

平成 22 年度 自転車 の 3R 設計促進
実施報告書

長寿命化設計による折り畳み自転車の
開発・試作

平成 23 年 3 月

財団法人 自転車産業振興協会

KEIRIN



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 22 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畳み自転車を取り上げ、試験評価及び技術調査を行い、長寿命化設計による折り畳み自転車を開発・試作いたしました。

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「自転車の 3R 設計促進検討会」を設置の上、共同開発者 5 社と連携して事業を実施しました。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. 折り畳み自転車の長寿命化設計方針.....	2
3. 開発・試作品	4
3.1 各試作品仕様（会社名は 50 音順）	4
3.1.1 試作品 A（ジック株式会社）	4
3.1.2 試作品 B（パール金属株式会社）	7
3.1.3 試作品 C（ブリヂストンサイクル株式会社）	10
3.1.4 試作品 D（ホダカ株式会社）	13
3.1.5 試作品 E（株式会社丸石サイクル）	16
4. 試験	19
4.1 試験方法	19
4.1.1 フレームの強度試験.....	19
4.1.2 実走行試験	20
4.1.3 応力測定	22
4.2 試験結果	24
4.2.1 試作品 A.....	24
4.2.2 試作品 B.....	28
4.2.3 試作品 C.....	31
4.2.4 試作品 D.....	34
4.2.5 試作品 E.....	37
5. まとめ ―効果的な長寿命化設計方法―	40
5.1 パイプ・フレーム構成.....	40
5.1.1 補強板の追加.....	40
5.1.2 パイプの肉厚.....	41
5.2 ヒンジ接触面	43
5.2.1 ヒンジ接触面の凹凸 その 1.....	43
5.2.2 ヒンジ接触面の凹凸 その 2.....	45
6. おわりに	46
参考資料 3R の精神を活かしたモノづくり	47

1. 経緯と目的

様々な業種・製品において、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）が促進されている。このうち最も優先すべきはリデュース（廃棄物の発生抑制）であり、省エネ、省コストの意味合いも含むことから、様々な対策が行われてきた。当然、自転車業界においても例外ではなく、各自転車メーカーでの様々な取り組みを平成 21 年度の報告書¹⁾で報告した。

平成 20 年の自転車の年間廃棄台数を考えると、(国内向数量)²⁾ - (保有台数³⁾の増減)より、推算値ではあるが、1,000 万台程度 (図 1) と考察される (この中には再利用 (リユース) や再資源化 (リサイクル) されているものも含まれている)。平成 16 年~20 年の間では年毎にばらつきはあるが、概ね 700 万台以上で推移している。使用時に CO₂ を排出しない等、他の交通手段に比べ環境にやさしい乗り物と言われる自転車であるが、多くの自転車が廃棄の対象となりうる現状も忘れてはならない。

今後いかに廃棄量を減少させるか、どのように再利用、再資源化するか、また廃棄せざるを得ない場合でもいかに適切な廃棄を実践するか、3R に対するアプローチは継続し、向上させていかなければならないだろう。

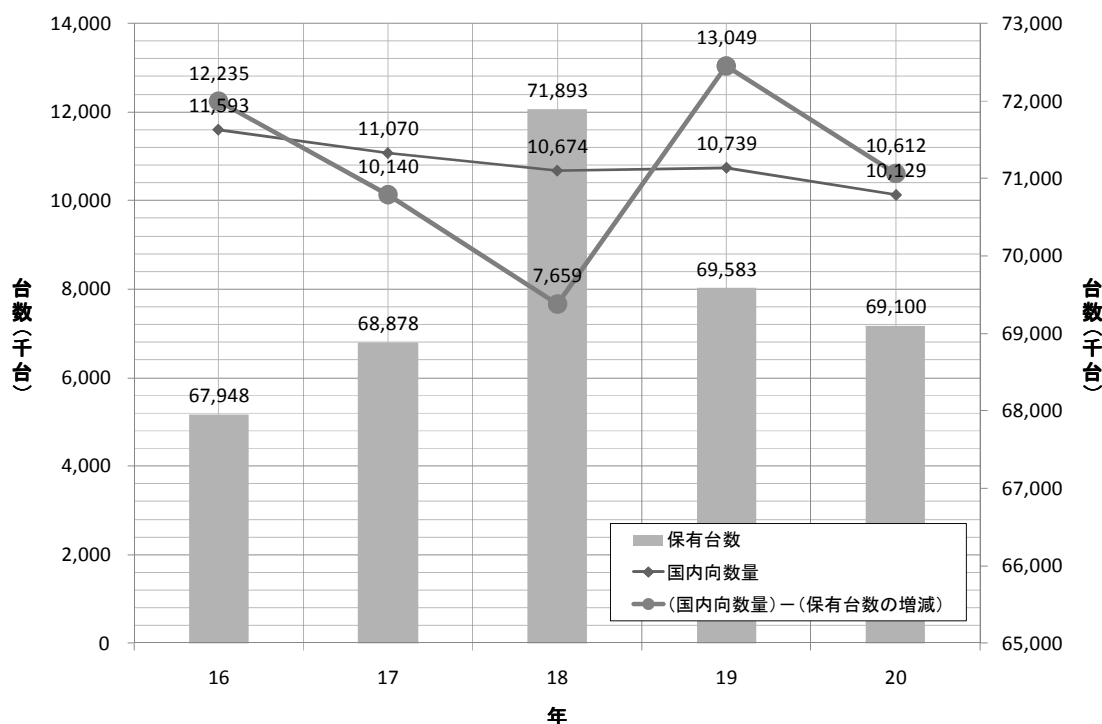


図 1 国内における自転車の保有台数、国内向数量

- 1) 財団法人自転車産業振興協会 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」
- 2) 財団法人自転車産業振興協会 自転車統計要覧
- 3) 社団法人自転車協会 資料

そこで、当会は長寿命化設計による廃棄量の減少に加え、更なる製品安全性の向上を目指す「自転車の3R設計促進事業」を2年計画で実施した。平成21年度に自転車製造・販売業者を対象に行ったアンケート調査より、返答のあった自転車製造販売業者の約60%が、折り畳み自転車が一般的なシティ車と比較し強度が劣ると答え、約77%が折り畳み自転車の長寿命化設計に取り組みたいと考えているという点や、近年使用頻度が高まっている点も考慮し、折り畳み自転車について事業参加企業7社とともに現行品の試験調査を行い、長寿命化設計方針を作成した。

平成22年度はその長寿命化設計方針を基に、平成21年度事業参加企業のうち、開発・試作を希望する自転車製造業者等5社に協力頂き、折り畳み自転車の開発・試作・試験・評価を行い、長寿命化設計によるリデュース対策のさらなる普及を目的とした。

2. 折り畳み自転車の長寿命化設計方針

平成21年度に取りまとめた「折り畳み自転車長寿命化設計」では長寿命化のポイントとして主に以下の項目を挙げた。

- ① アルミ合金の疲労限度は鉄系合金に比べて小さいので、繰返し応力が小さくなるようにフレーム形状やパイプの肉厚等を考慮する必要がある。また、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。
- ② 溶接部付近の余盛の止端部、溶接欠陥、不溶着部は破損の起点となる場合が多く、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、応力が集中する箇所には溶接を避ける、あるいは溶接欠陥・不溶着部、ビードの凹凸を極力なくすることが重要である。応力を分散させるため、溶接部付近に補強板を取り付ける方法もある。断面の形状変化を緩やかにし、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。
- ③ ヒンジに関して、接触面で逃げるはずの応力がレバーピンに付加し、折れることがある。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。

今年度開発・試作するものについては、基本的にこのポイントを踏まえ、開発することとした。また、平成 21 年度の試験結果と比較することで長寿命化の目標値とした。

平成 21 年度供試車のフレームの強度試験結果を表 1 に示す。

表 1 平成 21 年度 供試車 フレームの強度試験結果

自転車	フレーム 材料	耐振性試験（振動周波数5Hz）		疲労試験（試験力850N）	
		破損した回数		破損した回数	
1 ※1	鉄系合金	21万回以上	JIS規定回数の3倍以上	30万回以上	JIS規定回数の3倍以上
2 ※2	鉄系合金	21万回以上	同 3倍以上	30万回以上	同 3倍以上
3	鉄系合金	182,793回	同 2.6倍	30万回以上	同 3倍以上
4	鉄系合金	21万回以上	同 3倍以上	30万回以上	同 3倍以上
5	鉄系合金	21万回以上	同 3倍以上	30万回以上	同 3倍以上
6 ※1	アルミ合金	21万回以上	同 3倍以上	30万回以上	同 3倍以上
7	アルミ合金	156,027回	同 2.2倍	30万回以上	同 3倍以上
8	アルミ合金	21万回以上	同 3倍以上	249,734回	同 2.5倍
9	アルミ合金	203,491回	同 2.9倍	234,433回	同 2.3倍
10	アルミ合金	118,115回	同 1.7倍	229,914回	同 2.3倍

※1 シティ車 一本パイプ ※2 小径車

平成 21 年度の試験では、次の結果が得られた。

- ① 折り畳み機構を備えていないシティ車、小径車では耐振性試験、疲労試験共に JIS 規定値の 3 倍以上の回数に耐えた。
- ② 鉄系合金製フレームの折り畳み自転車では JIS 規定回数の 2.6 倍で破損するものがあったが 3 倍以上となるものが多かった。
- ③ アルミ合金製フレームの折り畳み自転車では、JIS 規定回数の 1.7 倍で破損するものがあり、3 倍の回数に耐えないものが多かった。

そこで、今年度の目標値としてはフレームの強度試験に関しては JIS 規定値の 3 倍以上の振動数・試験回数に耐えること、また十分な強度を持つことが多い鉄系合金製フレームに関しては、操作性の向上や重量を軽くする等の工夫も取り入れ開発を行うこととした。また、実走行時にフレームに発生する応力も測定し、比較することとした。

3. 開発・試作品

3.1 各試作品仕様（会社名は 50 音順）

3.1.1 試作品 A（ジック株式会社）

① 試作コンセプト

平成 21 年度技術研究所にて調査を行ったジック株式会社の現行品では、フレームの強度について JIS 等の基準には適合した。さらなる長寿命化を図るため、主に折り畳みヒンジ部の改良に着手することとした。具体的には

1. ヒンジ接触面の形状や蝶番部の軸芯の太さを写真 1 の形状から再検討し、耐久性を高める。
2. レバーの構造については、従来検討していたものを採用する（写真 1）。

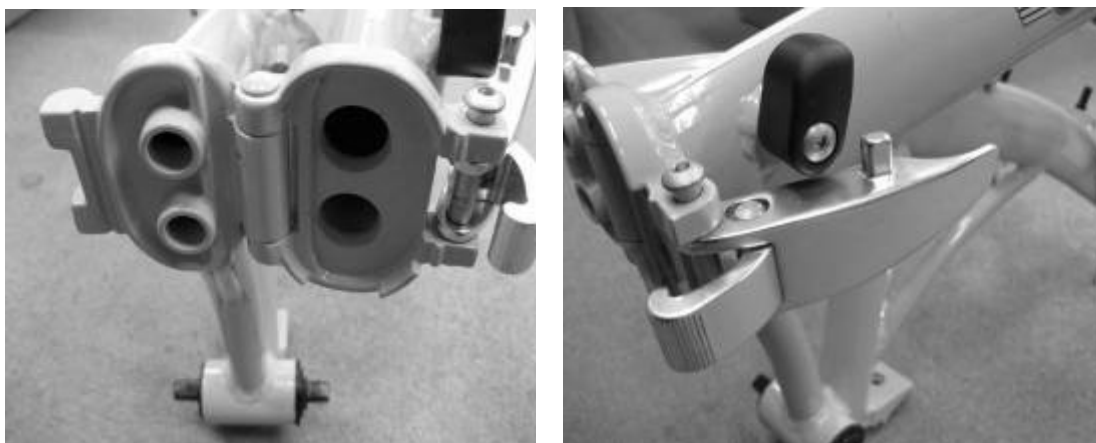


写真 1 折り畳みヒンジ・レバー部

以上の項目を踏まえ、改良を行うこととした。試作時にも予備試験を行う等、実験結果を反映し、製作を実施した。

② 試作品の最終的な仕様について

最終仕様に至るまで、ヒンジ接触面の形状や応力を上手く逃がす方法等を試験結果から検討した結果、図 2 のような仕様に至った。なお試作品では図 2 に示す凸部ではなく写真 2 のように凹部に緩衝材を取りつけた。



- ①ジョイント爪は強度アップのためステンレス製とした。
- ②接触面に凹凸を設け、接触面積の向上、ガタつきの防止を図るとともに、中に緩衝材を入れることで応力分散に対応させた。

図 2 ヒンジ接触面の最終仕様



写真 2 ヒンジ接触面

最終仕様の試作品について外観を写真 3 に示す。



写真 3 試作品（ジック株式会社）

長寿命化設計による折り畳み自転車 事例 ①

《ジック株式会社と共同開発し試作しました》

JAPAN BICYCLE TECHNICAL CENTER



この写真が試作品です。乗り出しが不安定な場合があります。



長寿命化設計のポイント

ヒンジ接合面の改良

折り畳み自転車のヒンジ接合面の改良は、折り畳み自転車の寿命を延ばす上で重要と考え、ヒンジ凹部に、力を緩衝するゴムの装着や仕様・素材変更などの様々な工夫を行い、フレームの強度試験にて評価した。その結果、最適な凹凸形状・材質を決定し、ヒンジ接合面のガタつきを改善した。

様々な工夫を施し、試験を繰り返した



凹凸をつける



凹凸にゴムをつける



応力測定

最適化士験し



取扱いやすい折り畳み機構



凹凸に緩衝材



競輪・補助事業

<http://ringing-keirin.jp>

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

3.1.2 試作品 B (パール金属株式会社)

① 試作コンセプト

平成 21 年度技術研究所にて調査を行ったパール金属株式会社の現行品では、フレームの強度について JIS 等の基準には適合した。更なる長寿命化を図るための改善点として

1. フレームの強度
2. ヒンジ・レバーピンの強度

に向上の余地があることが判明した。そこで今回の開発・試作では、フレームデザインを大きく変えることなく上記の 2 点を改善し、更なる耐久性を持たせることを試作コンセプトとした。

フレームの強度については、基本的なプロポーショナルを維持しながら、試験あるいは実走行時にフレームにかかる応力を考慮した上でパイプの肉厚を考慮し、さらにコストアップ抑制との両立を図ることとした。

ヒンジ部の強度については、まずクイックリリースレバーの固定精度を上げることで耐久性を向上させることとした。図 3 にクイックリリースレバーの変更案を示す。加えて、レバーピン等クイックリリースレバー部に新たな形状を採用する、あるいは別方式のヒンジの採用等の開発も視野に入れた。

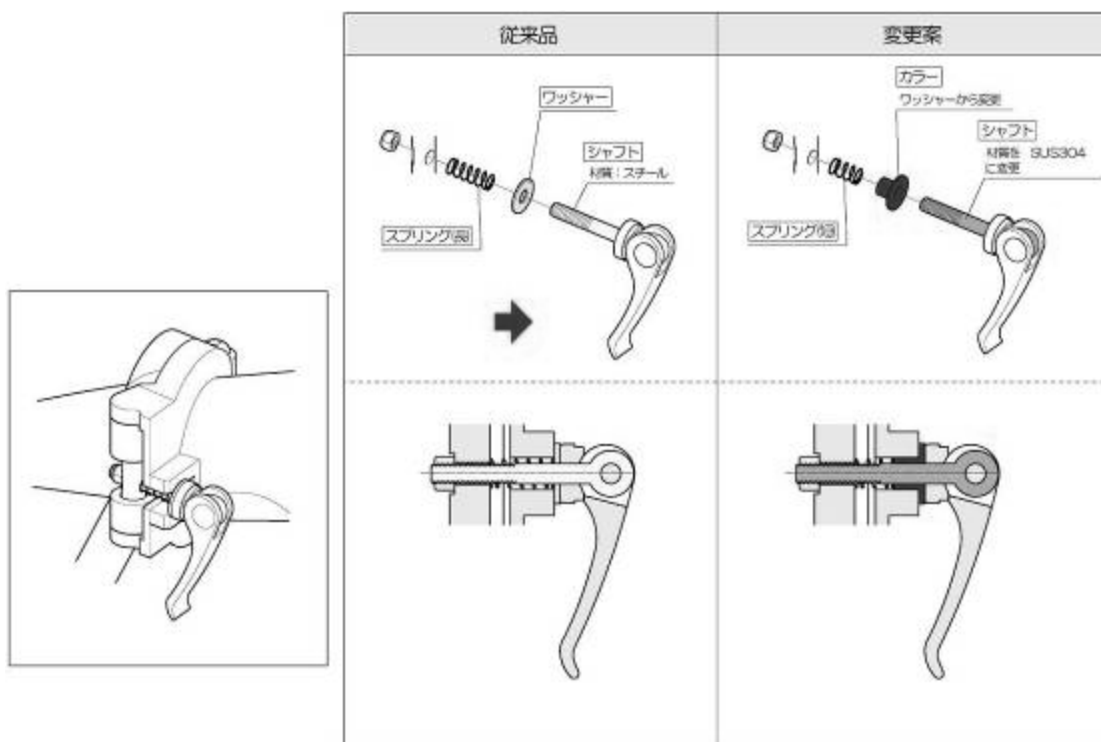


図 3 クイックリリースレバーの変更案

② 試作品の最終的な仕様について

肉厚変更に伴いパイプ形状の変更が避けられず、金型の見直し等の作業を要したが、最終的には大きくプロポーシオンを変えずに開発できた。クイックリリースレバー部の変更については、ワッシャーからカラーに変えるだけでは思うような結果が得られなかった。

最終的には、試験結果も反映しクイックリリースレバーの形状も変更した。その結果、JIS規定回数の3倍である耐振性試験21万回、疲労試験30万回の条件をクリアし、耐久性を向上することができた。最終仕様の試作品の外観を写真4に示す。

今回の試作品では改善によるコストアップを回避できなかったため、今後の開発ではコスト削減と、今回の取り組みを活かした他製品での強度確保をさらに追求していきたい。

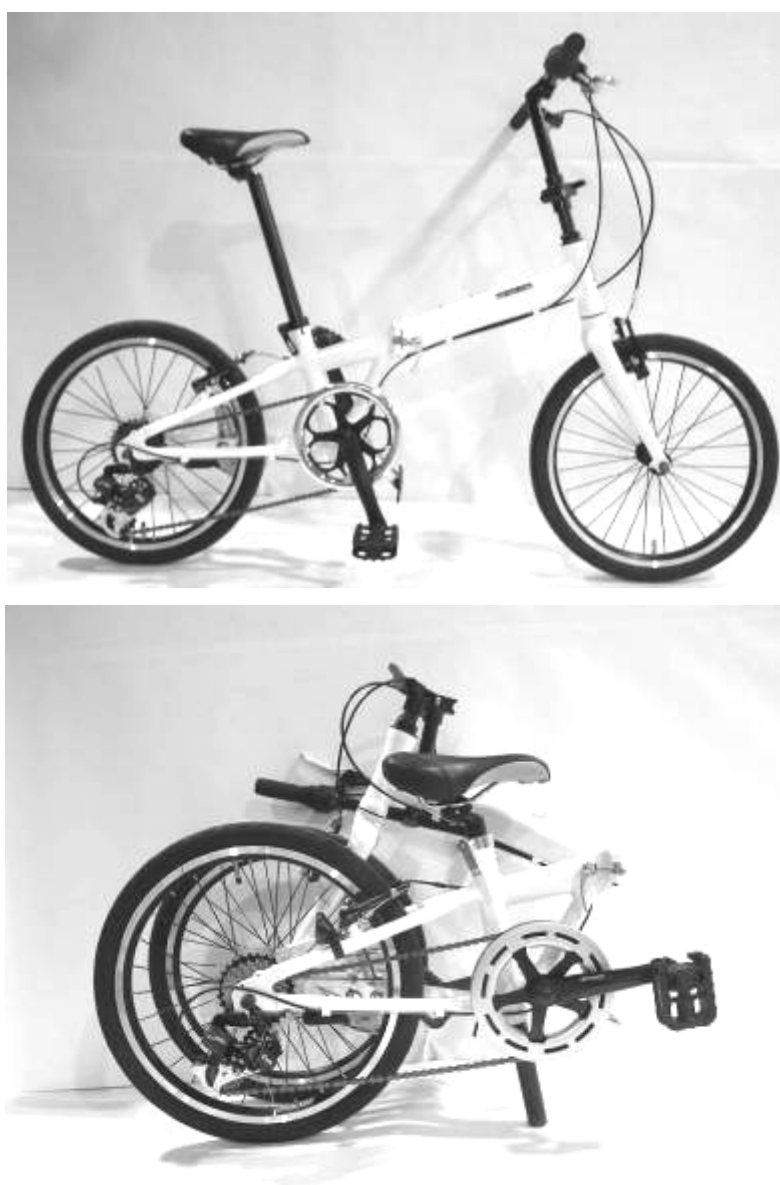


写真 4 試作品（パール金属株式会社）

長寿命化設計による折り畳み自転車 事例 ②

《パール金属株式会社と共同開発し試作しました》

JAPAN BICYCLE TECHNICAL CENTER



15.5寸のリアホイールです、前輪は20寸標準のホイールがご利用です。



長寿命化設計のポイント

フレームの強度

応力測定



従来は断面が真円形だった補強パイプを、丸四角形のパイプへと形状変更。パイプの肉厚なども、応力測定結果を考慮し検討した。

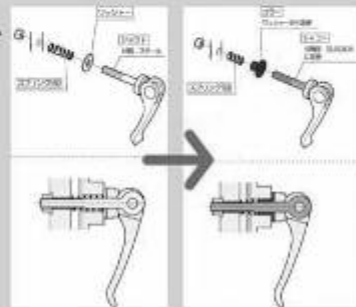


形状変更後



ヒンジ・レバーピンの強度

ヒンジを固定する部品、クイックリリースレバーの固定精度を上げ、ヒンジの耐久性を向上させた。



改良後



KEIRIN
00 競輪・補助事業
<http://ringring-keirin.jp>

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

3.1.3 試作品 C (ブリヂストンサイクル株式会社)

① 試作コンセプト

平成 21 年度技術研究所にて調査を行ったブリヂストンサイクル株式会社の現行品は、フレームの強度について JIS 等の基準に適合した。長寿命化設計を目指した今回の開発・試作では、従来製品の改良を念頭に置いて、新たな折り畳み機構を採用した小径折り畳み自転車の開発を行い、従来製品に対して長寿命化となるか試作～確認作業を進めた。

長寿命化設計を行う上でのポイントとして、以下の 4 点を推進することとした。

1. 走行構造物として継ぎ手部の応力を下げる。
2. 継ぎ手接合方法の検証
3. お客様ごとで差異が生じる折り畳み操作のバラつきを抑制するような機構構造
4. お客様の折り畳み操作のバラつきに対して、走行時に応力変化が起きにくい構造設計

また、商品化に結びつける事項として 走行性能、折り畳み性能、完成車重量、走行時や折り畳み時のサイズについて目標値を設定し、特に折り畳み機構部は、所有感をくすぐるような、従来にない一体感のあるデザイン(図 4)を取り組むこととし、開発を進めた。

折り畳み機構は縦折りを採用した。これは走行時のガタ吸収に有利であり耐久性向上が見込めるからである。長寿命化と走行時の剛性確保のため折り畳みの軸に大径シャフトの採用や、折り畳み操作時のガタつきの吸収機構を採用した。また商品コンセプトを満足させるよう勘案した結果、アルミフレームを採用した。



図 4 試作品デザイン

② 試作品の最終的な仕様について

技術研究所による試験・評価も踏まえ、試験前の仕様から大きな変更なく長寿命化されていることを確認でき、最終仕様にすることができた。写真5に外観や詳細を示す。今後の課題としては、量産化に向けた最終的なパイプ仕様での試験評価や、更なる折り畳み性の向上を目指す。



車輪サイズ	18インチ
折り畳み機構	縦折り
折り畳みサイズ	W720×H805×D400
ディメンジョン	スポーツ走行ディメンジョン
重量	11kg
材質	アルミ

写真 5 試作品（ブリヂストンサイクル株式会社）

長寿命化設計による折り畳み自転車 事例 ③

《ブリヂストンサイクル株式会社と共同開発し試作しました》

JAPAN BICYCLE TECHNICAL CENTER



この写真は試作機です。最終品とは若干異なる場合がございます。

長寿命化設計のポイント

折り畳み操作のバラツキを抑制する機構構造の設計

折り畳み操作のバラツキに対して、走行時の応力変化が起きにくい構造設計とした。



継ぎ手接合方法を改良

耐振性試験・疲労試験や実走行時において、自転車各部へかかる応力バランスの良い構造となるよう工夫した。



▲応力測定



競輪・補助事業

<http://ringing-keirin.jp>

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

3.1.4 試作品 D (ホダカ株式会社)

① 試作コンセプト

平成 21 年度技術研究所にて調査を行ったホダカ株式会社の現行品では、フレームの強度について JIS 等の基準に適合した。一部試験条件でシティ車より強度の低い箇所があり、その部分の改良と、十分に強度のある箇所についてはパイプ肉厚を薄くするなどし、軽量化することを旨とした。具体的な改良点としては

1. 十分に強度のある箇所のパイプ肉厚を薄くし、できるだけ応力集中部のパイプ肉厚を厚くすることなく応力を分散させることで強度をアップさせる。
2. パイプのつぶし加工寸法の最適化を図り、パイプの接合面積を広くすることで断面係数を増やし、強度をアップさせる。(図 5)

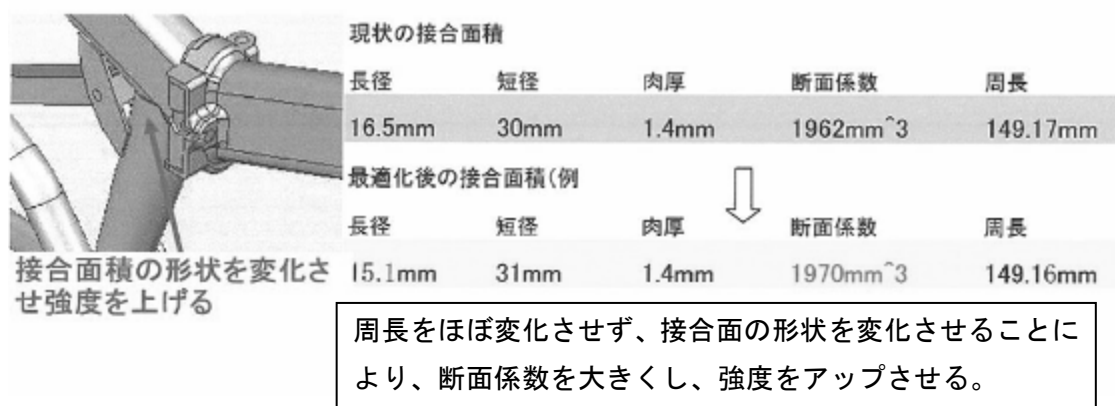


図 5 パイプの接合面積

3. 従来品では湾曲させていたパイプを直線化、最適な形状にすることで、材料減による軽量化を図る。(図 6)

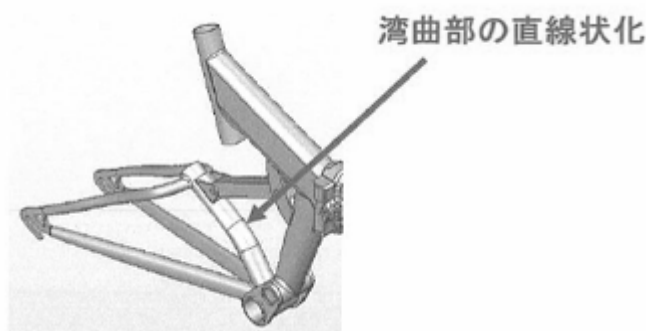
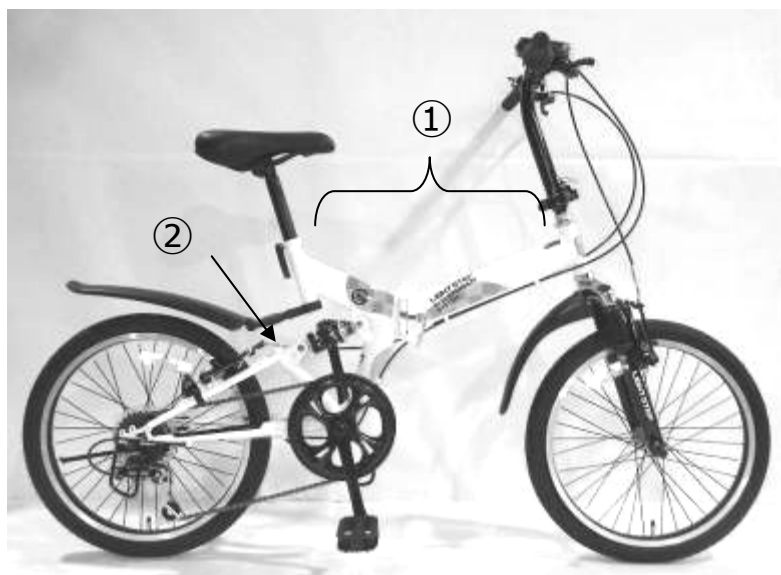


図 6 パイプの湾曲部

以上の項目を踏まえ、開発・試作を実施した。

② 試作品の最終的な仕様について

試作に至るまでの解析結果や実際の製作過程上で再検討した結果、最終的には 1. と 3. の改良を施した。写真 6 に外観や詳細を示す。



最終改良点①

トップチューブの肉厚を 1.4mm から 1.2mm に変更し軽量化し、断面形状を縦幅 70mm×横幅 30mm から縦幅 61mm×横幅 31mm に変更することで最適化した。

最終改良点②

湾曲していたシートチューブの形状を直線化し、軽量化した。



写真 6 試作品（ホダカ株式会社）

以上の改良を経て、重量面では約 200g の軽量化を実現した。強度面については、後述するが 21 万回の耐振性試験、30 万回の疲労試験に耐えた。また実走行時も寿命計算が不可能なほどダメージが小さい結果となった。

長寿命化設計による折り畳み自転車 事例 ④

《ホダカ株式会社と共同開発し試作しました》

JAPAN BICYCLE TECHNICAL CENTER



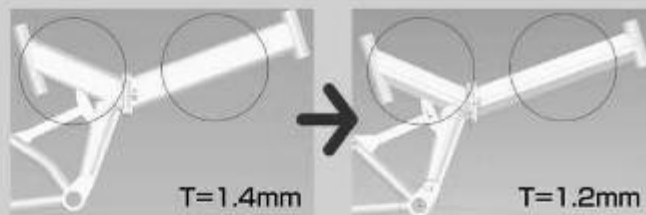
100mmの厚みは0.5mmです、重量は約1kg減らすことができています。



長寿命化設計のポイント

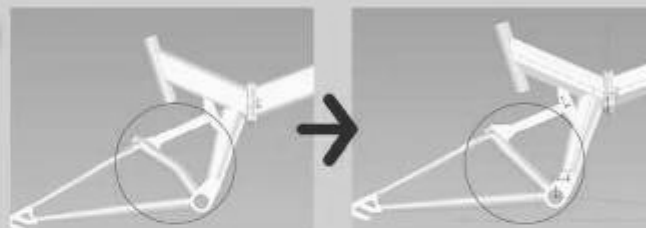
パイプ肉厚の変更

十分に強度のある箇所のパイプの肉厚を薄くし、できるだけ応力集中部のパイプ肉厚を厚くすることなく応力を分散させる設計に見直すことで、薄肉化と耐久性を両立させた。



パイプ形状の変更

従来品で湾曲していたデザインを直線化することで、軽量化と強度アップを図った。



モデル解析による分析

実車で行った試験と、コンピュータを用いたモデル解析による強度解析の結果を比較し、弱点の解析などを行なった。



応力測定

強度解析の様子

KEIRIN
競輪・補助事業
<http://ringring-keirin.jp>

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所

3.1.5 試作品 E (株式会社丸石サイクル)

① 試作コンセプト

平成 21 年度技術研究所にて調査を行った株式会社丸石サイクルの現行品では、フレームの強度について JIS 等の基準に適合した。今回の試作では現行販売車に代わる、企画途中の折り畳み自転車をベースに、長寿命化設計の考え方を含め企画・開発を行った。

具体的な改良点として

1. 折り畳みヒンジ部分は従来プレス製のものであったが、鍛造製に変えることで寸法精度を向上させ、さらに接触面同士の接触面積を増やすことで、乗車状態での強度・安定性を向上させる。

2. 1.の事項を踏まえた上で、折り畳み操作等において取扱い易い形状とする。

以上の 2 点を考慮し、試作を行った。

② 試作品の最終的な仕様について

最終的な試作品では、ヒンジ変更により新たな課題が生じたものの、ヒンジ溶接部のヒンジ根元部分に補強ガゼット溶接を追加加工することで、耐振性試験、疲労試験での耐久性を向上することができ、折り畳みレバーや機構についても新機構の採用が可能となった。

(写真 7)

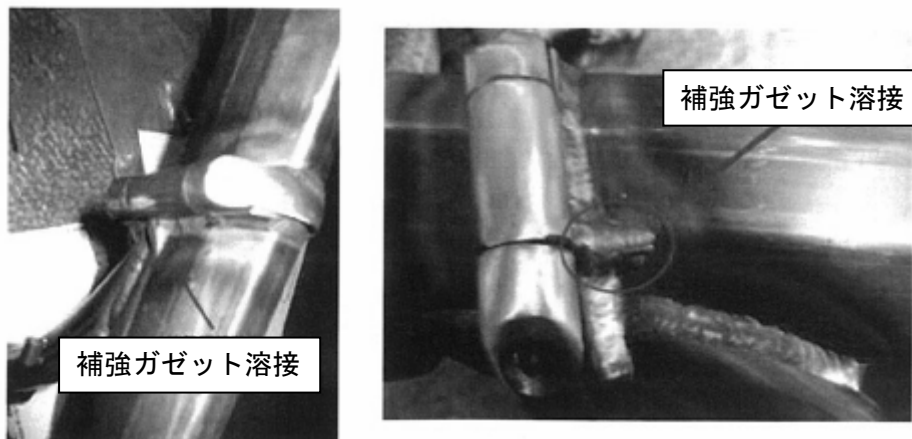


写真 7 補強ガゼット溶接

その他の仕様については、低床設計とすることで乗車しやすい形状にするとともに、ハンドル部の折り畳み機構についてもフレーム同様、新たなものを採用した。また今後の販売を考え、コストアップ抑制のため現行販売車と同等の部品を採用できるようにした。

写真 8 に外観を示す。



写真 8 試作品（株式会社丸石サイクル）

長寿命化設計による折り畳み自転車 事例 ⑤

《株式会社丸石サイクルと共同開発し試作しました》

JAPAN BICYCLE TECHNICAL CENTER



100kgの重量でも安定した乗り心地を実現しています。



長寿命化設計のポイント

ヒンジ部の変更



応力測定

ヒンジ部を従来のプレス製から鍛造製に変更し、寸法精度の向上やヒンジ接合面同士の接触面積を増やし、強度や安定性の向上を図った。同時に折り畳みの操作性も向上させた。

試作品



従来品



強度向上
90%増

KEIRIN



競輪・補助事業

<http://ringring-keirin.jp>

財団法人 自転車産業振興協会 技術研究所