Copyright Ⓒ 2013 一般社団法人 日本機械学会

ボールの形状から生じるインパクト特性の変化について

小泉 朝香[*1]，洪 性賛[*2]，坂本 慶子[*3]，佐々木 亮太[*3]，小池 関也[*2]，浅井 武[*2]

A fundamental study on impact force of soccer balls

Asaka KOIZUMI[*1], Sungchan HONG[*2], Keiko SAKAMOTO[*3], Ryota SASAKI[*3], Sekiya KOIKE[*2] and Takeshi ASAI[*2]

[*1] University of Tsukuba. Master's Program in Institute of Health and Sport Sciences
Tennoudai 1-1-1, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0006 Japan

The purpose of this study is to analyse the dynamic effects of soccer balls and the differences impact forces have on these balls. The subject under discussion is the balls that have different material surfaces and panel orientations. We chose four balls for this research: Cafusa, Jabulani, Theam Geist2 and Pelias. These soccer balls have 32 panels, 8 panels, 14 panels and 32 panels. The experimentation used a Kick-Robot which reproduces the same speed and position to repeatedly impact the ball. We attached a dynamometer to this machine in order to measure the impact force. We experimented four pattern of speed: 15m/s, 20m/s, 25m/s, 30m/s. The results suggest that there is any direct correlation between a maximum of impact force and a number of panels. But, when the Cafusa is compared with other balls, the impact force of Cafusa has a lower than any other balls because of the soft material surface. In addition to this, under the all speeds, the impulse value of Jabulani always shows the biggest value compare with other balls. We suggest that Jabulani has a special structure and a special surface.

Key Words : Soccer ball, Dynamic effect, Impact force, Impulse value

1. 緒 言

近年，様々な表面素材・パネル枚数のサッカーボールが開発されており，その発展は著しいものがある．サッカーボールにおいて，その空力特性に関する流体力学的な研究が数多くなされている(1) (2)．しかし，表面素材やパネル枚数の違いがボールのインパクト特性に及ぼす影響ついて言及されているものはほとんどなく，その差異の有無についてはほとんど解明されていない．インパクト時のボール作用力はボールの飛び出し状態を決定し，その後の空中での飛翔運動に影響を与えるため，インパクト時の衝撃力の解析は，サッカーボールの形状特性を述べる上で必要不可欠である．そこで，本研究では，パネル枚数や表面素材の異なった 4 種類のサッカーボールを対象に，力量計（フォースプレート）を装着したキックロボットを用いて，インパクト時の衝撃力を直接計測した．衝撃力から，各ボールに加わる力積値を算出し，ボールのインパクト特性を比較検討した．

2. 方法

2・1 キックロボット

本実験には，ボールインパクト型ロボットの「キックロボット」を用いた（Fig.1）．キックロボットは，一定のインパクト位置を反復して再現でき，等速度で繰り返し実験を行える装置である．加えて，ボールの飛び出し初期条件が実際のキックと同様であるため，本研究ではキックロボットを用いて，ボール形状がインパクトに及ぼす影響を検討した．

[*1] 学生員，筑波大大学院人間総合科学研究科修士課程（〒305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1）
[*2] 正員，筑波大学
[*3] 学生員，筑波大大学院人間総合科学研究科博士課程
E-mail: asaka0826@gmail.com

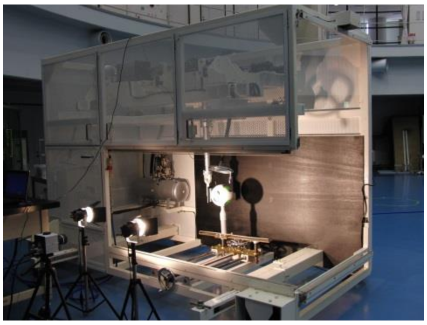
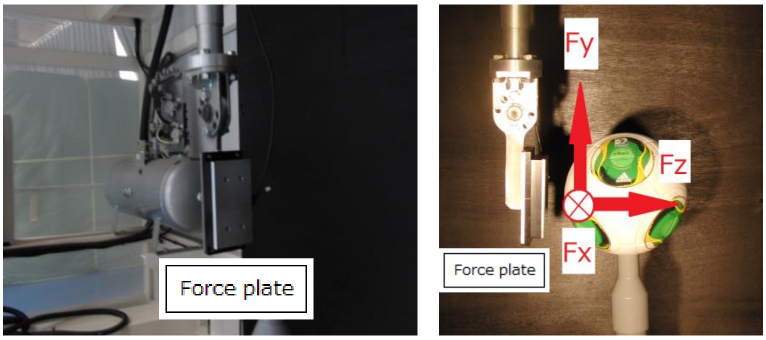


Fig.1 Kick-robot

2・2　力量計（フォースプレート）

フォースプレート（(株）テック技販，キックマシン用打出し 6 分力計，M3D-FP-U-SP2）を，キックロボットの振り抜き足先端のボールと接触する部分に装着し，ボールに加わる衝撃力を測定した（Fig.2，Fig.3）．また，フォースプレートは，ボールインパクト時にボールに垂直に当たるようにキックロボットに装着した（Fig.2）．



(a)　(b)

Fig.2 Force plate ((a)Front view, (b)Side view)

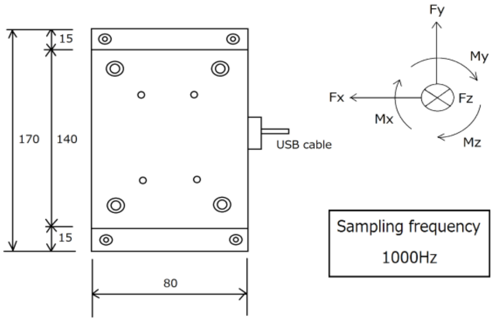


Fig.3 The plan of the force plate

2・3　サッカーボール

実験に用いたサッカーボールは Cafusa，Jabulani，TeamGeist2，Pelias の 4 種類である．

Cafusa （adidas，2013 年 FIFA コンフェデレーションズカップ公式試合球）は，32 枚のパネルによって構成されている．また，4 枚のパネルからなる 6 つの球形デザインと，その外側に 8 枚のパネルを配置している．表面は，サーマルボンディング（熱接合）技術でパネルを接合しており，滑らかなシームレス表皮構造である．(Fig.4a）

Jabulani （adidas，2010 年 FIFA ワールドカップ公式試合球）は，トライアングル型とトライポッド型の 8 枚のパネルによって構成されている．表面は，サーマルボンディング技術に加え，微細突起を施したマイクロテクスチャー加工を採用している．本ボールは，表面層，内側の織布による中間層，そしてゴムによる最内層の三層構造で，中間層となる織布部の強度は機械縫いとラミネーション技術の組み合わせで作られた均一な縫い合わせ方法（新カーカス構造）を取り入れている．（Fig.4b）

TeamGeist2 （adidas，2007 年 FIFA クラブワールドカップ公式試合球）は，14 枚のパネルによって構成されている．プロペラ状のパネル 6 枚とローター状のパネル 8 枚を配置している．サーマルボンディング技術と PSC テクスチャー素材を採用している．Jabulani 同様，新カーカス構造を取り入れている．　（Fig.4c）

Pelias （adidas，2004 年オリンピック公式試合球）は，32 枚のパネルによって構成されている．五角形のパネル 12 枚と六角形のパネル 20 枚で，切頂二十面体のボールである．サーマルボンディング技術を取り入れた最初のボールである．単に表面に縫い目がないだけでなく，縫いボールのときにあった大きく内側に食い込んでいる縫い代が，ボールの外側に飛び出していないため，コントロール性の向上をもたらした．（Fig.4d）

(a) (b) (c) (d)

Fig.4 Soccer balls which were used at this experiment ((a)Cafusa, (b)Jabulani, (c)TeamGeist2, (d)Pelias)

2・4　衝突現象の測定方法

本フォースプレートをキックロボットに取り付け，サッカーボールのキック実験を行った．図 5 に実験システムの構成図を示す.

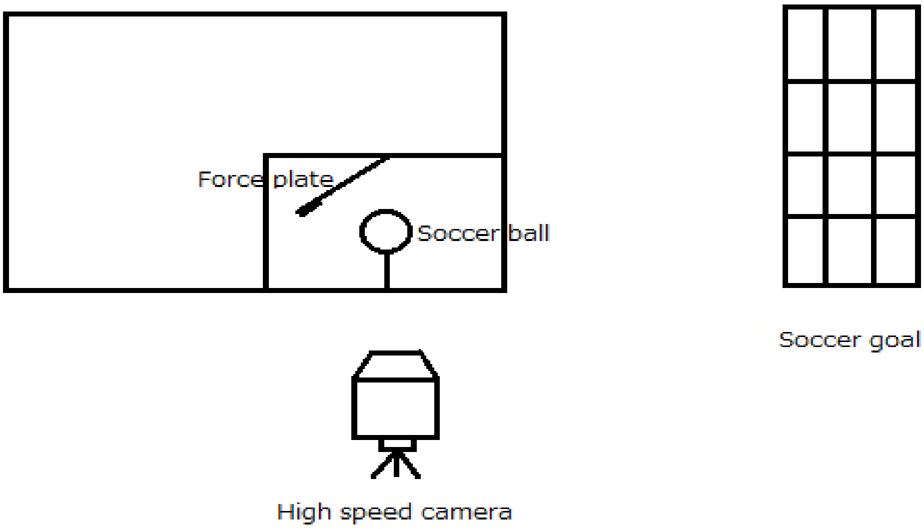


Fig.5 Set up of experiment

キックロボットの打ち出し速度は，15m/s，20m/s，25m/s，30m/s の 4 パターンに設定した．実際のサッカーの試合において，パスキックのスピードはおよそ 15m/s とされ，強いシュートキックのスピードはおよそ 30m/s とされている．キックロボットの各速度において，各ボール 12 本ずつの計 60 本，計測を行った.

データ分析対象は，フォースプレートとボールの接触時からフォースプレートとボールが離れるまでの時間とした．フォースプレートから得られた衝撃力のデータと，フォースプレートとボールとの接触時間から力積値を算出した．力積値は，以下の方程式を用いて算出した.

式 f (x)を範囲[a, b]で定積分したとき，その値を S とすると，

$$S = \int_a^b f(x)dx \tag{1}$$

これは，台形の面積の和で近似できる．積分の範囲[a,b]を N 等分した台形で近似した面積 T は，以下の式で表すことができる.

$$T = h\frac{f(a)+F(a+h)}{2} + h\frac{f(a+h)+f(a+2h)}{2} + h\frac{f(a+2h)+f(a+3h)}{2} + \cdots + h\frac{f(a+(N-1)h)+f(a+Nh)}{2}$$

$$= \frac{h}{2}\sum_{j=0}^{N-1}[f(a+jh)+f(a+(j+1)h] \tag{2}$$

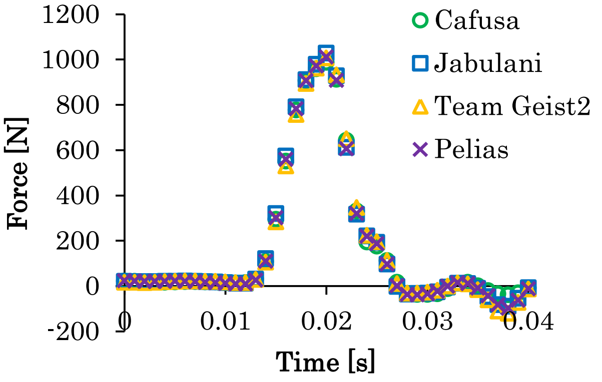
2・5　統計処理

最大衝撃力における各ボールの平均値の差の検定，及び力積における各ボールの平均値の差の検定には，等分散を仮定した 2 標本による検定（t 検定）を実施し，有意水準は 5%未満とした．

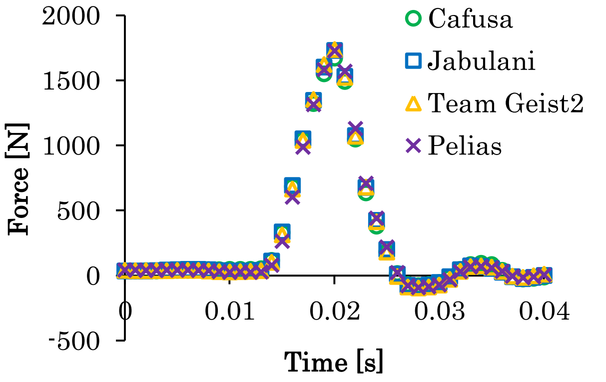
3.　結果および考察

3・1　波形・最大衝撃力の比較

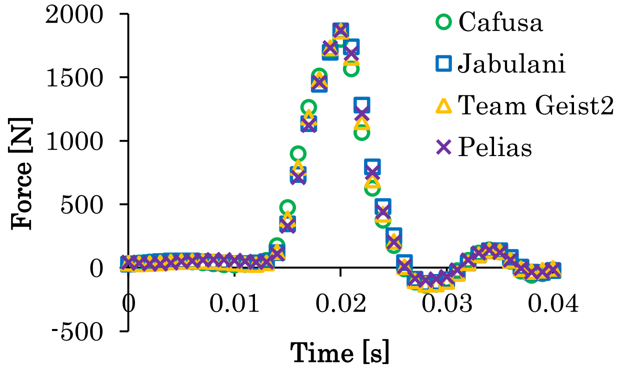
衝突前後におけるフォースプレートに加わった作用力の波形グラフをスピード別にしたものを図 6 に示す．最大値を 0.02 秒のときになるように設定し，各ボールを比較した．全てのボールにおいて，スピードが上がるにつれて衝撃力も増加する傾向を示した．また，スピードが増すにつれて各ボールのプロット位置に差が出ており，これは，フォースプレートからボールへの作用力が，スピードが大きいほど，ボールの形状に左右されるということであると考えられる．



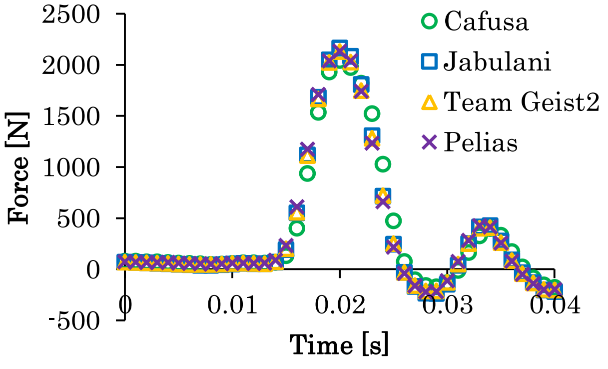
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig.6 Force curve of the experiment ((a) 15m/s, (b) 20m/s, (c) 25m/s, (d) 30m/s)

次に，スピード別にした各ボールの最大衝撃力の比較を図 7，表 1 に示す．スピードが 15 m/s のとき，Jabulani の最大衝撃力は 1027.09 N で，Cafusa，TeamGeis2，Pelias より大きく，有意な差が認められた（$p < 0.05$）．また，Cafusa の最大衝撃力は 985.06 N で，他のすべての 3 つのボールより小さく，有意な差が認められた（$p < 0.05$）．20 m/s のとき，Cafusa の最大衝撃力は 1670.27 N で，他のボールより小さく，有意な差が認められた（$p < 0.05$）．25 m/s のときも同様に，Cafusa の最大衝撃力が 1797.11 N で最も小さく，有意差があった（$p < 0.05$）．30 m/s のとき，Jabulani の最大衝撃力は 2162.82 N となっており，Cafusa，TeamGeist2，Pelias より大きく，有意な差が認

められた（$p < 0.05$）．また，Cafusa の最大衝撃力は 2041.17 N で最も小さく，他の全てのボールと有意な差が認められた（$p < 0.05$）．

Cafusa の最大衝撃力は全スピードにおいて他のボールより小さいのは，Cafusa の表面素材が他のボールよりも柔らかく，衝撃力を吸収したためであると考えられる．

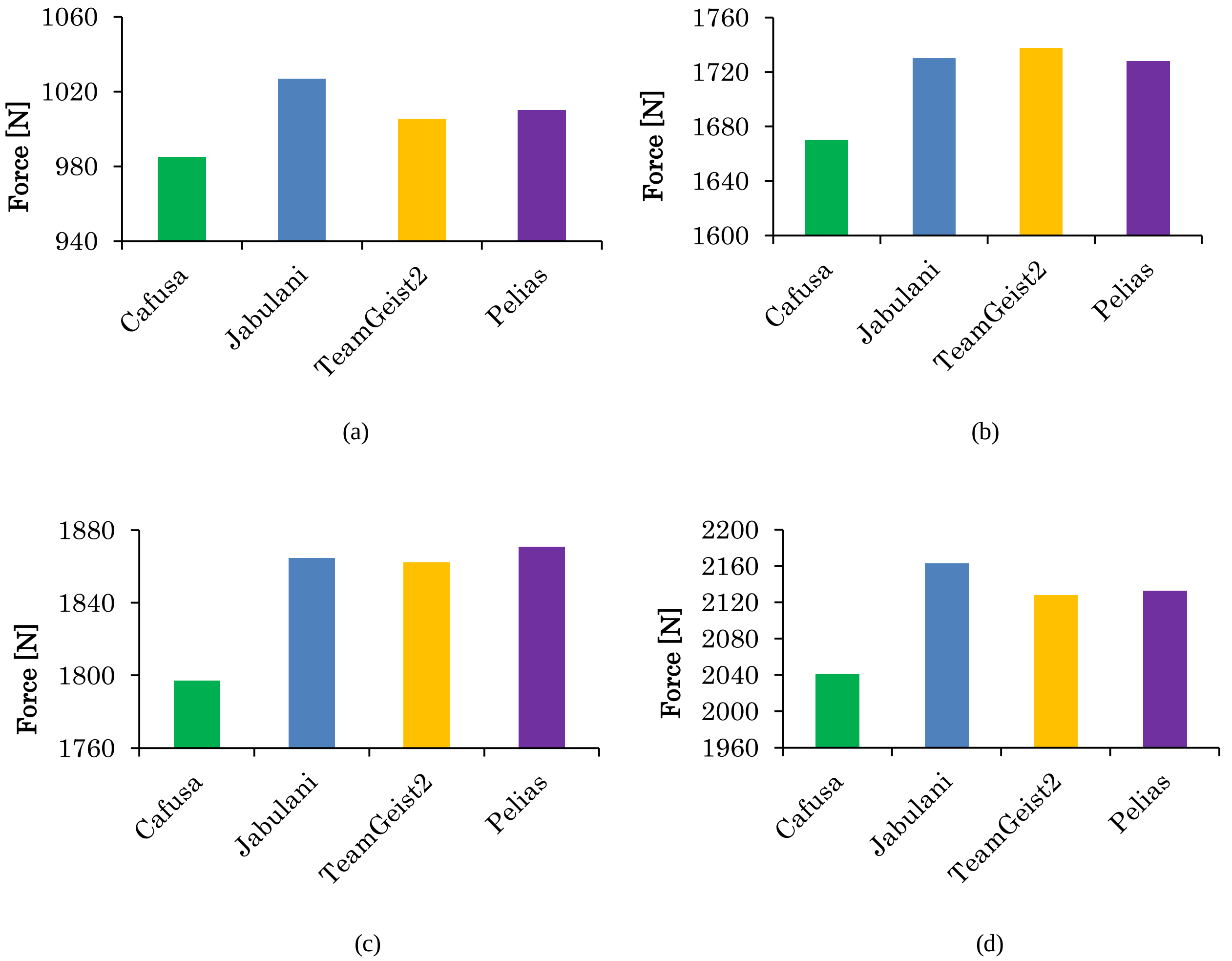


Fig.7 Maximum force of the impact ((a) 15m/s, (b) 20m/s, (c) 25m/s, (d) 30m/s)

Table.1 Maximum force of the impact

Speed [m/s]	Cafusa	Jabulani	TeamGeist2	Pelias
15	985.06	1027.09	1005.49	1010.30
20	1670.27	1730.16	1737.47	1727.85
25	1797.11	1864.66	1862.20	1870.65
30	2041.17	2162.82	2127.83	2133.10

Unit = [N]

3・2　力積値の比較

スピード別にした各ボールの力積値の比較を図 8，表 2 に示す．スピードが 15 m/s のとき、Jabulani の力積値は 7.13 N で Cafusa の力積値の 7.00 N より大きく，有意な差が認められた（$p < 0.05$）．20 m/s のとき，Jabulani の力積値は 10.95 N で，Cafusa の 10.67 N と Pelias の 10.79 N より大きく，有意差があった（$p < 0.05$）．Jabulani は TheamGeist2 の力積の 10.86 N より大きいが，有意な差は認められなかった． また，Cafusa の力積値は最も小さく，TeamGeist2 とのみ有意な差が認められた（$p < 0.05$）．25 m/s のとき，Jabulani の力積値は 12.10 N で，Cafusa

の 11.81 N ， TeamGeist2 の 11.84 N ， Pelias の 11.84 N と比較して最も大きく，有意差が認められた（$p < 0.05$）. 30 m/s のとき, Jabulani の力積値は 14.27 N で, TeamGeist2 の力積値の 14.19 N に有意な差が認められた（$p < 0.05$）.

全てのスピードにおいて，Jabulani の力積値が最も大きい．これは Jabulani の表面素材や構造上の特性のためであると考えられる.

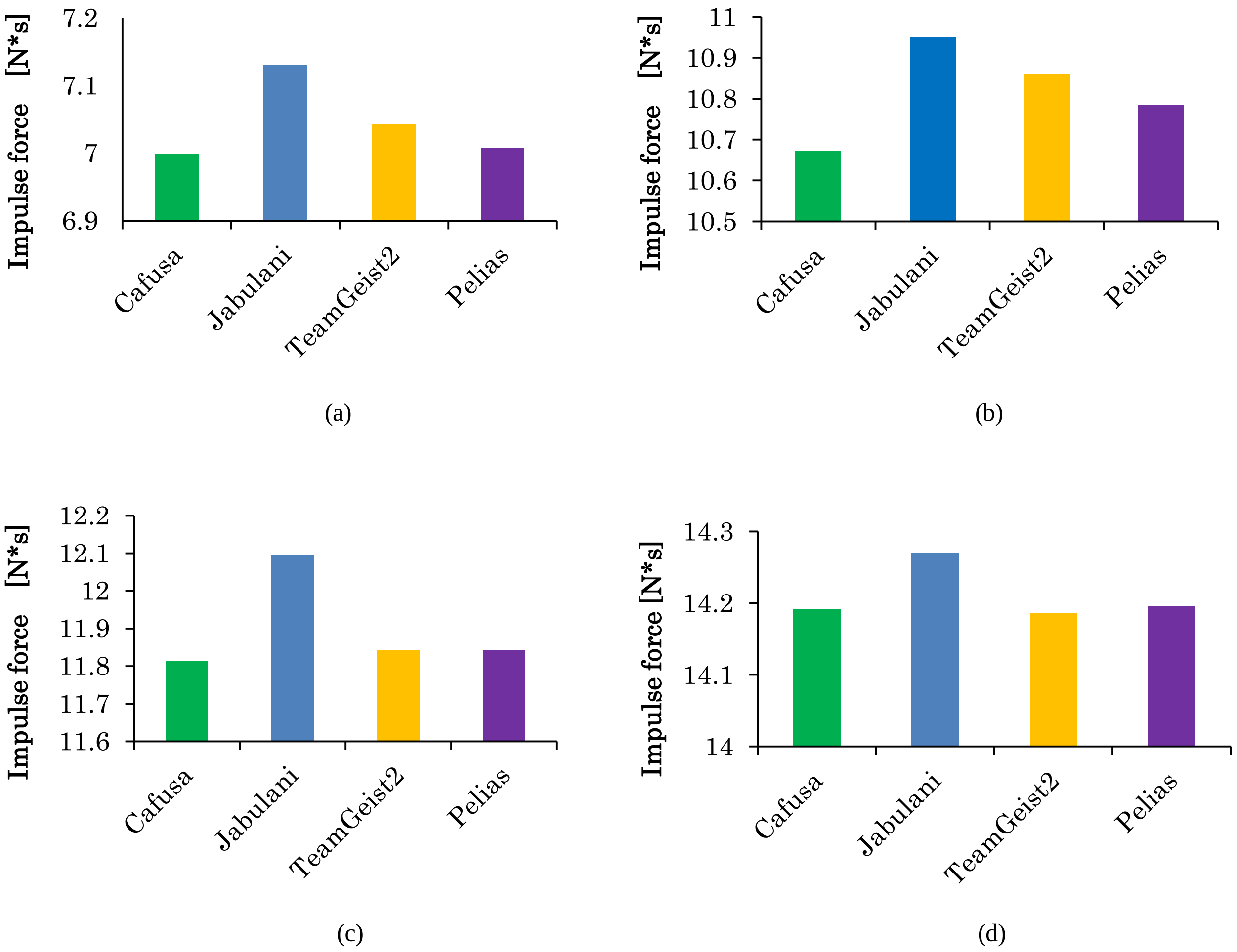


Fig.8 Impulse force of the experiment ((a) 15m/s, (b) 20m/s, (c) 25m/s, (d) 30m/s)

Table.2 Impulse force of the experiment

Speed [m/s]	Cafusa	Jabulani	TeamGeist2	Pelias
15	7.00	7.13	7.04	7.01
20	10.67	10.95	10.86	10.79
25	11.81	12.10	11.84	11.84
30	14.20	14.27	14.19	14.20

Unit = [N･s]

4. おわりに

本研究では，キックロボットとそれに装着した力量計（フォースプレート）を用いて，ボールのインパクト特性の変化をボールの形状の違いの観点から比較検討した．結果を以下に要約する.

1) Cafusa の最大衝撃力は他のものと比べて小さく，表面素材の柔らかさが影響していると考えられる.

2) Jabulani の力積値が，全スピードにおいて，他のボールより大きかった．これは Jabulani の表面素材や構造上の特性によるものと考えられる.

今後の課題として，フォースプレートのサンプリング周波数を 1000Hz からさらに引き上げて，より詳細に解析を行っていく必要がある．

文　　献

(1) 浅井武，中山雅雄，洪 性賛，内藤清志，坂本慶子，須田翔吾，“サッカーにおけるナックルボールの非定常性に関する検討”，日本機械学会シンポジウム講演論文集，No. 09-45 (2009)，pp. 82-87.

(2) 洪 性賛，坂本慶子，瀬尾和哉，伊藤慎一郎，浅井武，“サッカーのナックリングエフェクトにおける空力特性”，スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2010 講演論文集，No. 10-53 (2010)，pp. 167-172.

(3) 小池関也，浅井武，伊藤慎一郎，瀬尾和哉，“キックロボット用センサ・フットの開発研究（キック力計測用センサ部構造の提案）”，日本機械学会シンポジウム講演論文集，No. 09-45 (2009)，pp. 99-102.

(4) 小泉孝之，辻内伸好，村瀬光明，“テニスボールの衝突現象解析”，日本機械学会シンポジウム講演論文集，No. 00-38 (2000)，pp. 30-34.

(5) 上野久儀，松井良雄，中野泰明，2002，“テニスボールの剛体壁衝突時における衝突力波形と回転特性について”，Dynamics and Design Conference 2002 講演論文アブストラクト集，No. 02-9，pp. 66.

(6) T. Asai, K. Seo, O. Kobayashi and R. Sakashita, “Fundamental aerodynamics of the soccer ball”, Sports Engineering 2007, No. 10, pp. 101-110.

(7) Luca Oggiano, Lars Sars Saetran, “Aerodynamics of modern soccer balls”, 8th Conference of the ISEA, Procedia Engineering 2 (2010), pp. 2473-2479.