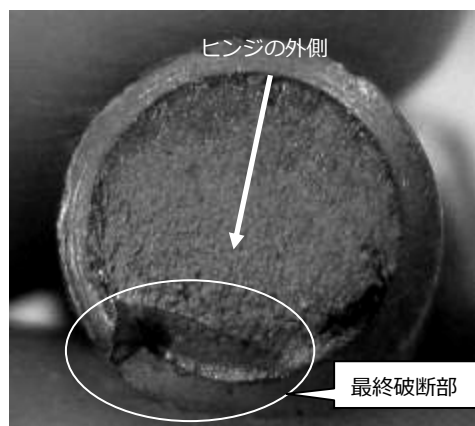


写真 9 折れたピンの断面

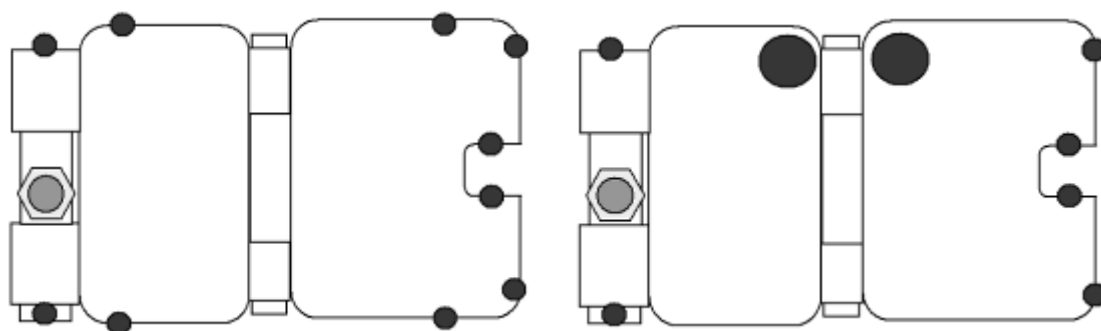


図 48 ヒンジの接触面 (左: 接触面が少ない、右: 接触面に偏りがある)

6. 最後に

本事業では、折りたたみ自転車のフレーム体の長寿命化設計に関して調査してきた。当然、長寿命化という観点では、今回の調査対象である折りたたみ自転車フレームの強度のみならず、他の部品や外観要因に由来する寿命（容姿の劣化や流行遅れである等）、そして消費者の考える寿命判断の幅広さも考える必要もある。放置自転車等にも見られるように、耐久消費財ではなく使い捨て感覚の消費者が多いこともまた事実である。

また、折りたたむという構造ゆえ、使用者が固定機構のトルク調整を行う場面もあり、調整方法によっては故障や事故を引き起こしかねない。例えば、平成 22 年 2 月 17 日に国民生活センターが商品テストの結果として、ハンドルステムを最も下げた状態ではホークステムの内径が小さくなる位置に引上げうすが達し、ハンドルバーが左右に回転するような外力が加わると固定力が低下する、あるいは締付けレバーの全長が短いため、操作する人によってはハンドルステムの固定力が不足する、というハンドル固定力不足の情報提供を行っている⁹⁾。長寿命化設計された自転車であっても、固定機構等を適切に調整しなければ製品事故につながり、自転車自体の破損も引き起こす原因にもなる。

今回は価値寿命や調整方法による寿命ではなく、物理的な寿命に焦点を当て、フレーム体の強度耐久性の観点からのみ調査を行った結果、各々のフレーム形状において実測での弱い箇所の傾向を把握することはできた。フレームの強度に関しては、昨今では FEM（有限要素法・Finite Element Method）等を用いた計算機による解析も普及しつつあるが、実使用時に自転車に付加する外力がライダーの体格や乗車姿勢・路面状況などに大きく左右されるという特性や、折りたたみ自転車に至ってはその構造の複雑さ・多様さもあり、十分確立されているとは言い切れない。またそういった方法を導入できない企業も多いのではないだろうか。計算機による分析・解析ができない状況では、フレームを長寿命化設計するための指標は各社のノウハウに頼らざるを得ない。そこで、現在流通している折りたたみ自転車の長寿命化を図りたい、あるいは強度的に解決できない課題があるというように、本報告書を参考にいただければ幸いである。

⁹⁾ 独立行政法人国民生活センター 商品テスト結果
(折りたたみ自転車 (スポーツタイプ) のハンドルの固定力不足に注意！一転倒し鎖骨を骨折する重大事故が発生)

今回の事業において、

「折りたたみ自転車長寿命化設計検討会」 （敬称略）

委員長 加藤 一行 （近畿大学生物理工学部 教授）

委員 市川 純 （パール金属株式会社）

西村 和己 （パナソニックサイクルテック株式会社）

小河原 順 （ブリヂストンサイクル株式会社）

竹内 薫 （ホダカ株式会社）

館 幸雄 （株式会社丸石サイクル）

を設置し、事業を遂行しました。また、事業の遂行に際しては事業参加企業 7 社の協力を得ました。ここに感謝の意を表します。