

表 1 選手が現在使用しているプロテクターの種類と使用目的

使用選手数	プロテクターの競技種類 ( )内は使用選手数	プロテクターの使用目的 ( )内は回答選手数
チェストプロテクター	4 野球(3) ラクロス(1)	衝撃吸収(4)
ヒッププロテクター	4 インラインスケート(2) アイスホッケー(1) アメリカンフットボール(1)	衝撃吸収(4)
シンガード	2 サッカー(1) バレーボール用膝サポーター(1)	衝撃吸収(2)
エルボーサポーター	5 バレーボール(5)	衝撃吸収(5)
リストサポーター	5 特に種類なし	外傷予防(1), 摩擦軽減(5)
ニーサポーター	5 バレーボール(5)	衝撃吸収(5)
アングルサポーター	1 特に種類なし	外傷予防(1)

表 2 傷害発生部位と傷害発生機序

	体 幹			上 肢			下 肢			合計 件(%)
	頸部	肋骨	腰部	肩関節	肘関節	手指	大転子	膝関節	足関節	
急性外傷	1	1			1	2	1		2	8(57.1%)
オーバーユース		1	1	3				1		6(42.9%)

競技年数は 7.4(SE 1.5)年, 最高競技年数は 11 年, 最低競技年数は 2 年で, 平均日本代表経験年数は 6.8(SE 1.5)年, 最高経験年数は 11 年, 最低経験年数は 1 年であった。

### 1-2-2. プロテクターの使用状況

プロテクターの使用状況を表 1 に示した。エルボーサポーター, ニーサポーター, リストサポーターはすべての選手が装着しており, チェストプロテクター, ヒッププロテクターは 5 名中 4 名の選手が装着していた。また, ゴールボール専用プロテクターが存在しないため, 野球やバレーボール等のプロテクターを使用している選手もいた。野球のプロテクターを使用している選手は投球時に股関節屈曲がしやすいようにプロテクターの長さを短くし, また,

バレーボール用の膝サポーターをシンガードとして使用している選手もいた。プロテクターやサポーターの装着目的については, コート床面やボールに対する衝撃吸収が最も多く, リストサポーターでは全選手がコート床面との摩擦の緩和を挙げた。

### 1-2-3. スポーツ傷害歴

ゴールボール競技を始めてからのスポーツ傷害歴は 5 名中 4 名で, 上肢に 6 件(42.9%), 体幹に 4 件(25.0%), 下肢に 4 件(25.0%), 計 14 件であった。発生機序は, 急性外傷が 8 件(57.1%), オーバーユース 6 件(42.9%)であった(表 2)。プロテクターやサポーターをしていたにもかかわらず受傷した件数は 8 件中 3 件だった。また, プロテクター装着は可能な部位だが, 受傷時は非装着だった受傷例が 2

表 3 専用プロテクターに求める機能  
(単位:点)

	安全性	動作性	快適性	反発性
選手①	2	4	3	1
選手②	3	4	2	1
選手③	1	2	3	4
選手④	2	3	1	4
選手⑤	1	4	3	2
合計	9	17	12	12

件あり、いずれもプロテクターやサポーターを装着していれば受傷しなかったと選手は考えていることが明らかとなった。

#### 1-2-4. 現在のプロテクターに対する不満

現在、使用しているプロテクターに対し、選手が不満に思っている点は、暑い(2名)、ボールを弾いてしまう(2名)、動きにくい(1名)、着脱が面倒(1名)、コンパクトでなくかさばる(1名)、重い(1名)、通気性が悪い(1名)、シンガードにアンクルサポート機能がない(1名)という回答だった。すなわち、多い順に、動作性、快適性、反発性に関する回答となり、痛みに関する回答はなかった。選手は痛みなら我慢すれば良いが、それ以外の項目については競技性に関わると考え、重要視していることが示唆された。

#### 1-2-5. ゴールボール専用プロテクターに求める機能

プロテクターの機能については、プロテクターに関する先行研究<sup>1-6)</sup>から安全性、動作性、快適性の3つを抽出し、優先順位を調査したところ、低反発性も重要な機能であり選択肢に加えるべきだ、とする意見が複数の選手から出された。そのため、選択肢を①安全性、②動作性、③快適性、④

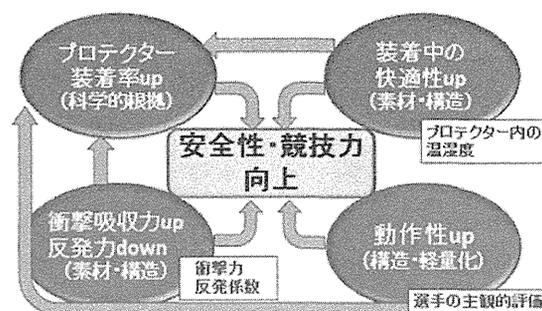


図 2 プロテクター開発コンセプト

低反発性、の4つに変更し、再度、優先順位を1点から4点で点数化して回答を求めた。選手が最も優先するプロテクターの機能は動作性であり、次に同点で快適性と低反発性、最下位に安全性であった(表3)。しかし、これらすべての機能が備わったプロテクターがゴールボール専用のプロテクターであって、優先順位を決めるのは非常に難しい、と回答した選手もいた。

#### 1-2-6. 調査結果によるプロテクター開発コンセプト

調査によって把握した現状とニーズからプロテクター開発コンセプトを以下のように整理した。

- ① 安全性 (衝撃吸収性)
- ② 動作性
- ③ 快適性
- ④ 低反発性

また、これらコンセプトを実現し、科学的根拠を示すことによってプロテクターの装着率アップも期待できると考えられる(図2)。

#### 1-3. 考察

ゴールボールはロンドンパラリンピックでも受傷率の高い競技の1つで、受傷率の高い競技に的を絞って傷害予防の介入を实

施すべきであるとの報告<sup>7)</sup>がある。視覚障害者競技においては急性外傷よりもオーバーロードによる傷害発生率が高いとする報告<sup>8)</sup>があるが、ゴールボールは急性外傷の割合が高いとする報告<sup>7)</sup>もある。本調査においてもオーバーユース 6 件に対し、急性外傷 8 件と、急性外傷による傷害発生率の方が高かった。傷害発生部位については、視覚障害者スポーツにおけるスポーツ傷害は下肢に多く発生するという報告<sup>8)</sup>があるが、2008 年に開催された北京パラリンピック以降、日本代表ゴールボール選手には下肢へのスポーツ傷害は発生していないとする報告<sup>9)</sup>もある。本調査では傷害発生時期を限定していないが、傷害発生部位は体幹 4 件、上肢 6 件、下肢 4 件となり、下肢は体幹と並び、上肢に比べ傷害発生件数が少なかった。本調査は調査対象者数も少ないため結論を述べるまでには至らないが、ゴールボールのスポーツ傷害は視覚障害者の障害特性によるものではなく、競技特性によるものであることが示唆された。

ゴールボールにおける急性外傷についての調査では、受傷件数 8 件のうち、プロテクターやサポーターを装着していたにもかかわらず受傷した例が 3 件発生しており、選手が現在使用している他競技のプロテクターやサポーターがゴールボール競技を行う上での安全性を確保しているのか疑問が持たれた。プロテクターやサポーターの装着率向上がスポーツ傷害予防への課題であると考えられるが、ゴールボールの競技特性に適したプロテクターやサポーターを開発することは、安全性ばかりでなく、装着率の向上にもつながり、スポーツ傷害の予防に効果的手段であると考えられる。

現在使用中のプロテクターに対する不満要因からゴールボール専用プロテクターに必要な機能について調査したところ、動作性が最も必要な機能であり、安全性については必要性が低い結果となった。これは、本調査がトップアスリートである日本代表選手を調査対象としたことによるものであり、選手は「勝負にこだわりたい」と思う気持ちが強く、多少の痛みなら我慢すればいいが、プロテクターやサポーターの装着によって競技力が低下するのは容認できない、と考えていると推察される。しかし、プロテクターやサポーターは競技上必要なものであると選手全員が考えており、必要とする理由については 5 人中 4 人の選手が「痛み」に関連することを挙げていた。これは、プロテクターの基本的機能がスポーツ傷害の予防というよりもむしろ痛みの軽減と選手は考えていることが示唆された。

## 2. 衝撃吸収材の選定

プロテクターの基本的機能は痛みの原因である衝撃の緩和であり、用いる衝撃吸収材に大きく影響を受ける。そこで、衝撃吸収材の選定のために、材料試験を行った。材料試験には振り子にゴールボールを取り付けた自作試験機(図 3)を用いた。一般的な衝撃試験機では振り子に鉄球が使用されているが、自作試験機の振り子にゴールボールを取り付けた理由は、天然ゴム製のゴールボール自体が衝撃の吸収効果を持つことが考えられるため、より現状に近似した環境を再現したものである。材料試験によって評価を行うのは、ゴールボール専用プロテクターに求める機能のうち、

- ① 安全性(評価指標: 衝撃力)

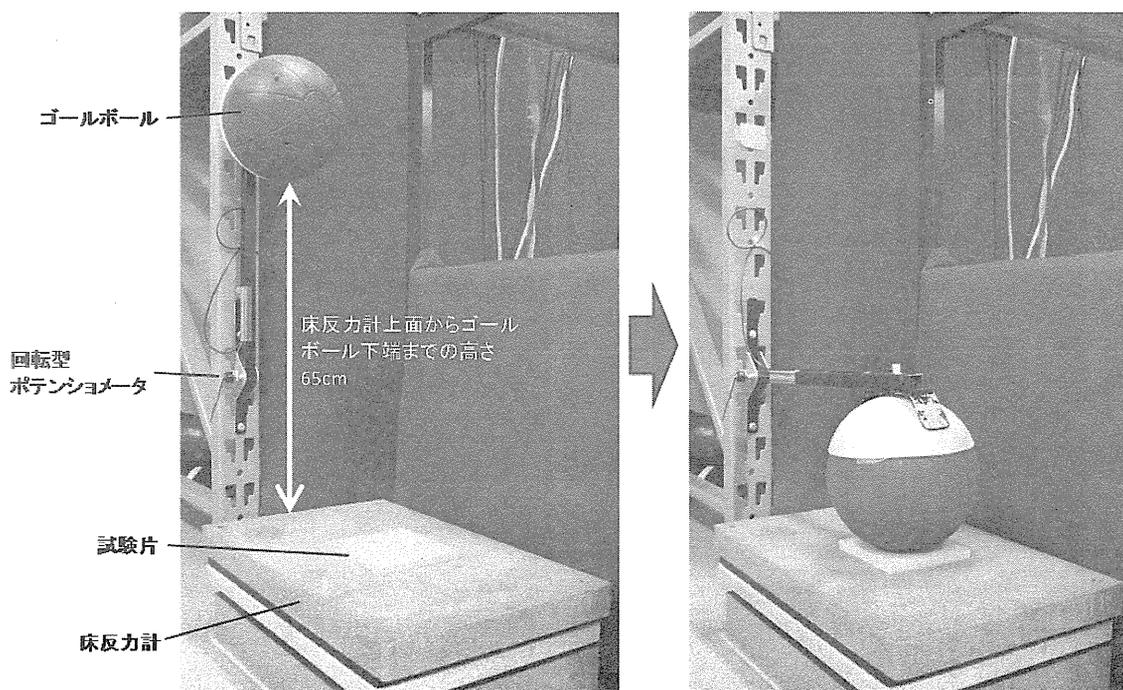


図 3 倒立振り子式衝撃試験機

② 低反発性（評価指標：反発係数）

③ 動作性・軽量性（評価指標：密度）とした。これらの評価によって、ゴルフボール専用プロテクターに適した衝撃吸収材を選定した。

### 2-1. 方法

自作の倒立振り子式衝撃試験機は、500mmのスウィングアーム(振り子)がヒンジ式の回転軸まわりに約 90 度回転する構造とした。スウィングアーム回転軸およびその固定についてはボールの重量による落下時の衝撃に十分に耐えるだけの剛性をもたせた設計とした。

振り子の回転中心に回転型ポテンシオメータ（緑測器製 CP-2FCB）を取り付けて跳ね返り角度を計測し、振り子の衝突部位には床反力計（キスラー社製 9281B）を設置して衝撃力を計測した。サンプリング周波

数 1000Hz、試行回数は各試験片につき 6 回とした。回転型ポテンシオメータと床反力計のデータは LabChart（AD Instruments 社製）を使用して同期化し、記録、解析を行った。

試験片には装具の内貼りの素材として一般的に用いられている①フェルト、② PE-Lite、③Plastazote、④EVA、⑤PPT、⑥ 低反発フォーム、⑦スチレンビーズ（直径約 2~3mm）クッション、を用いた（表 4）。なお、試験片の大きさは 1 辺の長さ 150mm、厚さ 12mm とした。また、比較の基準値とするため、「試験片なし」の条件で同様に計測を行った。

表 4 試験片の種類

	素材名	主な原料	衝撃吸収原理
①	フェルト	羊毛	不織布
②	PE-Lite	ポリエチレン系	独立気泡
③	Plastazone	ポリエチレン系	独立気泡
④	EVA	ビニル系	独立気泡
⑤	PPT	ポリイソシアネート系	独立気泡
⑥	低反発フォーム	ポリウレタン系	連続気泡
⑦	スチレンビーズ	ポリスチレン	粉粒体

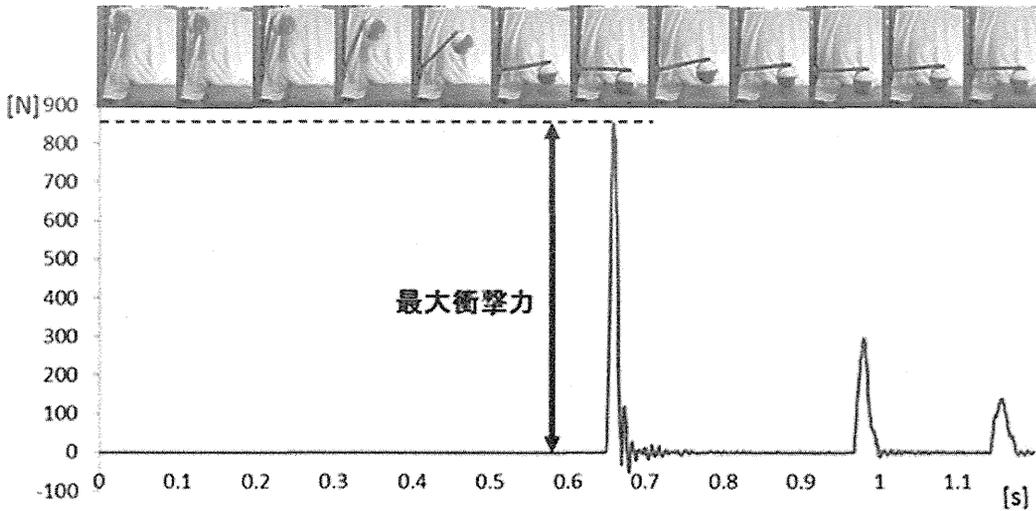


図 4 床反力計による衝撃波形の例と最大衝撃力の定義

波形の第1ピーク値を最大衝撃力とした。

上部の連続写真は、衝撃波形に対応する振り子の様子である。

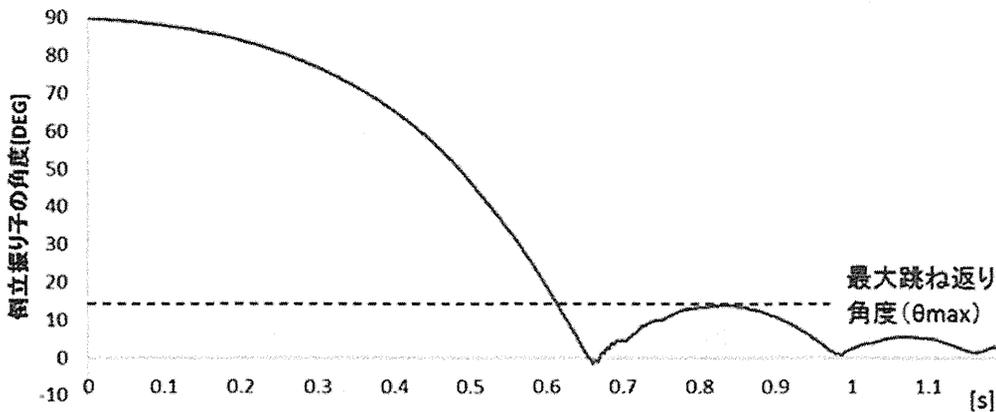


図 5 回転型ポテンシオメータによる倒立振り子の角度と最大跳ね返り角度の定義

波形の第1ピーク値を最大跳ね返り角度とした。

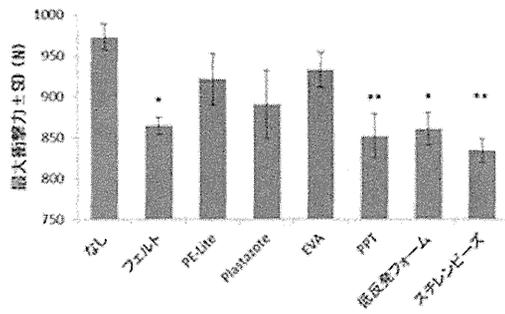


図 6 最大衝撃力

「\*」は「試験片なし」の条件との有意差を示す。  
(\*: P<0.05, \*\*: P<0.01)

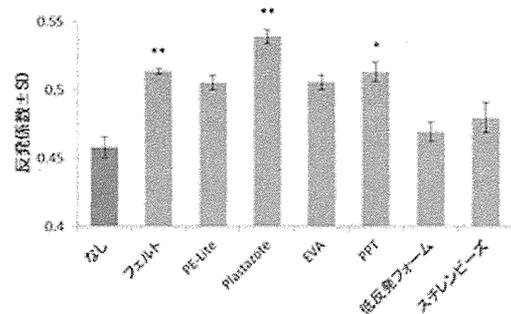


図 7 反発係数

「\*」は「試験片なし」の条件との有意差を示す。  
(\*: P<0.05, \*\*: P<0.01)

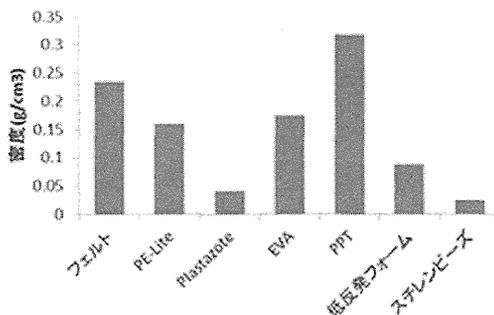


図 8 密度

一般に、衝撃力の波形特性を評価する場合には、①最大衝撃力、②最大衝撃力到達時間、③衝撃継続時間、④荷重速度、⑤衝撃関数の形状、⑥力積などが指標として用いられるが<sup>10, 11)</sup>、人体への衝撃減衰能を評価する指標としては最大衝撃力が用いられることが多い<sup>12, 13)</sup>。本研究においても、ゴールボール衝突時におけるプロテクターを介して選手に伝わる衝撃力を比較することが目的であり、最大衝撃力を評価の指標として、床反力計で計測したピーク値を最大衝撃力とし、反発係数は計測した跳ね返り角度から算出した。

軽量性を比較するため、各試験片の重量を体積で除し、密度の算出を行った。最大衝撃力と反発係数については、統計ソフト SPSS Statistics 21 (日本 IBM) を用いて

Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

## 2-2. 結果

各試験片における最大衝撃力、反発係数をそれぞれ図 6、図 7 に示す。最大衝撃力はスチレンビーズ、PPT、低反発フォーム、フェルトの順に低い値を示し、反発係数は低反発フォーム、スチレンビーズ、PE-Lite、EVA の順に低い値を示した。スチレンビーズと低反発フォームが最大衝撃力、反発係数ともに低い値を示し、ゴールボール衝突時の衝撃吸収性や低反発性に優れていることが示唆された。密度はスチレンビーズ、Plastazote、低反発フォームの順に低く、特にスチレンビーズは低反発フォームの 3 倍以上低い値を示した (図 8)。最大衝撃力

と反発係数との Spearman の順位相関係数は  $r=-0.16$  で、相関はみられなかった。

以上の結果をまとめると、衝撃力、反発係数ともにスチレンビーズと低反発フォームが低い値を示したが、密度はスチレンビーズが低反発フォームに比べ約 3 倍低い値を示した。

### 2-3. 考察

スチレンビーズと低反発フォームは衝撃吸収性および低反発性に優れた値を示した。発泡樹脂の試験片のうち低反発フォームが優れた値を示したのは、低反発フォームが独立気泡ではなく特殊な連続気泡を有しており、ゴールボール衝突時の弾性つまり気泡内の気体圧縮及び復元が発生しにくい性質によると考えられる。スチレンビーズが優れた値を示したのは、それぞれのビーズが自由運動することで衝撃吸収を行う粉粒体の特性であると考えられる。また、スチレンビーズは粒径が大きいことから粒子間力は小さい。そのため、ゴールボール衝突後の変形に対する復元力が弱く、低反発性に優れた値を示したと考えられる。

衝撃吸収性と低反発性との相関について、比例するとの報告もあるが<sup>14)</sup>、衝突物の物性によって異なるとするものもある<sup>13)</sup>。本計測で衝撃吸収性と低反発性との相関がみられなかった原因として、衝撃試験機における衝突物が重錘や鉄球ではなくゴールボールであり、衝撃吸収が試験片によるのみ行われたのではなく、天然ゴム製のゴールボールによるゴム弾性が衝撃吸収に作用した可能性が考えられる。また、「試験片なし」の条件において、最大衝撃力が全条件の中で最も大きな値を示しているのに対し、

反発係数は最も小さな値を示していることから、衝撃によるゴールボールの変形量が反発係数に影響を及ぼしている可能性が示唆される。しかし、本計測ではボールの変形量を計測していないため、結論を述べるまでには至らない。

ゴールボールを衝突物として同様に最大衝撃力を計測する材料試験の結果が報告されているが<sup>15)</sup>、本計測の方が高い最大衝撃力を示した。この原因として考えられるのは気温の差である。ゴムやプラスチックなどの高分子物質は温度依存性が高く、温度が高くなると分子間力が弱くなり、分子の自由運動が活発化する。分子の自由運動は高分子物質の粘弾性に関係し、ゴムではゴム弾性に関係する。本計測は12月に実施したため計測室の室温が低く、試験片の粘弾性やゴールボールのゴム弾性が低下したことから衝撃吸収性も低下し、結果的に最大衝撃力が増したものと推察される。また、弾性が低下するという事は、元の形状への復元力が低下するという事でもあることから、低い室温下では反発係数が低い値を示すことが考えられる。これらの結果は、プロテクターの衝撃試験を夏に実施する場合と冬に実施する場合とで結果が異なることを示唆しており、特にプラスチックやゴムなどの高分子物質は気温によって特性が左右される場合も多く、高分子物質を用いたプロテクターの評価は高温環境と低温環境の双方で実施するべきであると考えられる。

ゴールボール専用プロテクターに必要な機能として動作性も重要であることは前項で述べたが、動作性にプロテクターの適合は必須である。スチレンビーズと低反発フ

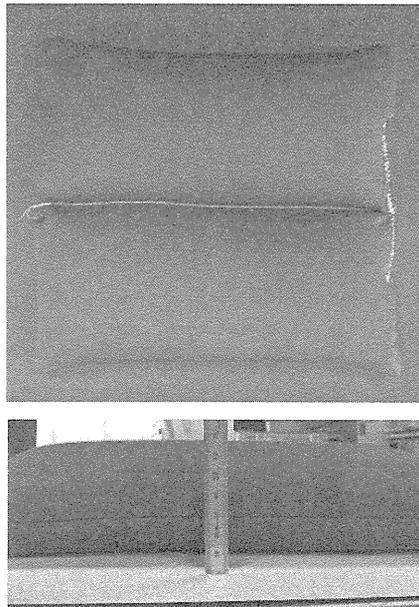


図 9 計測に用いた試験片  
 (上段) 2セルに分けた試験片  
 (下段) 平均厚さは68mmとした

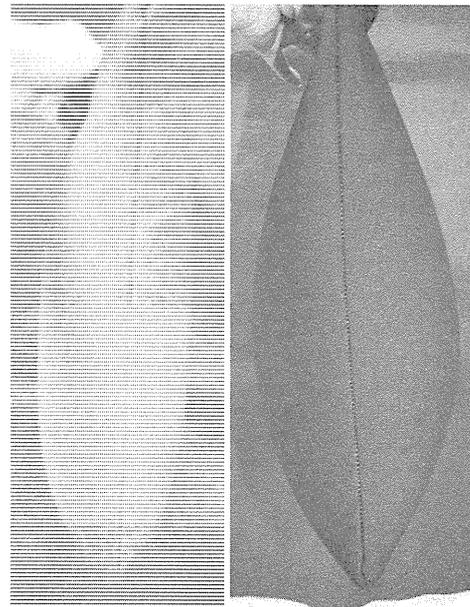


図 10 スチレンビーズの偏り  
 (左) 2セル (右) 1セル

フォームのいずれが身体形状に適合しやすい材料かを考えると、シート材である低反発フォームに比して粉粒体であるスチレンビーズの方が形状変化に追随しやすく、装着する選手の体型に適合すると考えられる。また、プロテクターの軽量性を実現するには、低反発フォームよりスチレンビーズの方が適しており、本研究におけるプロテクターの衝撃吸収材には主にスチレンビーズを採用した。

### 3. プロテクターの試作

#### 3-1. 粒径によるスチレンビーズの選択

##### 3-1-1. 方法

計測方法は、「2. 衝撃吸収材の選定」で述べた衝撃試験と同様の方法とした。各試験片に注入するスチレンビーズを粒径別に①マイクロビーズ (粒径 0.5~1mm)、②ミニビーズ (粒径 2~3mm)、③デカビーズ (粒径 6mm 前後) とした。被覆材は1方向のみ

の伸縮性をもつポリエステル生地とし、1辺 350mm 四方のポリエステル生地 2 枚を縫い合わせたものを 2 つのセルに分け、それぞれのセルに平均厚さ 68mm となるように各ビーズを注入した (図 9)。各ビーズを 2 つのセルに分割して注入することによって、スチレンビーズの移動と偏りによる厚みと形状の変形を防止した (図 10)。結果は SPSS Statistics 21 (日本 IBM) を用いて Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

##### 3-1-2. 結果

結果を図 11, 図 12 に示す。最大衝撃力、反発係数ともにマイクロビーズが最も低く、マイクロビーズとデカビーズの間には有意差が認められた ( $P < 0.01$ )。また、粒径が大きくなるほど最大衝撃力および反発係数も大きな値を示す傾向がみられた。

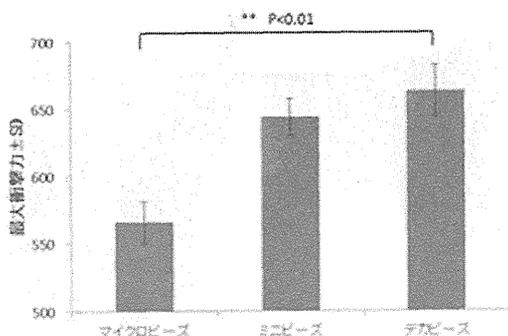


図 11 最大衝撃力 (粒径別)

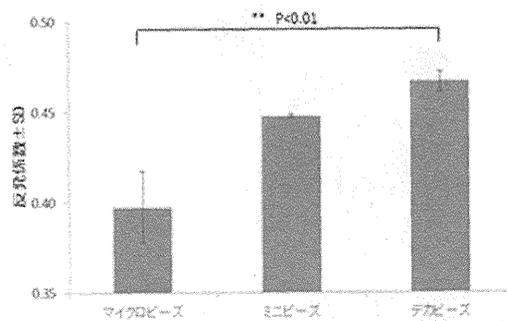


図 12 反発係数 (粒径別)

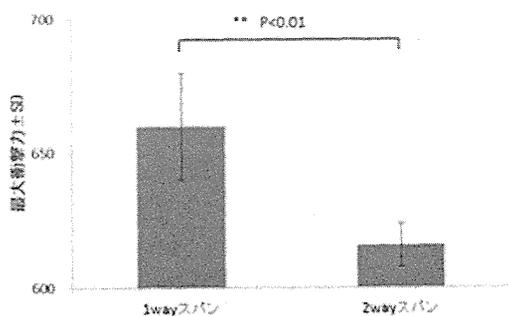


図 13 最大衝撃力 (被覆材別)

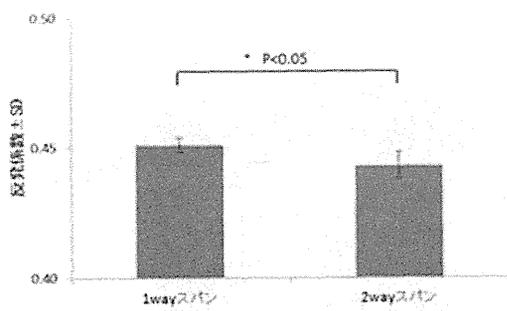


図 14 反発係数 (被覆材別)

### 3-1-3. 考察

計測結果から、3つのビーズの中ではマイクロビーズが最大衝撃力、反発係数ともに最も小さな値を示し、プロテクターとしての機能に最適であると考えられる。しかし、マイクロビーズは粒径が小さく、被覆材に少しの傷でもあればマイクロビーズが外に漏れ出してしまう危険性が高い。ミシン針の太さとマイクロビーズの粒径はほとんど同じで、ミシンの縫い目を強く引っ張るとマイクロビーズが外に漏れ出した。本研究で試作するプロテクターを用いる選手は視覚障害を有しているため、ビーズが漏れ出す傷があっても気づきにくく、競技中に破損すればビーズが床に散らばり、非常に危険である。したがって、プロトタイプのプロテクターに用いるスチレンビーズはミニビーズ (粒径 2~3mm) が妥当と考えら

れた。

### 3-2. 被覆材の選択

#### 3-2-1. 方法

一般にビーズクッションの被覆材には伸縮性をもつポリエステル生地が用いられるため、本計測においてもポリエステル生地を用いることとした。伸縮性ポリエステル生地は編み方と伸び特性により、1方向にのみ伸縮性を持つもの (1way スパンテックス) と2方向に伸縮性を持つもの (2way スパンテックス) がある。本計測では、①1way スパンテックスと②2way スパンテックスを被覆材に用いた場合の衝撃吸収性を定量化した。試験片は 170mm×340mm に切った被覆材 2枚を縫い合わせ、2セルに分割し、それぞれのセルにミニビーズを注入した。ビ



図 15 投球動作中リリース時  
軸足側股関節は深屈曲している

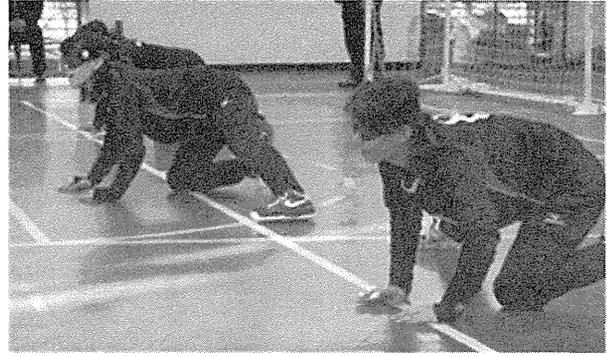


図 16 ディフェンス時の構え  
股関節は深屈曲している

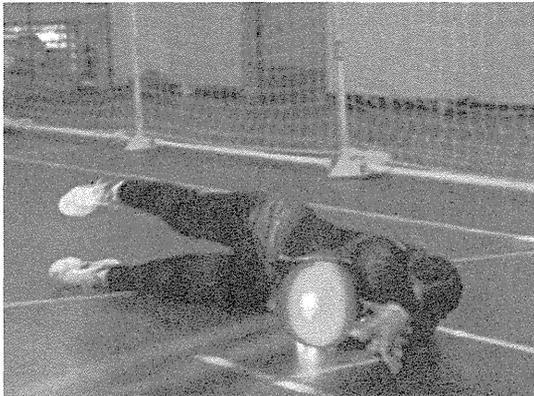


図 17 ボールのブロック動作  
腋窩レベルより頭側のボールは体幹部  
ではなく上肢でのブロックとなる

ーズの注入量は、セルの容積にミニビーズのかさ密度  $0.015\text{g}/\text{cm}^3$  を乗じたものとした。

### 3-2-2. 結果と考察

結果を図 13, 図 14 に示す。最大衝撃力、反発係数ともに 2way スパンテックスが有意に低かった。1way スパンテックスではスチレンビーズの衝撃吸収に係る移動を許容できないことが考えられる。したがって、試作プロテクターの被覆材には 2way スパンテックスが有効と考えられる。

### 3-3. デザインの検討

プロテクターのデザインは、動作性に関係すると考えられる。プロテクターの基本的機能である安全性を確保しながら、オフense時の投球動作を妨げないトリミングラインを設定しなければならない。投球動作やディフェンス時の構えでは股関節が深屈曲するため(図 15, 16), 選手は野球用プロテクターを使用する場合, 下端を短く加工するなどして, 深屈曲動作を可能にしていた。試作プロテクターについても股関節深屈曲動作を妨げないように, 前額面下縁は現在使用している野球用プロテクターと同じ臍レベルにトリミングラインを設定し

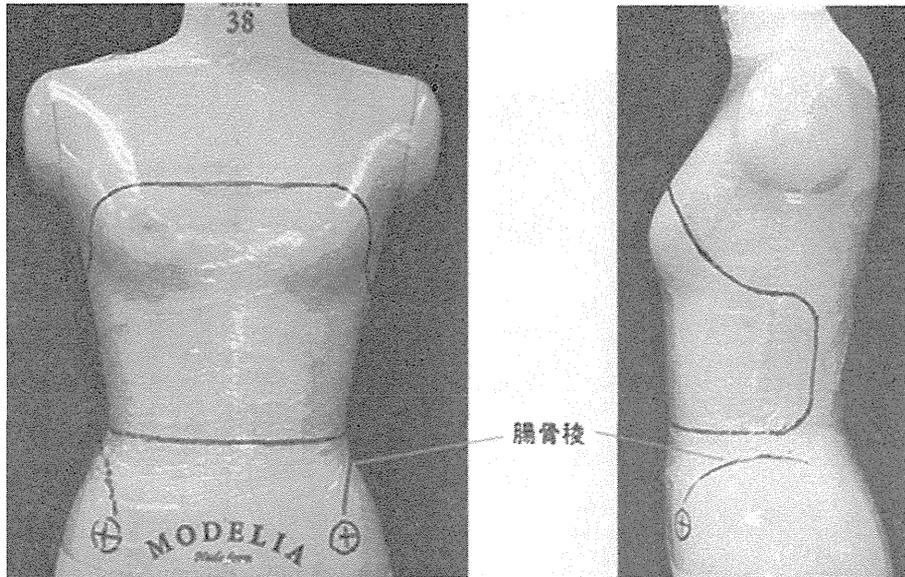


図 18 プロテクターのトリミングライン  
(左) 前額面, (右) 矢状面



図 19 側臥位における腸骨稜の除圧原理  
(左) 除圧しなければ, 床面と腸骨稜が衝突してしまう  
(右) 腸骨稜近位に衝撃吸収材を設置することで床面との衝撃を緩和することができる

た。また、ディフェンス時は肘関節が顔面の前方にくるまで両肩関節を屈曲、軽度内転させるため、腋窩レベルより頭側のボールは体幹部ではなく上肢でブロックすることになる(図 17)。そのため、腋窩部や鎖骨下部に直径 25cm のボールが衝突することは考えにくく、大きな肩関節の動きが可能になるよう腋窩のトリミングラインは遠位 10cm、前額面上縁のトリミングラインは腋窩レベルとし、腋窩のトリミングライン

と前額面上縁のトリミングラインを滑らかにつなぐこととした(図 18)。側方部下縁のトリミングラインについては、ディフェンス時に側臥位になることで発生する腸骨稜と床面との衝撃を緩和するように設定する必要がある。義肢装具の製作においては、接触による疼痛の軽減には、接触部ではなく接触部の周囲に緩衝材を取り付け、接触部を除圧するのが定説である。したがって腸骨稜が床面に接触しないようにするため



図 20 完成した試作プロテクター

に腸骨稜近位にトリミングラインを設定し、プロテクターの厚みでウエスト部のくびれを埋め、ディフェンス時の側臥位では腸骨稜でなく、プロテクターが床面に接触することで衝撃を緩和することとした(図 19)。

選手は競技時、プロテクターをインナーシャツとユニフォームの間に装着する。衣服 2 枚とプロテクターでは含気率が高くなり、衣服内環境が高温多湿になると考えられたため、プロテクターの緩衝材を T シャツに設けたポケットに挿入するタイプ(以下、T シャツ型)とした(図 20)。T シャツ型にするメリットは、アンダーシャツとプロテクターを一体化させることで重ね着する枚数が減ることのほかに、緩衝材が着脱できることで洗濯しやすくなること、コンプレッションシャツにすれば吸汗性に優れ、疲労が少なくなること、などである。

#### 4. 試作プロテクターの力学的評価

##### 4-1. 方法

「2. 衝撃吸収材の選定」で実施した衝撃

試験機による計測と同じ方法を用い、最大衝撃力と反発係数を計測した。計測対象は、①従来型プロテクター、②試作プロテクター、である。比較対照のためにプロテクターを使用しない場合(以下、「プロテクターなし」とする)も計測し、最大衝撃力および反発係数について、SPSS Statistics 21(日本 IBM)を用いて Kruskal-Wallis 検定およびペアごとの比較を行った。

##### 4-2. 結果

最大衝撃力、反発係数について計測した結果をそれぞれ図 21、図 22 に示す。最大衝撃力は試作プロテクターがプロテクターを使用しない場合と比較し、有意に低い値を示した( $P < 0.01$ )。また、反発係数については従来型プロテクターがプロテクターなしの場合と比較し、有意に高い値を示した( $P < 0.01$ )。反発係数については、プロテクターを使用しない場合が最も低い値を示した。

従来型プロテクターは野球用プロテクタ

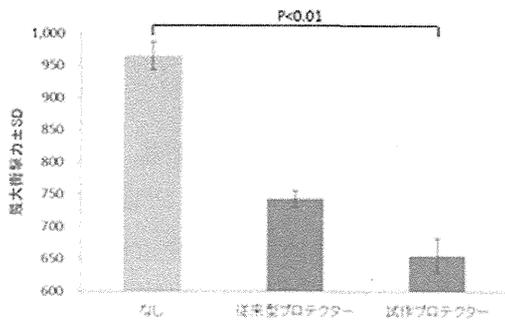


図 21 最大衝撃力 (プロテクター別)

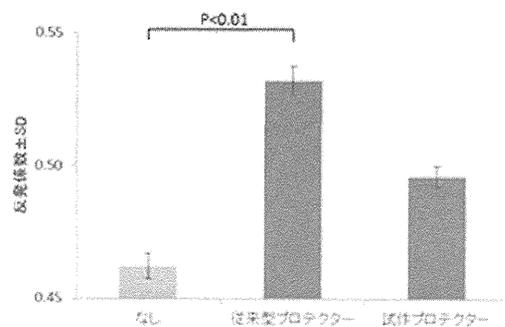


図 22 反発係数 (プロテクター別)

一を上下に短く改良したものであり、衝撃吸収材に EVA (エチレン酢酸ビニルアセテート) が用いられていた。本研究で、EVA は衝撃吸収性、低反発性ともにゴールボールの衝撃吸収材としては機能が低いと考えられた。本計測においても、EVA を衝撃吸収材として用いている従来型プロテクターは、衝撃吸収性、低反発性ともに試作プロテクターより性能が低かった。

#### 4-3. 考察

試作プロテクターについては、衝撃吸収性、低反発性ともにプロテクターなしと比較し、有意差が認められ ( $P<0.01$ )、従来型プロテクターに比して、明らかに効果が認められた。また、プロテクターなしの計測結果から、衝撃による変形量が大きい方が反発係数は小さくなることを示したが、試作プロテクターで最大衝撃力が小さく、反発係数も従来型プロテクターより小さい値を示したのは、衝撃によって移動したスチレンビーズの粒子は粒径が大きいことから粒子間力が小さく、元の場所に戻ろうとする復元力が小さいためと考えられる。

プロテクターなしでは、最大衝撃力は最も高い値を示すが、反発係数については最も低い値を示した。プロテクターなしでの

計測結果は、ゴールボールによってのみ影響を受けていることから、本計測結果はゴールボールの剛性に特徴があるためと考えられる。ゴールボールは力を加えることによって大きく変形するが、変形が大きくなれば大きくなるほど球形に復元しにくくなり (図 23)、一定の変形量を超えると復元しなくなる。野球のボールやゴルフボールは内部に芯材が入った中実球であるが、ゴールボールはバレーボールやテニスボールと同じく内部が空洞の中実球である。しかし、ゴールボールは内部の鈴の音がよく聞こえるように穴が上下各 4 か所に開けられているため、他の中空球のように空気圧で球形を維持することはできず、天然ゴムの

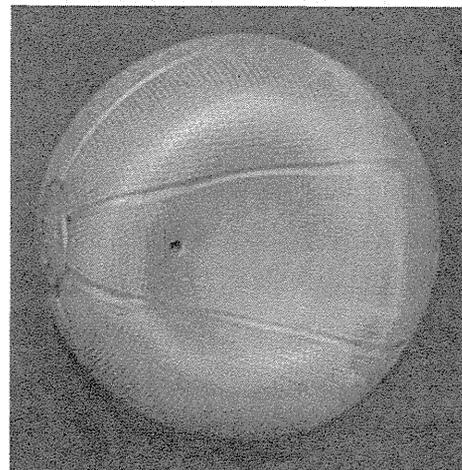


図 23 変形したボール

ゴム弾性により球形を維持している。したがって、強い衝撃力が加わることにより変形量が大きくなれば、復元能をゴム弾性のみ依存しているゴールボールでは反発係数が低くなることが考えられる。

## 5. 試作プロテクターの生理学的評価

### 5-1. 方法

#### 5-1-1. 着衣条件

計測の着衣条件を従来型プロテクターと試作プロテクターで同じにするため、試作プロテクターに用いたTシャツと同意匠、同サイズのを従来型プロテクターのアンダーシャツとして着用した。試作プロテクターと従来型プロテクターのアンダーシャツに用いたTシャツは、①A社製（87%ポリエステル，13%ポリウレタン）、②B社製（ポリエステル85%，ナイロン15%）の2種類とした。いずれのTシャツも吸汗・速乾機能を持つ高機能繊維が使用されており、ストレッチ機能を持っていた。それぞれのTシャツにおけるサイズの違いは縫製の上、補正した。その他の着衣条件についても共通とし、上半身は試作プロテクターまたは従来型プロテクターの上に野球用ユニフォームを着用し、下半身はショーツの上にハーフパンツ、ソックス、運動靴を着用した。

#### 5-1-2. 環境条件

計測は2013年8月8日から8月9日にわたって、環境温度28℃、相対湿度60%の一定環境に保たれた早稲田大学所沢キャンパス運動生理学実験室で実施した。被験者は日常的に運動を実施している27歳の健康な女子1名であった。運動にはエアロバイ

クを用い、心拍数110回/分となるように運動負荷を調整した。

#### 5-1-3. 計測箇所及び計測機器

計測箇所はプロテクターに覆われた胸部（胸骨剣状突起から2横指近位部）、腹部（臍から2横指近位部）、背部（両肩甲骨下角を結んだ中点）の3か所とした。計測箇所には身体皮膚表面にガーゼ1枚の上から温湿度計測用データロガー（KNラボラトリーズ製、測定範囲：-20℃～70℃，0%RH～95%RH）をセンサー部がプロテクター側を向くように伸縮テープで固定し、1分毎の温湿度を記録した。

#### 5-1-4. 計測手順

被験者は運動開始1時間前にトレッドミル室に入室し、30分後にデータロガーを取り付けた後、20分間の安静座位、エアロバイクによる運動10分、休憩5分、エアロバイクによる運動10分、休憩10分を実施し、この間の温湿度を計測した。また計測後にはすべての着衣を着替え、次の計測まで30分間の回復時間を置いた。1日2回の計測を実施し、2日間で4条件各1試行ずつの計測を行った。

## 5-2. 結果

温度変化を図24に示した。胸部温度は運動開始直後に上昇がみられ、腹部温度は計測開始から計測終了まで緩やかに上昇を続けたが、いずれの部位でも各条件間に差はほとんど見られなかった。しかし、背部温度ではグラフの波形は各条件で似た傾向を示すも、値にばらつきがみられ、試作プロテクターでは従来型プロテクターに比べ、

低い値を示した。

湿度変化を図 25 に示した。胸部と腹部については、従来型プロテクターで A 社のアンダーシャツを着用した条件における計測で、計測開始時に他の条件に比べてかなり低い値を示したが、胸部では 25 分後に、背部では 20 分後に他の条件と同じ湿度に収束した。各条件間でグラフの波形には特に違いが認められなかった。しかし、背部においては温度と同様にばらつきがみられ、従来型プロテクターと試作プロテクターとで異なる波形がみられ、試作プロテクターが従来型プロテクターに比べて低い値を示した。

### 5-3. 考察

温湿度ともに胸部、腹部では各条件間に差が認められなかった。身体活動時の衣服環境の不快感は、温冷感より湿潤感に依存するとの報告もあるが<sup>16, 17)</sup>、背部では試作プロテクターが従来型プロテクターに比して温湿度ともに低い値を示した。これらの原因は、試作プロテクターには背部バンドがないのに対し、従来型プロテクターには背部バンドがあるためと考えられ、少しの重ね着でも温湿度に影響を与えることが示唆された。

Tシャツの素材の違いに関しては温湿度ともに差がみられなかったため、本計測に用いた素材が同等の性能を持つことが考えられる。しかし、快適性はプロテクターを着用している選手の主観的評価によるところが大きく、肌離れなど着用している本人にしか分からない評価尺度<sup>18)</sup>もある。快適性については、選手の主観的評価の結果を待たずに結論を述べることはできないが、

本計測の結果から、素材の違いではなく重ね着の多さの方が衣服内環境に影響を及ぼしていると考えられる。

## 6. 試作プロテクターの主観的評価

### 6-1. 方法

ゴールボール日本代表女子選手 2 名に試作プロテクターを 2 週間貸与し、プロテクターに対する主観的評価を依頼した。選手の IBSA 視覚クラシフィケーション<sup>19, 20)</sup> (表 5) は 1 名が B1 (全盲)、1 名が B3 (視野狭窄) であった。対象者 2 名は、研究 (計測) 場所である国立障害者リハビリテーションセンターにおいて週 1 回、日常的に練習を行っており、試作プロテクターの装着説明や適合調整を行いやすかった。試着期間の 2 週間が経過した後に装着状況に関するインタビュー調査を実施した。インタビュー内容については録音したのち、安全性 (衝撃吸収性)、動作性、快適性、低反発性、装着しやすさ、の項目に分けてまとめることとした。

### 6-2. 結果

以下に選手の意見をまとめた。選手の意見を引用した部分については、ゴシック体で記載した。

#### 6-2-1. クラシフィケーション B1 選手

「試作プロテクターはプロテクター装着時に衝撃吸収材の脱着が必要であり、その作業は非常に困難だったため、装着できなかった。」と回答した。

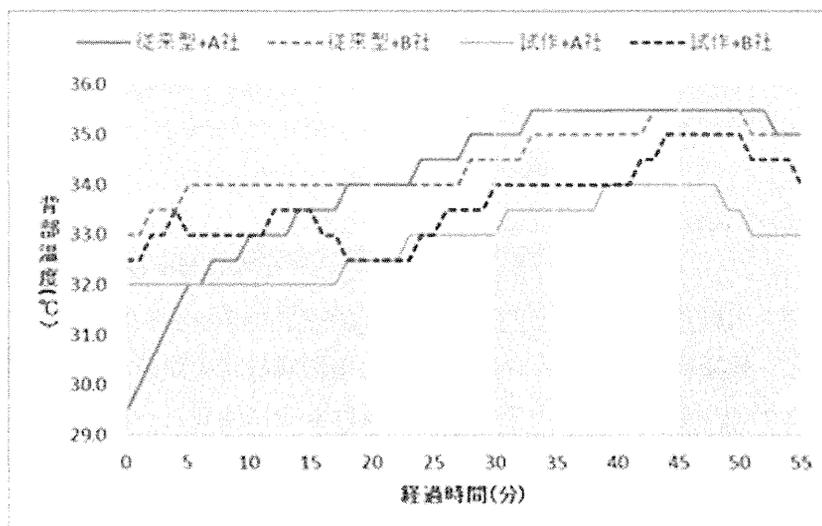
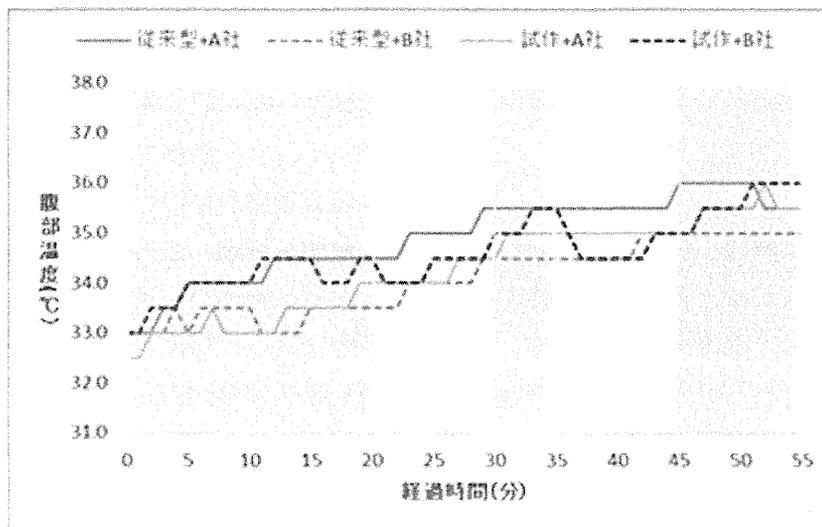
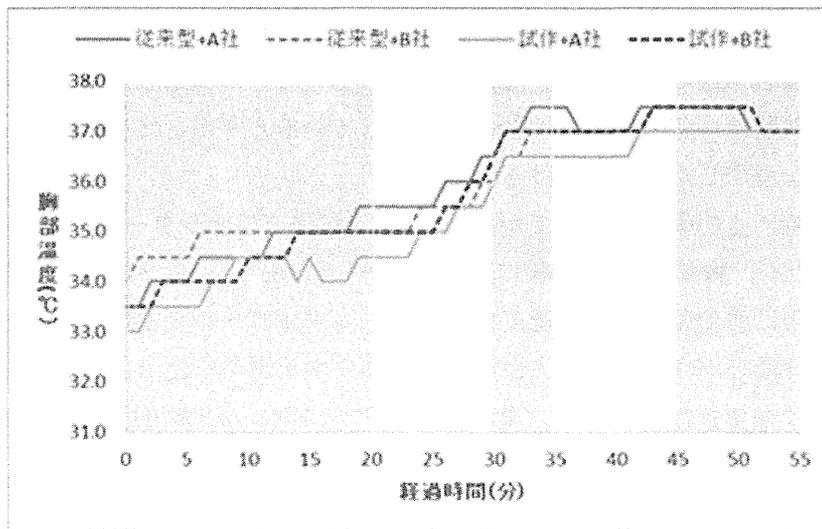


図 24 各部位における温度（水色の部分は休憩時間）  
 (上) 胸部, (中) 腹部, (下) 背部

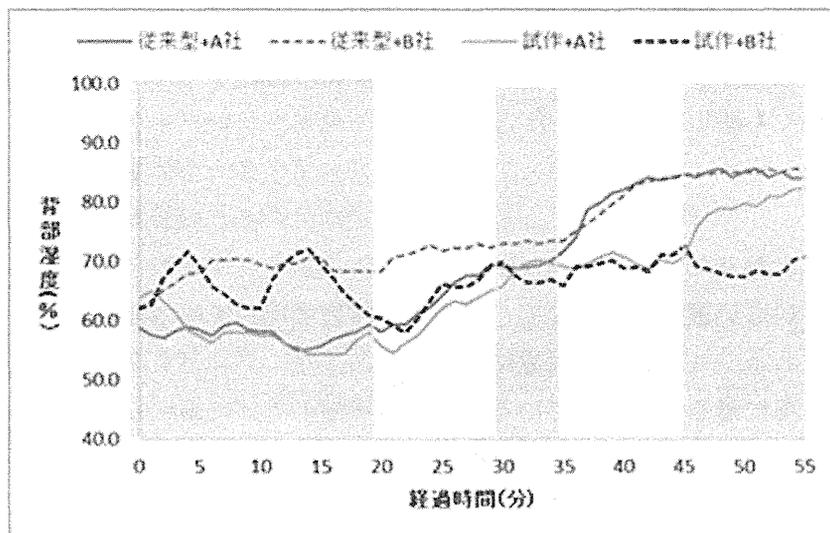
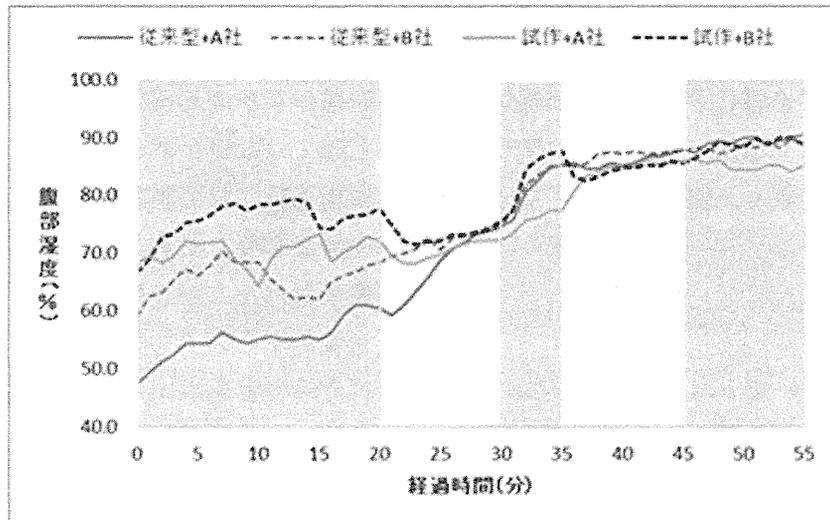
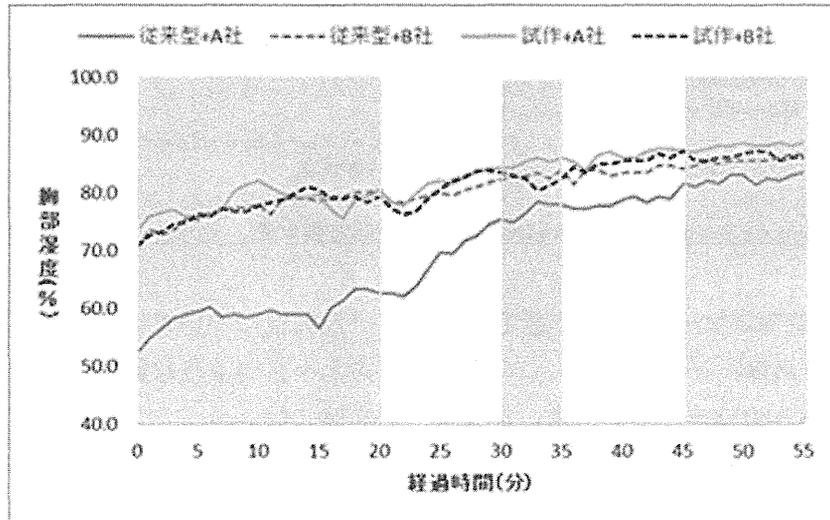


図 25 各部位における湿度（水色の部分は休憩時間）  
 (上) 胸部, (中) 腹部, (下) 背部

表 5 IBSA クラシフィケーション

B1	Visual acuity poorer than LogMAR 2.60. 視力が光覚より低いもの。
B2	Visual acuity ranging from LogMAR 1.60 to 2.60 (inclusive) and/or Visual field constricted to a diameter of less than 10 degrees. 光覚から視力0.03まで、かつ/あるいは視野狭窄半径5度未満。
B3	Visual acuity ranging from LogMAR 1.40 to 1 (inclusive) and/or Visual field constricted to a diameter of less than 40 degrees. 視力0.04から視力0.1まで、かつ/あるいは視野狭窄半径20度未満。

## 6-2-2. クラシフィケーション B2 選手

### (1) 安全性（衝撃吸収性）

「衝撃時の痛みの程度については、従来型プロテクターとあまり違いを感じなかったが、体幹部での感じ方、当たり方には違いを感じた。従来型プロテクターでは体幹全体に衝撃を感じるが、試作プロテクターではボールの形を感じる。どちらが痛いというより、今まで使用しているプロテクターとの違いが大きく、慣れが必要であると思う。」

### (2) 動作性

「プロテクターのトリミングラインについては、問題ないと思う。骨盤部や下腹部、大腿骨大転子部への衝撃はスパッツで対応できる。動作性については、当初腋窩部分に厚みを感じたが、プレイしていると全く気にならず、問題にならなかった。重くはなかったが軽くも感じられなかった。」

### (3) 快適性

「暑さは感じなかった。コンプレッションシャツは着ていない選手も多くいて、選手自身もコンプレッションシャツは夏に着ると暑いので、冬に着るようにしている。コンプレッションシャツに少し硬めの波状材は着心地としては良くなかった。」

### (4) 低反発性

「反発性については、試作プロテクターの方が小さいような気もするが、あまり違いを感じない。」

### (5) 装着しやすさ

「アンダーシャツに衝撃吸収材を取り付けるタイプだと、着替えの度に衝撃吸収材の脱着作業が増える。晴眼者であればそれほど苦ではないかもしれないが、視覚障害者に衝撃吸収材の脱着作業は困難であるため、改善が必要である。ビブスに衝撃吸収材を取り付けた方が着替えのたびに衝撃吸収材を脱着する必要もなくなるのではないか。視覚障害者選手に今までの方法とあまりに異なる着用方法を求めるのは、（視覚による情報収集ができないことから）難しいと思う。」

## 6-3. 考察

視覚クラシフィケーション B1 の選手がプロテクターを装着しなかったのは、試作プロテクターの装着には衝撃吸収材の取り付けという作業が必要であり、かつ、視覚障害者選手には困難な作業であったためであった。プロテクターの洗濯についても、洗濯のたびに衝撃吸収材を脱着しなければならず、視覚障害者には困難である。したがって、できるだけ洗濯を必要としない、あるいは洗濯方法が簡便なプロテクターが必要とされていることが明らかとなった。

ゴールボール日本代表選手は全員 ADL が自立しており、ゴールボールに関する身の回りの準備や片付けなどは選手自身で行う。そのため、全盲の選手でも扱いやすいプロテクターを製作しなければ、装着率の向上は望めないと考えられる。

衝撃吸収性に対する評価が低かったのは、従来型プロテクターが主に衝撃（圧）分散構造により衝撃力を減衰しているのに対し、試作プロテクターは主に衝撃（圧）吸収構造により衝撃力を減衰しているためだと推測する。衝撃力の減衰には、原理の異なる 2 つの材料を組み合わせ使用したほうが良いとする報告もあり<sup>12)</sup>、スチレンビーズだけではなく衝撃分散構造を持つ材料を併用することが有効であると推測される。

コンプレッションシャツが使用されていないことの理由について考えられるのは、情報の不足である。今回インタビュー調査を実施した視覚クラシフィケーション B2 の選手は、コンプレッションシャツに吸汗・速乾性があるため主に夏のスポーツに使用されていることや、疲労の軽減効果があることを知らなかった。視覚障害者は視覚的な情報入力がない、あるいは少ないために、指導者側からのスポーツ用具等の情報発信も重要であると考えられる。

選手の主観的評価から、トリミングラインや動作性に問題はないものの、衝撃吸収性、着心地、装着しやすさに問題がみられた。また、衝撃吸収材は脱着式ではなく、取り付けのまま使用できるように改善し、衝撃吸収性の向上についても材料のハイブリッド方式など、さらなる工夫が必要と考えられた。

## C. 総合考察

本研究では、ゴールボール専用プロテクターの開発を目的として、プロテクターに必要な機能についての調査、プロテクターに使用する衝撃吸収材についての材料試験、プロテクターの試作・評価を実施した。そこで得た結果についての考察を以下のとおりまとめる。

ゴールボール専用プロテクターに求められる機能は、インタビュー調査の結果から、①安全性（衝撃吸収性）、②動作性、③快適性、④低反発性とし、試作・評価を進めてきた。一般的にプロテクターの基本的機能は文字どおり身体の保護であると考えられるが、選手がゴールボール専用プロテクターに期待しているのはそれら安全性ではなく、動作性や低反発性などの競技性に直結するものだった。しかし、選手がプロテクターを必要としている理由は、プロテクターの機能として求められなかった「痛みの軽減」に関することがほとんどであり、選手自身もプロテクターの基本的機能が「痛みの軽減」だと考えていることが推察される。本研究の対象者がロンドンパラリンピック日本代表女子選手だったために、勝利という結果を求める傾向が強く見られたと考えられるが、スポーツ傷害の受傷により、競技パフォーマンスの低下や選手生命に危機が及ぶ可能性もある。スポーツ基本法の理念である障害者スポーツの競技水準の向上を実現するためには、選手の安全性を確保しつつ、選手の求める機能をプロテクターに付加する必要性が認められた。

しかし、プロテクターに求められるものはゴールボールに特化した機能だけではなく、装着のしやすさや手入れのしやすさな

ど、視覚障害を持った選手が扱うモノとしての機能も重要である。本研究で追求したゴールボール専用プロテクターの機能は、プロテクターを装着して初めて効果を発揮できることから、装着のしやすさ、手入れのしやすさなどはプロテクターの4つの機能以上に実現しなければならない条件であることが明らかとなった。

プロテクターに使用する衝撃吸収材はプロテクターの機能のうち、衝撃吸収性、低反発性に大きく影響するが、本研究では、自作の衝撃試験機による材料試験の結果から、スチレンビーズを使用することとした。スチレンビーズの粒径は小さいほど最大衝撃力が小さく、反発係数は小さいことが明らかとなった。粉粒体は、粉粒体を構成している粒子の粒径が小さくなるほど粒子間力は大きくなることから、粒径0.5~1mmのスチレンビーズは衝撃吸収のための粒子の移動が適度に行われていることが考えられ、逆に粒径が大きいスチレンビーズでは粒子の移動が大きくなり、ボールが底付きしたものと考えられる。しかし、粒径の小さなスチレンビーズは加工性が悪く、被覆材から流出するという破損可能性も高いため、本研究では粒径2~3mmのスチレンビーズの採用が妥当だと判断した。

ゴムやプラスチックなどの高分子物質は、一般に温度依存性が高いとされており、粘弾性やゴム弾性は低温環境下で低下する。本研究の計測においても冬季の計測の方が最大衝撃力は大きくなることが示唆されたが、天然ゴム製のゴールボールや高分子物質である発泡樹脂製の衝撃吸収材は、低温環境下では弾性が低下し、衝撃吸収性が低下することが考えられる。しかし、本研究

で採用したスチレンビーズは粒子であるビーズの移動によって衝撃を吸収していることから、温度変化による影響を受けにくいと考えられる。さらに詳細な計測が必要ではあるが、スチレンビーズは気温に左右されず、安定した衝撃吸収性能を持つ素材であると考えられた。

スチレンビーズの被覆材については、1方向に伸縮する生地に対して2方向に伸縮する生地の方が衝撃吸収性及び低反発性に優れた値を示したが、このことからスチレンビーズの粒子間力を被覆材が補完していると考えられる。すなわち、スチレンビーズの移動量は被覆材の伸縮性に影響を受けるため、伸縮性をもたない被覆材では粉粒体の粒子の移動という特性を活かすことができないと考えられた。したがって、本研究では2方向に伸縮するポリエステル生地を被覆材として採用した。

試作プロテクターはプロテクターを使用しない場合に比べ、最大衝撃力が有意に減少し、従来型プロテクターと比べても最大衝撃力、反発係数がともに減少していた。したがって数値的には試作プロテクターが従来型プロテクターに比して、ゴールボール専用プロテクターとしての機能が高いという結果だったが、選手の主観的評価は、痛みの程度については従来型プロテクターとの違いをあまり感じず、低反発性についてもあまり違いを感じない、というものだった。また、衝撃を感じる範囲について、試作プロテクターと従来型プロテクターでは大きく異なるという評価だった。衝撃を感じる範囲が異なるのは、スチレンビーズを主な衝撃吸収材とする試作プロテクターは圧吸収によって衝撃を吸収しているのに