

# 子乗せ自転車転倒による子どもの事故の削減の 為の基礎情報整備

## ～転倒に関わる子供の行動と親の身体能力～

株式会社ブリヂストン

### 1. プロジェクトの背景と目的

#### (1) 検討のプロセスについて

検討は、子供用自転車の利用上の安全性高める上で、キッズデザインの基本的な考え方<sup>1)</sup>を尊重し、(図1)に示した基本的な情報を明確にした上で商品に結びつけるプロセスで検討を実施した。

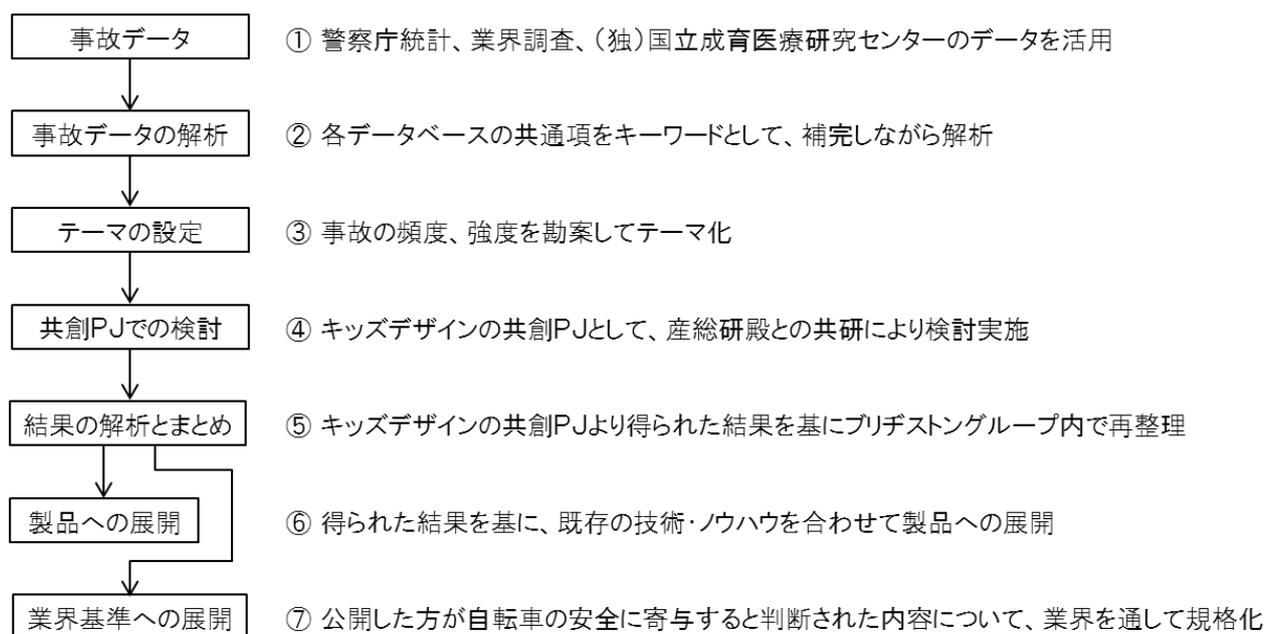


図1 検討のプロセス

(図1)の全体の検討プロセスにおいて2012年度のプロジェクトは③～⑤であるが、本報告ではブリヂストンサイクル㈱及び㈱ブリヂストンが本検討の結果を用いて実施した、製品の展開及び業界基準への展開についても言及する。

(2) 子供の自転車同乗中事故と車輪に足が接触又は挟まれることの意味

(独) 国立成育医療センターのトリアージデータを整理すると、子供の自転車同乗中の事故は(図2)で示した様に分類され、日常的に起こる

事故では「単純転倒事故」「足の挟まれ事故」が事故件数の上位を占めており、この2つの事故で同乗事故全体の約77%を占める。

この2つの事故は足が車輪に接触又は挟まれることが原因の中に含まれており、発生する事故は、

- ① 足が車輪に挟まる事でバランスが崩れ、衝突や転倒事故に繋がる
- ② 足が車輪との接触や挟まる事で、足が損傷するスポーク外傷

の2つに大きく分けられる。

また、転倒が絡む事故は(図3)で示した様に、子供を同乗中の全事故の65.4%を占め、その内、自動車等との衝突に伴う転倒を除く52.4%が当事者責任による単純転倒事故である。

(図4)は、日本交通管理技術協会が平成18年にまとめた報告書<sup>2)</sup>のデータを、子供転倒事故、単純転倒及び他車両との衝突に基づく転倒事故を合わせた事故を原因別に分けたものであるが、全転倒事故の原因の内、同乗している子供が原因で発生する事故は約27%を占めており、その約18.5%が子供の足が車輪に挟まれたことに起因する。

また、この結果から、(図2)の単純転倒事故の18.5%が足の車輪との接触・挟まれに起因すると想定すると、足の車輪との接触又は車輪に挟まれることは、子供の自転車同乗中の事故の原因の約27%を占めていると推定される。

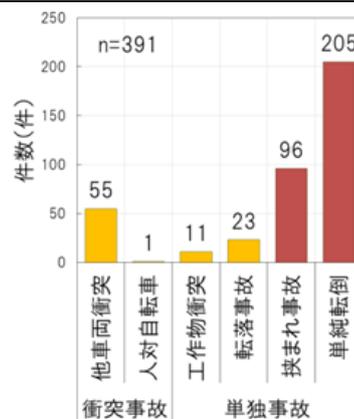


図2 子供の自転車同乗中の事故

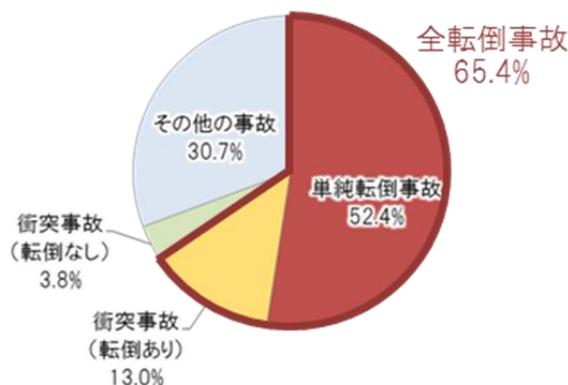


図3 子供同乗自転車事故中の転倒事故

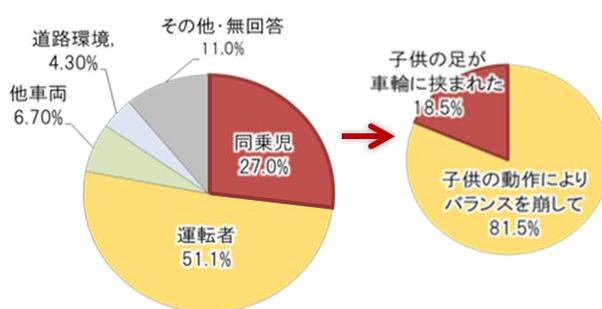


図4 子供同乗中の自転車転倒事故の原因<sup>2)</sup>

(3) 足の車輪との「接触」「挟まれ」の防止対策の考え方

足が車輪に接触することと、足が車輪に挟まれることは、ともに、足が車輪部分に侵入することで発生する状況ではあるが、自転車及び自転車の部品や備品で事故の回避や防止する観点では、若干意味が異なる。

すなわち、足の車輪との接触は発生しやすいが、足への損傷は小さく、足が車輪に挟まれることは、接触よりも発生し難いが、発生した場合足への損傷は接触よりも大きいということである。(表1)

表1 足の「接触」と「挟まれ」の比較

状況	発生の可能性	発生時の足の損傷の大きさ	発生する事故の可能性	
			転倒事故	スポーク外傷
接触	大 ⇕	小 ⇕	×~△	○
挟まれ	小	大	○	○

本報告の主要課題である、転倒事故においては、足が車輪に接触する程度の外力程度では運転者がバランスを崩すまでには至らず、足が挟まれることで車輪がロックすることが転倒の大きな原因と想定されるが、スポーク外傷においては足が車輪に接触するだけで、足が損傷してしまう可能性が高い。

(図5)は(独)国立成育医療センターのデータでスポーク外傷と判断される事故での身体損傷を分類したものであるが、擦過傷等の摩擦創傷が多く発生している。

また、(図6)はデータベースの事故の発生状況及び身体損傷の状況から推定した身体損傷の原因になったと想定される外力を分類したものであるが、スポーク外傷の原因となる外部入力「挟まり」と同じ程度で「摩擦」「打撲」の入力が存在しており、このことからスポーク外傷事故の防止は「挟まれ防止・回避」ではなく、「接触防止・回避」の発想が求められることになる。

本プロジェクトの主旨は、自転車のキッズデザインを通して、製品を利用する子供を最大限に守ることにあるので、今回の検討は、転倒防止のための「挟まれ防止・回避」に留めず、スポーク外傷事故の防止も視野に入れた「接触防止・回避」まで意識し、「接触防止・回避」と「足の車輪への可達」の関係を明確にして、自転車及び自転車の部品、備品によるソリューションを提案することを基本的な考え方及び目的とした。

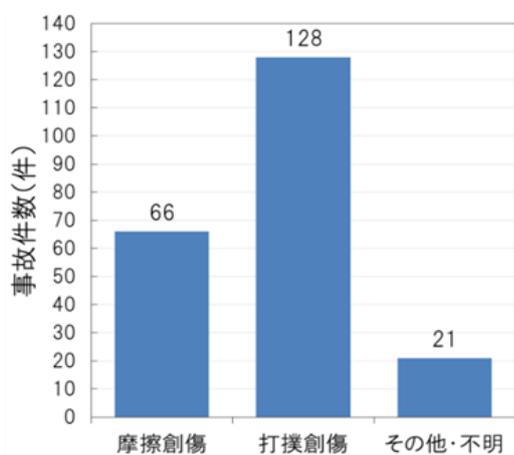


図5 スポーク外傷における身体損傷の分類

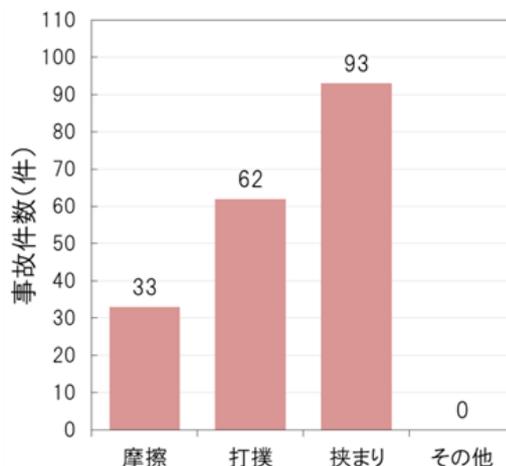


図6 身体損傷の原因になったと想定される外部入力の種類

## 2. 本検討における実験の概要

実験は（独）産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学研究センターと㈱ブリヂストンの共同研究として行い、検討にあたって自転車の製造者であるブリヂストンサイクル㈱が参加する形で実施した。本検討では実験として、下記の3項目を実施した。

- ① モーションキャプチャーシステムを用いた子供の足の動きの計測（写真1）
- ② 被験者の身体寸法の計測（写真2）
- ③ Spoke Manager を用いた子供の足の動きの可視化



（写真1） モーションキャプチャーシステムを用いた子供の足の動きの計測の様子



（写真2） 被験児の身体寸法計測の様子

### 2. 1. 幼児座席の安全規格と被験児の設定

幼児座席の対象児は道交法とSG基準で規定されており、その内容は（表2）にまとめた通りである。

また、今回の検討では、身長の上限115cmを前提として  
男児2名、女児2名の被験児を選定した（表3）。

表2 SG基準での対象児の規定

	基準値	
	下限	上限
年齢	1歳(12ヶ月)以上	6歳(72ヶ月)未満
身長	70cm以上	115cm以下
体重	8kg以上	22kg以下

### 2. 2. モーションキャプチャーを用いた足の動きの計測と条件

- 1) 使用機器：Vicon社製Vicon Nexusを10台使用して計測した。
- 2) 供試自転車：ブリヂストンサイクル社製 アンジェリーノ
- 3) 供試幼児座席：ブリヂストンサイクル社製 ルラビー（RCS-LD2）
- 4) 計測時の乗車姿勢：

乗車姿勢については、シートベルトを着用した。標準の座姿勢に加えて、同乗児の乗車姿勢の観察結果を参考として、シートベルトを着用していない場合を想定した2タイプの座姿勢を加え、合計3つの異なる座姿勢で計測した。（写真3）

今回の実験で、乗車姿勢にあえてシートベ

表3 今回の検討の被験児の概要

No.	性別	年齢	身長	測定日
1	男児	5.01	114.7	2012/03/07
2	女児	5.47	114.0	2012/03/14
3	女児	9.16	128.5	2012/03/12
4	女児	9.26	127.5	2012/03/14

ルトを着用していない姿勢を含めたのは、シートベルトの非着用を決して容認しているのではなく、(図7)で示した様に自転車同乗中の子供の半数以上がシートベルトをしていない現実を踏まえ、シートベルト非着用の場合の危険性を可視化することと、シートベルトをしていない、危険な状況であっても、子供の足を守る条件を探るためである。



(写真3) 計測時の乗車姿勢  
 左：シートベルト着用の標準姿勢  
 中央：浅く座った楽な姿勢  
 右：握りバーに体を寄せた姿勢  
 (※中央、右はシートベルト非着用)

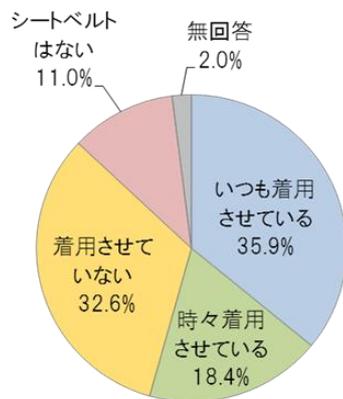


図7 シートベルトの着用状況 (出典：日本交通管理技術協会の報告書データより作成)<sup>2)</sup>

5) 被験児の動作モード：

被験児には、後部に設置した幼児座席に着席後、足を前後方向、横方向に大きく動かしてもらい、その足の動きを計測した。

2. 3. 被験児の身体寸法計測

今回の検討では足の可達に関係すると想定される、座位臀幅、座位転子高、座位膝蓋骨上縁高、及び座位臀・膝蓋距離の4項目とSG基準との関係性を明確にする為に身長、体重を計測した。

計測結果は(表4)に示した通りである。

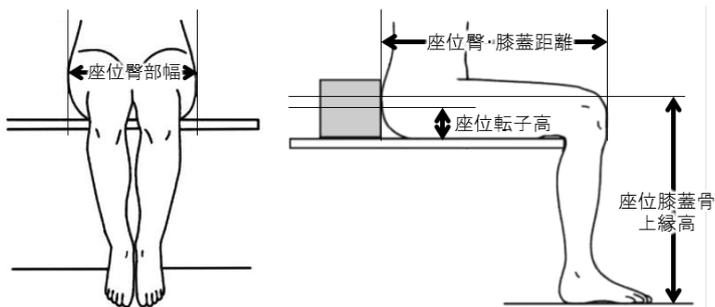


表4 今回の被験児の身体寸法

No.	1	2	3	4
性別	男性	女性	女性	女性
年齢	5.0	5.5	9.2	9.3
身長(cm)	114.7	114.0	128.5	127.5
体重(kg)	20.6	22.5	25.6	25.0
① 座位臀幅(cm)	23.3	24.2	26.0	24.9
② 座位転子高(cm)	4.4	4.6	6.1	5.3
③ 座位膝蓋骨上縁高(cm)	33.7	33.4	38.8	37.2
④ 座位臀・膝蓋距離(cm)	37.7	38.6	43.1	42.8

## 2. 4. Spoke Manager による足の可達の可視化

モーションキャプチャーの結果及び被験児の身体寸法から推定される足の可達の結果は2010年度の事業で開発したSpoke Manager(図8)<sup>4)</sup>の改善で可視化することができる様になった。また、(図9)で示した様に、今回の改善では、2010年度の事業で実施した二次元的な可達範囲の可視化だけでなく、三次元的な足の動きを「見える化」することもできるようになった。

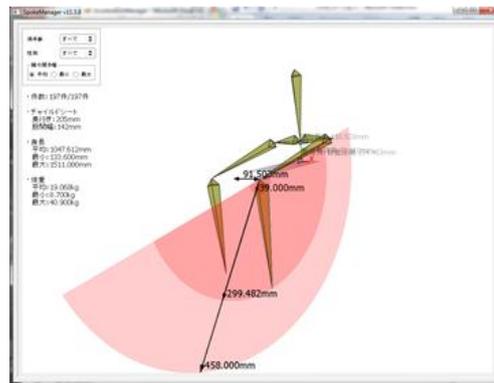
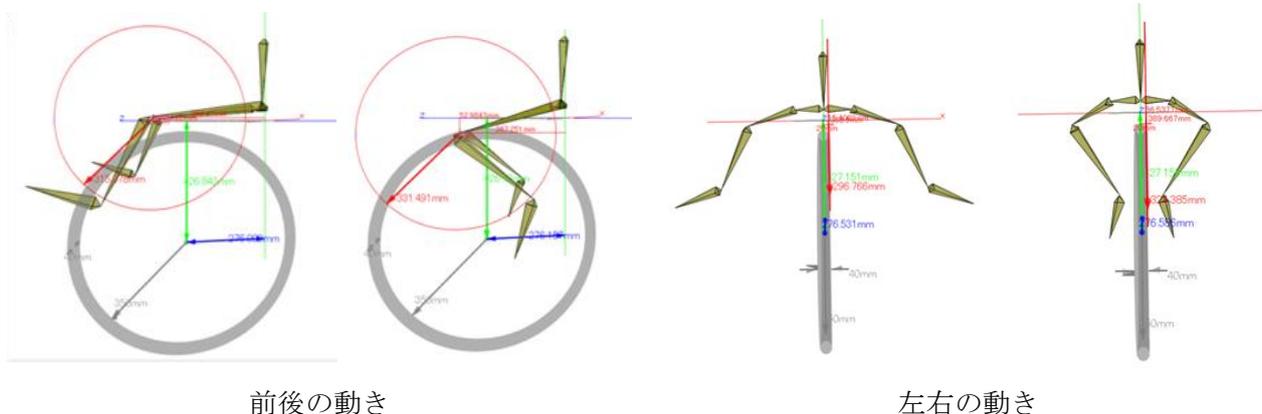


図8 2010年に開発されたSpoke Managerによる足の可達の可視化(2D)<sup>4)</sup>



前後の動き

左右の動き

図9 2011年に実施されたSpoke Managerの改善(3D)

## 3. 結果のまとめと解析及び考察

今回の結果は、(株)ブリヂストンとブリヂストンサイクル(株)でデータの再整理、解析及び自転車によるソリューションの為の考察を行った。

## 3. 1. 被験児選定の妥当性確認

現行の道路交通法によれば、6歳(72ヶ月)以上の児童は自転車用幼児座席に乗せることができないとなっている。また、最新のSG基準(表2)によれば、今回の検討対象である後用幼児座席は体重8kg以上22kg以下で目安身長が70cm以上、115cm以下となっている。

今回の検討では、目安身長の上限である115cmの子供の安全性の確保を前提として検討を進めている。我々は、この前提が妥当であるかを、足の可達を自転車又は幼児座席で改善するにあたっての、対象児の足の長さのバラツキと上記の基準の意義を可視化するという観点より確認した。

(図10)はキッズデザイン共創PJの検討で得られたデータにHQLが公開している子供の身体寸法<sup>3)</sup>を加えたデータの分布を図示したものである。この結果によると、新しいSG基準で設定された基準において、上限である、体重22kg以下及び115cm以下の児は全体の97.2%であり、SG基準は妥当なものであると判断した。また、足の可達に関係する身長115cmに限定すると98.1%と6歳未満の子供の大半をカバーしており、SG基準を前提として今回の検討を進めることの妥当性が確認された。

また、足の可達の検討に対して、身長を基準とした被験児の選定については、(図 11) で示した様に身長と脚の長さである股下高が良い相関であることから、妥当と判断した。

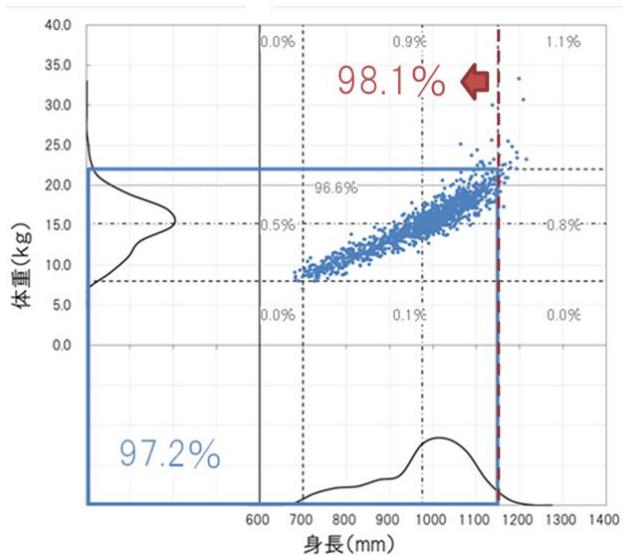


図 10 6歳未満の子供の身長と体重の分布<sup>3)</sup>

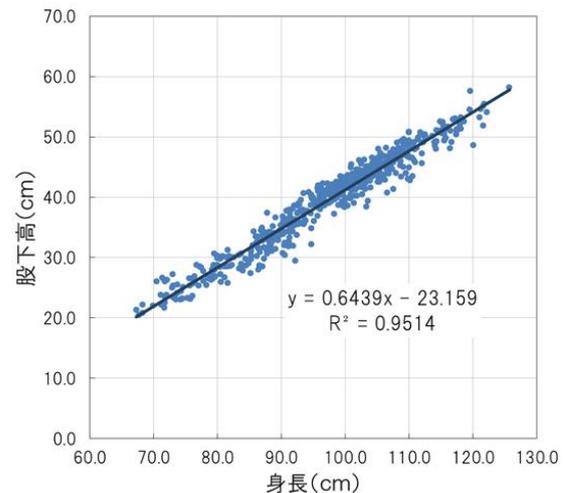


図 11 身長と股下高の関係(0歳～7歳)

(出典: HQLが公表する子供の身体寸法<sup>3)</sup>と2010年度事業の計測データを合わせて作成した。)

### 3. 2. Spoke Manager による足の可達の可視化結果

(乗車姿勢の違いによる足の可達の変化)

(図 12) には、被験児 2 をモーションキャプチャーシステムで計測した結果を Spoke Manager で可視化した図を乗車姿勢、足の位置を軸に整理してまとめたが、見て分かる様に、定性的ではあるが、乗車姿勢によって、足の可達範囲が変化している。

3つの乗車姿勢では、シートベルト着用の姿勢に比べ、シートベルトを着用していない2つの姿勢が足の可達の範囲が大きいですが、シートベルトにより乗車姿勢が拘束され、深く座ることで、足の自由度が少なくなっていると推定される。

また、足の可達で問題になるのは、フットガード(写真4)でカバーされていない車輪後部まで足が達することであるが、シートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢の時に最も後方まで足が達しており、足の自由度が最も大きいと推定される。



(写真4) 大型フットガードによる車輪のカバー

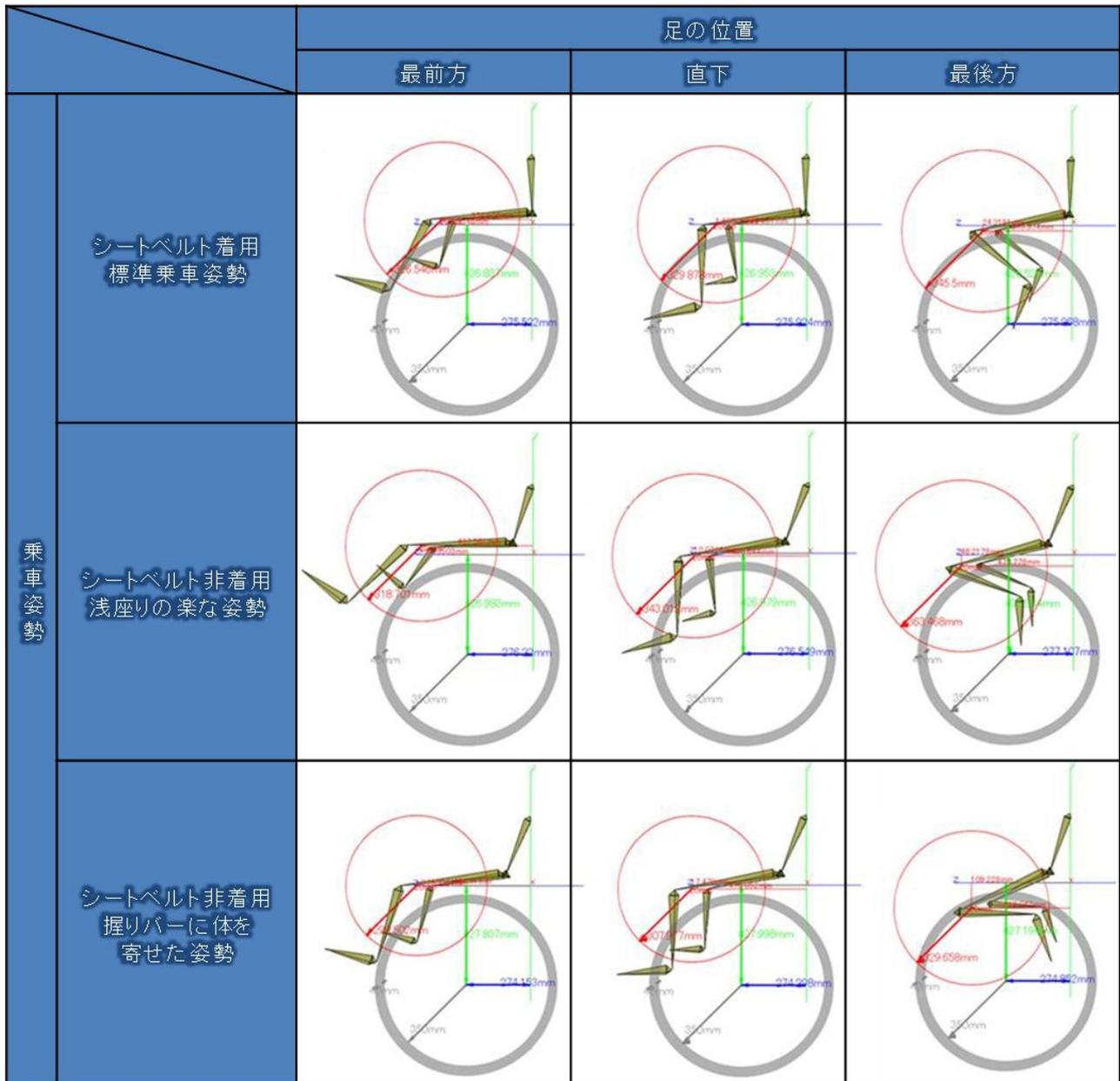


図12 乗車姿勢の違いによる、足の可達範囲の変化  
(被験児2の例-Spoke Managerによる可視化結果)

3. 3. 身長 115 cm の子供の足の長さ、可達の推定と車輪ガードとの関係の明確化

前述の結果により、乗車姿勢によって足の可達範囲が変化することが理解できたので、身長 115 cm の子供を想定した状況で足の可達範囲と実際の車輪ガードとの相対的な関係を可視化した。

3. 3. 1. 身長 115 cm の子供の足の長さの推定

身長 115 cm の子供の足の長さを推定は、大腿長と下腿長を分けて推定した。

(図 13) また、下腿長として膝蓋骨中央高を用い、大腿長としては股下高から膝蓋骨中央高を差し引いた計算値を用いた。データは 2010 年度事業で計測した値を用い、身長、股下高については 2010 年度事業と H Q L が公開しているデータ<sup>3)</sup>を合わせて用いた。

足の長さは、身長と各足の長さの分布図での近似線で 115cm に相当する値を用いることで推定し(図 14~図 16)、下腿長 30.5 cm、大腿長 18.6 cm とした。

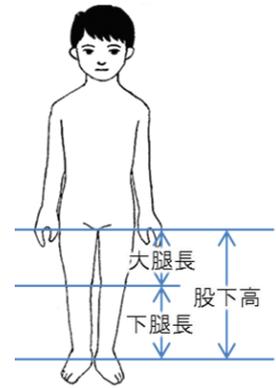


図 13 足の長さの定義  
 下腿長：膝蓋骨中央高  
 大腿長：計算値  
 (=股下高-膝蓋骨中央高)

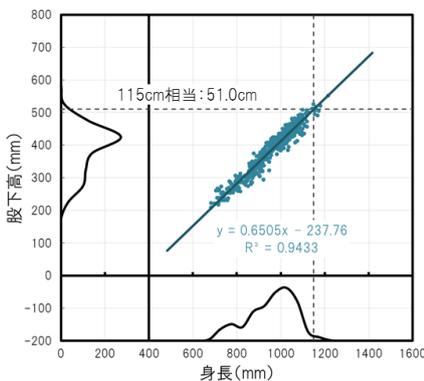


図 14 身長と股下高の相関<sup>3)</sup>

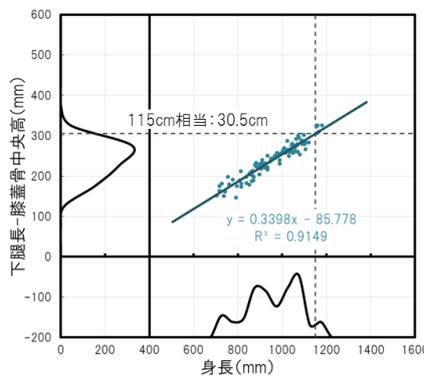


図 15 身長と下腿長の相関

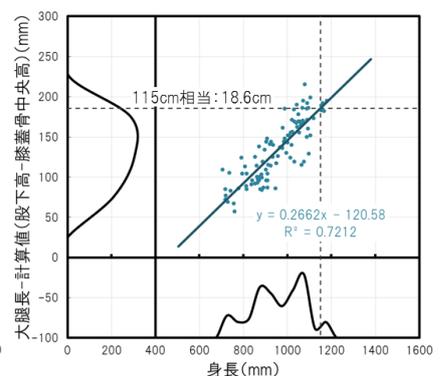


図 16 身長と大腿長の相関

### 3. 3. 2. ブリヂストンの自転車の車輪ガードの変遷

後輪の車輪ガードは、ドレスガードとも言い、一般車において運転者の着衣の裾が後輪に巻き込まれることを意図して利用されてきた。ブリヂストンサイクル(株)では子乗せ自転車が発売された時に、同乗する子供の足の巻き込み防止を意識して、ドレスガードを大型化したフットガードを採用し、2011年には更なる安全化を意識してフットガードを更に大型化してきた。(写真5)



(写真5) 市販自転車（ブリヂストンサイクル社製）の車輪ガードの変遷

### 3. 3. 3. 足の可達範囲と実際の車輪ガードとの相対関係

足の可達範囲と実際の車輪ガードとの相対関係は、身長115cm相当の子供の足の長さをベースに、ブリヂストンサイクルの子乗せ自転車に現在採用されている大型フットガードとの関係を推定した。この推定は、2Dで可達推定を行った。2Dで推定した理由は、幼児座席から垂直に降ろした足の位置と車輪には若干の距離があり、2Dで推定した可達範囲が3Dでの推定より、広くカバーされ安全率が高い為である。

(図17)は身長115cm相当の児童の幼児座席着席時の2Dでの足の可達の推定を図示したものである。画像として使用した自転車はアンジェリーノ5)、幼児座席はリヤチャイルドシート(RBC07DXS)5)、車輪ガードが大型フットガードを用いた。また、乗車姿勢はシートベルト着用標準姿勢と最も後方に足が可達すると推定された、シートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢を想定した。

足の長さは前述した下腿長30.5cm、大腿長18.6cmを用い、リヤチャイルドシートの高さ27.5cmを基準に図示した。起点はリヤチャイルドの開口部と座位転子高との交点とし、座位転子高は5.0cmとした。

(図17)で図示した様に、シートベルト着用時の乗車姿勢では、足の最大可達範囲は、フットガードの内側に位置するが、シートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢では、足の最大可達範



(青線) シートベルト着用標準姿勢  
(緑線) シートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢  
図17 身長115cmの子供の足の可達範囲の推定(2D)

囲はフットガードの外側に存在している。もちろん、現実の子乗せ自転車では、2Dの足の可達がフットガードの外側に有ったとしても、幼児座席のフットレストの存在や、フレームの引っ張り等で足が車輪に接触することは非常に限定的と推定されるが、使用時の不測な状況を考えると、2Dでの足の最大可達範囲を何らかの方法でカバーすることが、より高度の安全、安心に繋がることになる。

### 3. 4. 足の可達範囲のカバー率アップの為の方向性と製品による改善

以上の様な結果を踏まえると、自転車及び備品で足の車輪への接触に対する安全性を更に高めるには、次の2つの方向性があることになる。

- ① シートベルトを着用しない場合でも、足の自由度を制限し、足の可達の最大範囲をフットガードの内側に  
収めること
- ② シートベルトを着用しない場合の足の最大可達をカバーすること。

我々は、この両方向から足の可達に関わる子乗せ自転車の安全性の改善を試み、その成果を改善商品として提案することとした。

#### 3. 4. 1. HYDEE. Bでのソリューション

HYDEE. Bはブリヂストンサイクルが雑誌「VERY」とコラボをして「安全性を損なわずに徹底的におしゃれを追求」するために、車体から幼児座席までゼロからの開発した自転車で、デザイン性と安全性を両立した幼児座席である「ハンサムチャイルドシート」を搭載し、大型フットガードのカバー範囲の内側に足の最大可達範囲を収めることを思想として、次の3つのポイントを意識しての設計となっている。<sup>5)</sup>



(写真6) HYDEE. B

#### ① 大型フットガード：

後部車輪の4分の1以上をカバーする大型のフットガードを採用

#### ② 幼児座席のサイドレストと握りバーの連携：

サイドレストを握りバーまで繋げることより、握りバーに体を寄せた姿勢でも脚足が外側にはみ出すことを抑制でき、足の自由度が増大する事を防ぐことで、足の最大可達が大型フットガードの内側に来るようにした。

#### ③ バックガード：

子供が足を大きく動かしても、フットガードのない車輪の後方に足が行かないように大きなバックガードを設置。

サイドレスト 握りバー



(写真7) HYDEE. Bのハンサムチャイルドシートと大型フットガード

HYDEE. B (写真8) はハンサムチャイルドシートの乗車姿勢であるが、握りバーの根本部分が子供の大腿の半分より前に位置している。また握りバーが座部分に近いので、大きく体を前に寄せることができなくなっている。



(写真8) ハンサムチャイルドシートの乗車姿勢



図18 HYDEE. Bでの足の可達範囲の推定  
(身長115cm-2D)

(図18) はHYDEE. Bを標準姿勢で乗車した場合の足の可達を(図17)と同様の方法で推定した結果を図示したものであるが、足の可達が大型フットガードの内側に位置している。

また、通常はバックガードの位置で足が後方に行くことを防止しており、万が一バックガードより後方に足が可達しても、バックガードの張り出しで足が車輪に近づけない構造になっており、足と車輪の接触を阻害している。

### 3. 4. 2. 大型後付けフットガードでソリューション (一般車や他の子乗せ自転車への対応)

一般の子乗せ自転車やシティ車に幼児座席を後付けする場合は、HYDEE. Bのように幼児座席や大型フットガード等での足の車輪への接触防止に対する工夫がなされていない。その為、子供の乗車姿勢や不測の動き等の環境の変化が生じた場合を想定すると、足が車輪に接触する懸念が残る。

この懸念を払拭するには、前述のシートベルトを着用しない場合の自由度が高くなった足の動きでの最大可達範囲をカバーすることが必要となる。

我々は、この状況下でも子供足を最大限守る為のソリューションとして、大型の後付けフットガード(商品名: 大型「フットガード」(オプション))を開発した。

大型「フットガード」(オプション)はシートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢での足の最大可達範囲を考慮しつつ他の特性を犠牲にしない範囲を最大限のカバーし(図18)、一部カバーされていない領域についても、(写真9)の右写真の様に後部を左右に出っ張った構造にすることで立体的に障壁になるようにして、足が車輪に接触しない様に工夫をした。

(写真10)は身長が約115cmの子供のシートベルト非着用で握りバーに体を寄せた姿勢での後方への足の可達を観測したものであるが、大きく後方に足を振った場合でも、フットガードのカバー範囲を超えない様子が見て取れる。



(写真9) 大型「フットガード」(オプション)



(写真10)  
大型「フットガード」(オプション)の足の後方への可達状況



(青線) シートベルト着用の標準姿勢  
(緑線) シートベルト非着用の  
握りバーに体を寄せた姿勢

(図18) 大型「フットガード」  
(オプション)での足の可達範囲  
の推定(身長115cm-2D)

#### 4. 検討を活用した団体基準改訂への提案

我々は、製品を通して、お子様の安全を守る活動だけでなく、広く安全な社会作りに貢献するという思いから、得られた結果を再整理して、団体基準に反映させる活動を実施した。具体的には、自転車の幼児座席に関わる一般財団法人製品安全協会のSG基準(自転車用幼児座席の認定基準及び基準確認方法)<sup>6)</sup>の平成23年11月16日付の改訂に際して、技術的な提案をした。

SG基準(自転車用幼児座席の認定基準及び基準確認方法)の今回の改訂の内容は次の3ポイントであり、この中で①、③について技術提案を行った。

- ① 身体が大きなお子様が幼児座席に乗車して発生する事故防止を目的に、幼児座席の対象児の定義の明確化。
- ② 足部の後輪への挟み込み(巻き込み)を防止する為に「足乗せ」を義務規定とした事。
- ③ 足部の保護性能については前形、後形に分け、隔離距離または保護範囲をより定量的な記述とした事。

## 4. 1. 幼児の身長、体重の測定結果とSG基準の関係

(図18)は(図10)でも説明した2010年度事業で計測したデータにHQLが公開しているデータ<sup>3)</sup>を合わせて図示したグラフである。

今回の改訂で明確にした幼児の体重の上限による区分の基準(身長70cm~115cm、体重8kg~22kg)に収まる幼児は対象年齢児の96.6%を占め、基準として妥当であることを確認し、「2. 適用範囲」の内容をより定量的な記述に変更する提案した。

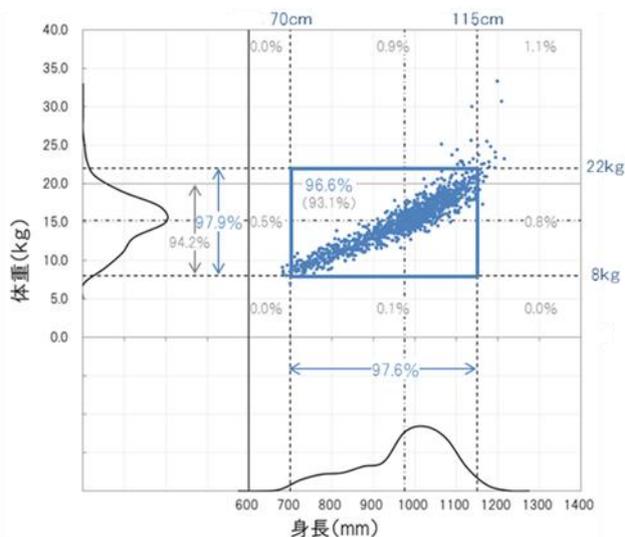


図18 幼児座席の対象児の身長、体重の分布

## 4. 2. 2Dでの足の可達と足の保護範囲の関係

(図19)は2010年度事業で開発された2DバージョンのSpoke Managerで推定した5歳児の足の可達とSG基準における足部の保護範囲を組み合わせ、2Dでの足の最大可達範囲とSG基準との関係を確認した図である。前述の様に、2Dでの足の最大可達範囲は実際、又は3Dでの足の可達より範囲が広がるので、定性的ではあるが、この図で5歳児の足の可達範囲はSG基準の足部の保護範囲の内側にあることが確認された。

これは、公的に推奨しているシートベルトを着用していることを前提とした乗車姿勢においては、SG基準の足部の保護範囲で十分安全が確保されることが確認されたことを意味しており、「3. 足部の保護性能」の記述に反映させるべく提案した。

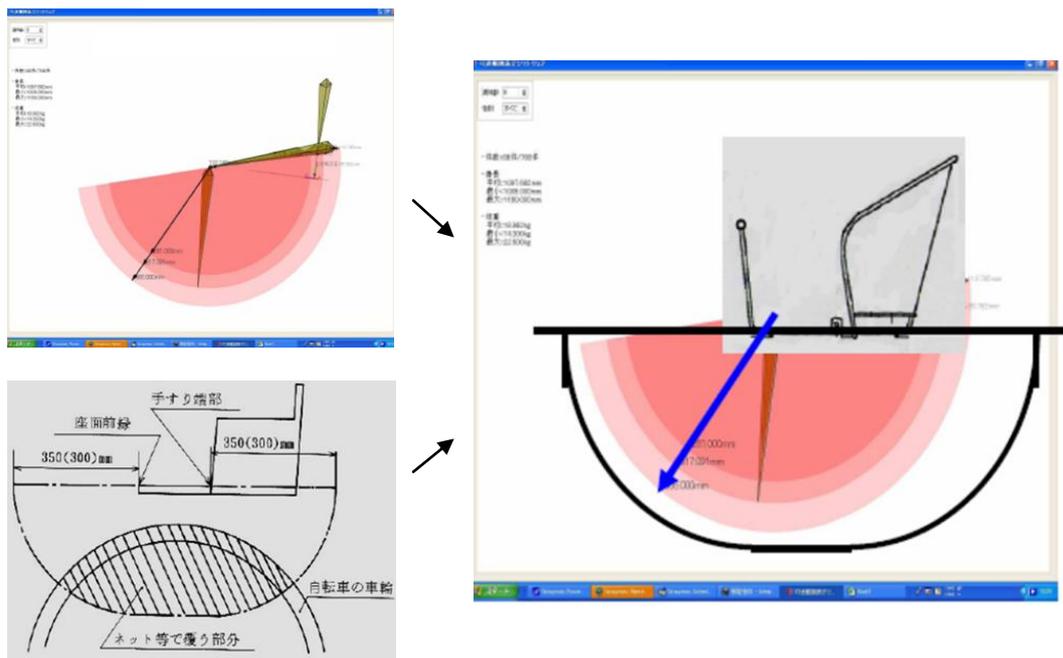


図 19 Spoke Manager による 5 歳児の足の可達と S G 規格の組合わせ

## 5. 最後に

本報告は、子供の足の長さや可達に着目して自転車の車輪と子供の足の接触を防止することを自転車の幼児座席及び車輪ガードの工夫で具体化した事例紹介であるが、今回紹介した事例に含まれる知見の活用は自転車の幼児座席や車輪ガードの改善に留まらないと考える。

例えば、足の可達が乗車姿勢により大きく変わるが、シートベルトを着用すれば足の可達が小さい姿勢を確保できる方向にある。

子供の安全・安心は決して自転車だけで守れるものではないと考えるので、今回の成果が多方面で活用されることを願う。

## 6. 参考資料

- 1) キッズデザインの輪の WEB サイト キッズデザインの輪について  
(<http://www.kd-wa-meti.com/about.html>)
- 2) 自転車に同乗する幼児の安全対策及び乗車定員に関する調査研究報告書  
(平成 18 年 (財) 日本交通管理技術協会)
- 3) HQL の WEB サイト (<http://www.hql.jp/database/children/>)
- 4) キッズデザインの輪 平成 22 年度キッズデザイン製品開発支援事業の WEB サイト  
(<http://www.dh.aist.go.jp/projects/kd/>)
- 5) ブリヂストンサイクル株式会社の WEB サイト (<http://www.bscycle.co.jp/>)
- 6) 自転車用幼児座席の認定基準及び基準確認方法 (財) 製品安全協会