原著論文

陸上競技場人工サーフェスの簡易評価システムの開発[†]

内 山 了 治* 宮 尾 芳 一* 青 木 博 夫*
唐 澤 友 則* 芳 賀 武** 川久保 洋 一***

Development of a Simple Evaluation System for Athletic Surfaces[†]

Ryoji UCHIYAMA *, Yoshikazu MIYAO *, Hiroo AOKI *,
Tomonori KARASAWA *, Takeshi HAGA ** and Yoichi KAWAKUBO ***

Abstract

The artificial surfaces of athletic stadiums comply with the standards of IAAF (International Association of Athletics Federations) and JAAF (Japan Association of Athletics Federations). The standards of IAAF consist of 10 properties, such as imperfections, sample thickness, force reduction and modified vertical deformation. It is demanded that the stadium where the international athletic meet is held fills these standards. However, these standards are adapted at the time of the construction of the stadium. The repair standards related to the change of passing years and use frequency are not defined. In order to prevent the occurrence of sports injuries, it is necessary to make clear the changes according to the passing years of the stadium. The purpose of this study was to develop a system that is able to evaluate mechanical characteristics of the surface, the practicality of this system, and the surface objectively. The results of this study are as follows:

- (1)The form of pin and surface hardness exert an influence on the pressing of the pin.
- (2)The surface damage of the athletic stadium was determined by this system. Measurement items are thickness, the pressing displacement quantity of pin, hardness, restitution coefficient and surface observation.
- (3)This system is suitable for use as the pre-survey of the IAAF attestation organization, although it is a simple model.

Key words : Simple Evaluation System, Mechanical Characteristic, Track Surface, Spike Pin

[†]原稿受付 2005 年 10 月 11 日

2005 年 7 月 日本スポーツ産業学会第 14 回大会 (神戸市) にて一部発表

*長野工業高等専門学校 〒381-8550 長野県長野市大字徳間 716

**ハーガードサイエンスアカデミー 〒381-0057 長野県長野市浅川西条 895

***信州大学 〒381-8553 長野県長野市若里 4-17-1

**Nagano National College of Technology, 716, Tokuma, Nagano, Japan (381-8550)*

***Hargard Science Academy, 895, Asakawa, Nishijo, Nagano, Japan (381-0057)*

****Shinshu University, 4-17-1, Wakasato, Nagano, Japan (381-8553)*

1. は じ め に

陸上競技場全天候走路の人工サーフェス（以下、サーフェス）は、国際陸上競技連盟（以下、IAAF）および（財）日本陸上競技場連盟（以下、JAAF）により基準が設けられている。IAAFのマニュアル（認証制度）¹⁾²⁾とJAAFのルールブッ

ク（検定制度）³⁾⁴⁾⁵⁾の概要を表1に示す。

IAAFの認証制度は1999年に公表され、「用器具」、「全天候表面舗装材」、そして「トラックの認証」からなり、オリンピックや国際的な競技会が開催される競技場はこれらの基準を満たし、IAAF認証機関による現地検査での合格が要求されている。鈴木・中川⁶⁾⁷⁾⁸⁾によるこの

表1 IAAF 認証制度と JAAF 検定制度の比較

項 目		IAAF(国際陸連)	JAAF(日本陸連)
制 度 概 要	制度公表	1999年	1929年
	認証の種類	2種類(class1, 2)	5種類(第1～5種)
	認証・公認期間	4年間	5年間(第5種は3年間)
	補助競技場	別規定あり	第1種には全天候第3種が必要
認 証	各種施設	別規定あり	仕様で種類と数の規定あり
	収容人員	別規定あり	種別に規定あり
	雨天走路	別規定あり	第1種に規定あり
	用器具	明記無し	種別に種類と数の規定あり
検 定 項 目	用器具庫	明記無し	規定あり
	検査員	IAAF公式検査員	JAAF検定員
	全天候舗装材 (サンプルの検査)	<ul style="list-style-type: none"> ・10項目 表面欠陥(瑕疵) 表面平坦性 サンプル厚さ 衝撃吸収性 垂直方向変位量 摩擦性能 引張強度 破断時伸び率 色調 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1, 2種はIAAFに準ずる ・硬度 ・摩耗, 亀裂しにくいもの ・下地との接着性
	舗装材	<ul style="list-style-type: none"> ・上記10項目 (引張試験は, トラックからサンプルを抜き取る) 	<ul style="list-style-type: none"> ・新設時: サンプル検査 厚さ 硬度 ・検定時: 目視検査 表面欠陥(瑕疵, 膨れ, 剥離) 色調 ・許容誤差 第1, 2種は1/10000 第3～5種は各4cm 巻尺温度補正, 測点詳細規定あり
検 定 項 目	トラック 距離	明記無し	<ul style="list-style-type: none"> ・許容誤差 第1, 2種は1/10000 第3～5種は各4cm 巻尺温度補正, 測点詳細規定あり
	フィールド (現地検査)	明記無し	<ul style="list-style-type: none"> ・トラック: 各レーン5～10m毎計測 ・フィールド: 10～20m格子状に計測
	レベル (水平度)	明記無し	規定あり
	マーキング 標識タイル	明記無し	規定あり, 角度検査
検 定 項 目	施設, 用器具	<ul style="list-style-type: none"> ・施設 明記無し (競技規則で対応) 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設 各施設詳細に規定 (例) 走幅跳ピット 砂場サイズ, 踏切板と砂場の位置確認, 踏切板および砂場のレベル, 踏切板埋設・ 取り替え状況, 助走路の距離とレベル
	施設, 用器具	<ul style="list-style-type: none"> ・用器具 明記無し (競技規則で対応) 	<ul style="list-style-type: none"> ・用器具 種類と数規定あり・・・確認 損傷状況, 規格, 重さ等の確認

制度の現状および今後の展望に関する報告のとおり、国内においてはIAAFとJAAFの2本立ての制度が存在することになるため、その整合性と今後のIAAFの動向に注目する必要があると思われる。サーフェス性能規格については、表面欠陥（瑕疵）、垂直方向変位量、衝撃吸収性等の物性および機械的特性に関する10項目について細かく規定されている。この規格は、国内の第1・2種公認陸上競技場においても準ずることがJAAFにより規定されているため、舗装材を取り扱う業者がIAAF認証機関でサンプルの検査を受けこれらの基準を満たした舗装材が、新設される国内の第1・2種競技場に施工されている。

JAAFの基準に関しては、公認陸上競技場および長距離競走路ならびに競歩路規定³⁾、全天候舗装公認陸上競技場の細則⁴⁾および第1種・第2種公認陸上競技場の基本仕様⁵⁾にそれぞれ公認競技場の種類、構造物、各種施設、用器具、レーンマーキングおよびカラーリングなどについて詳細に規定されている。

また、JAAFでは5年（第5種競技場に限り3年）毎の検定制度が設けられ改修および検定が実施されている。しかし、JAAFの検定項目はトラックの「距離」、「各施設」、「レベル（水平度）」に主眼が置かれ、IAAFの認証制度にあるようなサーフェスの機械的物質特性に関する材料試験を伴う規定や、競技場サーフェスを部分的に採取して行う試験項目はない。同時にこれらのIAAFとJAAFの規定は、競技場が新設されるときに初期基準であり、経年的変化や使用頻度による改修基準は明確にされていない。

従って、サーフェスの補修・改修および検定時には、目視検査が中心となり、サーフェスの機械的特性までは考慮されていない状況にある。検定時の改修工事内容に関しては競技場所有者の財政的な理由もあり、サーフェスの部分的な補修によるレーンの格差が生じ、競技者にとって平等性原則を損なうおそれのある競技場が存在するのも事実である。特に、使用頻度が

高く劣化摩耗により薄くなったサーフェスは、競技者の障害発生につながる危険性もあり問題が大きい。これを解決するためには現場で手軽にサーフェスを評価し、競技場維持管理者に改修を働きかけることが必要であるが、その手段や方法がなく客観的な資料を得ることができないのが現状と言える。

サーフェスの瑕疵や損傷は、使用状況や気象等により程度差が大きい。これらの損傷について、内山ら⁹⁾は発生状況をもとに分類しているが、表面的損傷をもとにした分類であり、さらに詳細な調査と評価が必要と言える。サーフェスの機能特性に関する研究は実験的^{10) - 16)}あるいはシューズの機能性を高める^{17) - 20)}中で行われてきている。また、古川²¹⁾はスポーツサーフェスの各種衝撃緩衝能評価試験法を比較検討しているが、人の体内での調節の要因を除去する困難さや学際的な研究の必要性を指摘している。

一方、膝関節障害、前傾骨筋疲労症候群や疲労骨折などスポーツ障害^{22) 23)}に悩む競技者は多い。菊川ら^{24) 25)}はスポーツで生じやすいと考えられる特殊なせん断力が関節軟骨障害にどのように影響するかを検討し、スポーツによるせん断損傷発生メカニズムについて、材料力学的観点から、繰り返しせん断力は関節端の損傷発生に破壊的かつ加速的に働くことを報告している。硬いサーフェスや損傷したサーフェスではスポーツ障害の可能性は高まるため、障害発生を抑える観点からもサーフェスの改修基準と損傷を簡単に調査できるシステムの必要性が高いと言える。

そこで、本研究では、陸上競技場サーフェスを現場で評価するシステムを構築することおよびその実用性を評価し、陸上競技場改修基準作成に必要な基礎的知見を得ることを目的とした。サーフェス評価項目はIAAF, JAAFおよびJSAF（（財）日本体育施設協会屋外施設部会）の基準を参考に、サーフェスに関する複数の機械的特性（厚さ、硬度、スパイクピンのサーフェス圧入変位、反発係数、表面観察）とした。

表2 IAAF サンプル舗装材評価項目と本研究の評価項目の関連

IAAF評価項目	本研究評価項目	備 考
表面欠陥(瑕疵)	CCDカメラ観察	目視でも可能だが、CCDカメラによりクラックを詳細に観察する
表面平坦性	採用せず	JAAF検定ではレベル測定を行うため表面の不陸は精査されている
サンプル厚さ	厚さ測定	厚さ
衝撃吸収性	反発係数、硬度で代替	大がかりな落錘機が必要なため、手軽に実施可能な項目とした
垂直方向変位量	ピン圧入変位で代替	上記同様の理由で、ピンの圧入変位(垂直変位量)とした
摩擦性能	採用せず	装置が必要なため
引張強度	採用せず	引張試験が必要で現場でできない
破断時伸び率	採用せず	引張試験が必要で現場でできない
色調	採用せず	目視で可能

2. サーフェス簡易評価システム

2.1 サーフェスの評価項目

サーフェスの評価項目はIAAF基準をもとに表2に示すとおり、サーフェスの変位(ピンの圧入変位)、硬度、厚さ、表面観察および反発係数とした。項目の選定にあたり競技場サーフェスを採取した破壊試験は行わず、非破壊検査で対応できる項目であることを基本方針とした。そして、サーフェスの状態を客観化できること、陸上競技場現場で容易に測定し結果がわかること、複数箇所を少人数で測定できることを条件に選定した。

2.2 システムの具備すべき条件

- (1) システムが軽量で、陸上競技場現場への持ち運び、設定および試験が容易に行える。
- (2) 複数の特性が評価できる。
- (3) 荷重などのパラメータを変化させられる。
- (4) 測定データをパソコンに取り込むことが可能で、現場で結果がわかる。

2.3 システムの構成

図1に示す本システムの構成は、サーフェスの変位・硬度・厚さ測定部、表面観察部、そして反発係数測定部からなる。

(1) 変位・硬度・厚さ測定部

スパイクピンを図1-Aに取り付ける。負荷を加えるとガイド(図1-C)に沿って可動部(図1-B)がスムーズに下降しピンがサーフェスに圧入される。これと連動して変位計(図1-D)が作動し、変位に比例した電圧値がパーソナルコンピュータに取り込まれる。また、ピンの代わりにデュロメータ硬度計をセットすればサーフェス表面の硬度が測定できる。

サーフェス厚さの定義に関しては図2に示す。本研究では次式(1)とした。

サーフェスの厚さ

$$L=L_1-L_2/2 \quad (1)$$

L_1 : エンボス最高(凸)点からアスファルト・コンクリート層までの長さ

L_2 : エンボス最下(凹)点から最高(凸)点までの長さ

図1 システムの構成

図2 サーフエスとサーフェス厚さの定義

厚さ測定は、IAAFによれば目盛りのついた探査針を使用し、この値が10mm以下の場合には直径10mm～25mmで舗装のコアを抜き取り再調査することになっている。本研究では、図1-A部分に専用の探査針を装着し、連動する変位計の値を取り込む。

(2) 表面観察部

パーソナルコンピュータに接続されているCCDカメラにより、サーフェス表面を微視的に観察しその画像を取り込む。その画像から接触面積等を算出することもできる。

(3) 反発係数測定部

体育施設の各種表層材を評価する反発試験²⁶⁾は、GB 反発試験（ゴルフボール）、SB 反発試験（スチールボール）、TB 反発試験（テニスボール）が汎用的に行われている。これらは各ボールの反発した高さを測定し係数を求めるものであり、目視による測定は誤差を含み、VTR等に撮影し算出する場合は即時性がない。須藤ら²⁷⁾はこれらの誤差を減少させるために高速度カメラを用いて衝突挙動解析を行っている。また、上原ら²⁸⁾はAE（Acoustic Emission）センサを利用し、衝突時の音を検出する手法をもちいて、独自の計測システムを開発し、実験値と理論値を比較検討し有効性を検証している。本研究では、これらを参考に、スチールボールが衝突するときの衝撃音から即時に反発係数を求めるものである。

反発係数は、図3に示すように、高さ h_1 から球体が自由落下し t_1 秒後に速度 v_1 で床面に衝突して跳ね返り、速度 $-v_2$ で高さ h_2 まで上昇し再び t_2 秒後に衝突する。この跳ね返りを繰

図3 反発係数算出モデル

り返す場合、反発係数 e は次式(2)で定義される。

$$e = v_2/v_1 = v_3/v_2 = \dots \quad (2)$$

t_1 ：自由落下開始から床面に衝突するまでの時間

t_2 ：最初の衝突から跳ね返り、再度床に衝突するまでの時間

t_3 ：2回目の衝突から跳ね返り、再び床に衝突するまでの時間

また、重力加速度を g とすると

$$v_1 = gt_1 \text{ および } v_2 = gt_2 \text{ なので,}$$

$$e_1 = v_2/v_1 = gt_2/gt_1 = t_2/t_1, \quad e_2 = t_3/t_2,$$

$e_1 = t_{1+1}/t_1$ となり、衝突間隔の時間を測定しても反発係数は求められる。

本研究では、 $2t_2$ 、 $2t_3$ を計測し、次式(3)と定義する。

$$e = 2t_3/2t_2 \quad (3)$$

3. システムの作動確認とサーフェスの評価

3.1 目的

本システムの機能を確認するとともに、種類の異なるサーフェスとスパイクピンの影響について考察を試みた。具体的な目的は次の3項目である。

- (1) 3種類のサーフェスとスパイクピン（以下、ピン）の圧入変位を明確にする。
- (2) ピンの違いによる圧入変位を明確にする。
- (3) ピンの圧入痕の観察。

3.2 方法

供試したサーフェスの特徴を表3に示す。試料は、国内外の主要な競技場で使用されている

表3 供試サーフェスの特徴

	試料 a	試料 b	試料 c
断面写真
硬度 (A/S)	56	58	54
上層3mm	ウレタン 共通		
上層のみ硬度 (A/S)	53		
下層9mm	特殊骨材入りウレタン弾性層	ゴムチップ弾性層	ゴムチップ弾性層(工場製品)
下層のみ硬度 (E/S)	67	78	57

(a) 平行ピン (b) 2段ピン (c) 3段ピン

図4 供試スパイクピン

図5 ピンの形状がおよぼす圧入変位

フルウレタンタイプ（試料 a）、下層に硬めの現場施工ゴムチップを使用したタイプ（試料 b）、そして、下層が軟らかい工場製品の棒状ゴムチップタイプ（試料 c）の3種類とした。表面層は実験用に接触開始点の形状の影響を除くためフラット仕上げとした。上層は3試料ともウレタン製で、上層の厚さは同一とし、全体で13mmとした。

図4にピンを示す。ピンは陸上競技において汎用的に用いられ形状の違う3種類（平行ピン、2段ピン、3段ピン）とし、長さはすべて8mmとした。

サーフェス表面温度および室内温度は23（±2）℃で実験を行った。

3.3 結果

(1) 変位・硬度測定部

3種類のピンにおける荷重とサーフェスの変位を図5に示す。変位は、ピンのサーフェス圧入深さと、サーフェスの弾性変位の和である。荷重と変位の関係は約55Nまでは比例関係を示し、その後は飽和傾向にあり、ピンの台座およびピンの取り付け部分全体でサーフェスを変形させていることが分かった。また、圧入の状況は、平行ピンと2段ピンは、ピンの台座まで約8mmはスムーズに圧入したが、3段ピンは2段目（約6mm）までしか圧入しなかった。これらからサーフェスへのピンの圧入はピン形状（段差）の影響を受けていることが推測される。

図6 サーフェスの違いがおよぼす圧入変位

硬度は、JIS K6235 の試験方法により A および E デューロメータにより測定し、結果は表 3 に示した。試料全体の硬度 (A/S) は試料 b が最も硬く c が最も軟らかい値を示した。下層のみの硬度 (E/S) も同等で b, a, c の順に高い値であった。これらのサーフェスの上層の材質は同一のため、サーフェスの硬度は下層の硬さに影響すると言える。

図 6 にサーフェスの違いがおよぼす圧入変位を示す。試験は長さ 8mm の平行ピンを使用し、ピンが完全にサーフェスに圧入するまで荷重した。変位は 3 種類の試料とも荷重に比例して増大し、硬度が大きい試料 b の圧入変位が最も小さく、最も硬度の小さい試料 a は、48N でピン全体が圧入しそれ以降はピンの台座がサーフェスに密着した。これらから、硬度が大きいサーフェスほどピン圧入の変位が小さい傾向が認められた。

(2) 圧入痕の観察

サーフェス表面の圧入痕を、CCD カメラ (レンズ倍率 50 倍) を用いて観察した。図 7 (a) が平行ピン、(b) が 2 段ピンによる圧入痕である。平行ピンの方が、中心部の破壊が大きく、クラックが内部まで観察された。2 段ピンの先端の太さは平行ピンと同様であるが、クラックの発生状況については明らかな差が観察され、ピンの形状により圧入痕が異なることが分かった。

(3) 反発係数の測定

反発係数の測定には、直径 34.92mm、重さ

(a) 平行ピン

(b) 2 段ピン

図7 CCD カメラによるピンの圧入痕の観察

<サーフェス：試料 a>

表 4 反発係数

試料 反発係数	a	b	c
e_1 (t_3/t_2)	0.551	0.528	0.596

173.55g の鋼球を使用し、0.1m の高さから自由落下させ、衝突音を収集し反発係数を算出した。測定結果は表 4 に示したとおりである。これらから本システムは衝突音の収集で反発係数を算出できることが確認できた。反発係数には試料による差はほとんど認められなかった。それは、今回の試料は上層が同一材料ですべて未使用のものであること、落下物の重さおよび高さの設定条件によるものと思われる。

以上の結果から、本システムはサーフェスの変位、硬度、厚さが測定でき、表面観察および反発係数が求められること、サーフェスやピンの違いを検出できることが確認された。

4. 陸上競技場のサーフェス損傷状況の評価

4.1 目的

本システムを陸上競技場に持ち込み、損傷程度が異なるサーフェスを評価する。

4.2 方法

(1) 測定地点

測定地点を図8に示す。サーフェスの損傷状況を目視により確認し、損傷が大きい箇所としてフィニッシュ1レーン、損傷が少ない箇所としてフィニッシュ9レーンを選定した。測定場所は、それぞれのレーン中央部分の0.1m×0.1m

の範囲と規定した。

(2) 測定項目

・サーフェスの厚さ、エンボスの高さ

厚さは、IAAFの方法に従い、エンボス凸部と凹部の厚さを別々に測定しその平均値とした。エンボスの高さは、凸部と凹部の差の平均とした。

・硬度

・ピンの圧入変位

・反発係数

落下物の走路への影響を考慮し、直径34.92mm、重さ173.55gの鋼球を使用し、2mの高さから自由落下させた。

・CCDカメラ（50倍）による表面観察

4.3 結果と考察

測定項目と結果を表5に示した。サーフェ

図8 測定地点

表5 陸上競技場における測定結果

レーン	目視	サーフェスの 平均厚さ(mm)	エンボスの 高さ(mm)	硬度 (A/S)	反発係数
1	損傷大	10.34	0.17	48	0.606
9	損傷小	11.86	1.34	58	0.613

スの厚さは、1レーンは10.34mm、9レーンは11.86mm、両レーンの差は、1.52mmで、1レーンは表面層のエンボスがほとんど確認できないほど摩耗が進行していた。1レーンの損傷が大きいことはどの陸上競技場も同様であり、厚さの差はこのことを裏付けていると言える。また、初期厚さは規則では13mmであるが、1レーン内側縁石近くの摩耗していない部分の厚みは16mmあり、1レーンは10年間の使用で6mm厚さが減少している。毎年0.6mm摩耗している計算であり、10mmの現在の厚さは、2年後にはピンの長さである9mmを切ることになる。摩耗速度と残存膜厚を考えた管理方法が必要である。

硬度に関しては、1レーンがA48/S、9レーンがA58/Sを示し、1レーンは柔らかな状態であることを示した。

図9はそれぞれのレーンにおける荷重とサーフェスへのピンの圧入変位を示したものである。1レーンと9レーンでは荷重30Nで、およそ2mmの変位差が生じ、荷重45N付近でピン全体がサーフェスに圧入し、その後はピンの台座を含めた部分でサーフェスと接触していた。損傷が大きい1レーンほど、柔らかく、変位も大きな値を示した。しかし、厚さはピンの圧入変位とほぼ同等の10mmしかないため、サーフェスの厚さと競技者の安全性を考慮する必要がある。疾走速度が10m/sを超えるスプリントでは競技者が接地する際に、地面に加わる力は垂直方向で2000N程度²⁹⁾³⁰⁾、体重の5.5倍³¹⁾、あるいは瞬間的な衝撃は4000N³²⁾³³⁾を超えることが報告されている。従って、1レーンの厚さはIAAF最低基準の10mmに近い値であるため、ピンはサーフェス路盤のアスファルト層

図9 フィニッシュ地点における荷重とピンの圧入変位

近くまで圧入し、衝撃吸収性も悪化し、危険な状況であると推察される。

鋼球による反発係数については、硬いサーフェスほど反発係数が高く、9レーンの方が良く反発する状態であった。小林ら³⁴⁾は反発係数について、測定しやすい利点を生かし他の測定法と併用して考察する場合には有効な指標であることを指摘している。本研究でも複数の測定項目と組み合わせることで、サーフェスの状態を簡便に評価できる指標であることが考察できた。

図10は、サーフェス表面の状態を、CCDカメラ（レンズ倍率50倍）により観察したものである。この写真からも、1レーンでは、クラックが大きく深く、損傷が激しいことが明確になった。

これらのことから、1レーンと9レーンでは客観的な差が認められ、1レーンは反発係数が低く、柔らかいため、ピンも圧入しやすい。しかし、限界近くまで摩耗しているためピンがアスファルト路盤近くまで圧入し、競技者に危

1 レーン(損傷の多い地点)

9 レーン(損傷の少ない地点)

図 10 CCD カメラによるサーフェス観察

険な状況であることが判明した。厚さと硬度、圧入変位量および反発係数の関係については、サーフェスが摩耗し薄くなれば、柔らかくなる。そして、ピンは圧入しやすくなるとともに、反発力は低下するという傾向を明確にできた。

5. ま と め

本研究では、従来目視が中心であった既存の陸上競技場におけるサーフェスの評価方法に関して、サーフェスの機械的特性を手軽に簡易評価できるシステムを開発した。このシステムの実用性評価を試み、次の基礎的な知見を得た。

- (1) ピン形状の違い、および、サーフェス硬度の違いが、ピンの圧入変位に影響することが分かった。
- (2) 本システムを活用し、陸上競技場におけるサーフェス損傷の程度を、厚さ、硬度、ピンの圧入変位、反発係数、および CCD カメラによる表面観察により評価することができた。
- (3) 本システムは簡易型であるが IAAF 認証機関等による調査の前段評価として、機能することが分かった。

今後は、本システムの複合的な特徴を生かし、垂直変位量、反発係数、表面クラック状況などのデータを総合的に検討し、これらの項目の規格値の設定と陸上競技場改修の客観的な基準を作成することが課題と言える。

参 考 文 献

- 1) IAAF : PERFORMANCE SPECIFICATION FOR SYNTHETIC SURFACED ATHLETICS TRACKS, 1990.
- 2) IAAF : TRACK AND FIELD FACILITIES MANUAL (2003 edition), pp.93-116, MONACO, 2003.
- 3) (財)日本陸上競技連盟;「公認陸上競技場および長距離競走路ならびに競歩路規定」, 陸上競技ルールブック 2005 年版, あい出版, pp.179-193.
- 4) (財)日本陸上競技連盟;「全天候舗装公認陸上競技場の細則」, 陸上競技ルールブック 2005 年版, あい出版, pp.194-203.
- 5) (財)日本陸上競技連盟;「第 1 種・第 2 種公認陸上競技場の基本仕様」, 陸上競技ルールブック 2005 年版, あい出版, pp.164-178.
- 6) 鈴木 存・中川喜矩; 国際陸連の認証制度に迫る (第一報), 月刊体育施設, No.428, pp.16-23.2004.
- 7) 鈴木 存・中川喜矩; 国際陸連の認証制度に迫る (第二報), 月刊体育施設, No.429, pp.28-31.2004.
- 8) 鈴木 存・中川喜矩; 国際陸連の認証制度に迫る (第三報), 月刊体育施設, No.430, pp.33-37.2005.
- 9) 内山了治 他; 陸上競技場人工サーフェスの損傷分類と摩耗試験装置の開発, スポーツ産業学研究, Vol.15, No.2, pp.37-45.2005.
- 10) RALPH MANN, PAUL SPRAGUE : A Kinetic Analysis of the Ground Leg During Sprint Running. RESERCH QUARTERLY FOR EXERCISE AND SPORT, Vol.51, No.2, pp.334-348, 1980.

- 11) Miller.J.E, Baround.G., Nigg.B.M. : Elastic behavior of sport surface materials. Sports engineering, Oxford, England,3 (3), 177-184, 2000.
- 12) 飯本雄二, 田中 了, 小林一敏: 着地衝撃に関する力学的研究, 日本体育学会第 34 回大会号, p.370, 1983.
- 13) 菅原秀二, 小林一敏: スパイクピン貫入による衝撃緩和の研究, 日本体育学会第 34 回大会号, p.369, 1983.
- 14) 山田憲政, 小林一敏: 走行中のスベリ緩衝についての力学的研究, 日本体育学会第 34 回大会号, p.371, 1983.
- 15) 小林一敏 他; スポーツ舗装材の各種走行状態における緩衝性についてのコンピュータ・シミュレーションによる評価, 日本機械学会, ジョイント・シンポジウム講演論文集, 01-22, pp.9-13, 2001.
- 16) 小林一敏 他; 身体に与える合成樹脂系舗装材の力学的特性, 順天堂大学保健体育紀要, 第 18 号, pp.24-35, 1975.
- 17) 金子靖仙; 速く走るためのシューズ, 精密工学会誌, Vol.63, No.4, pp.460-465, 1997.
- 18) 田中克昌 他; ランニング・シューズの機械的特性とランナーによる官能評価との相関 - トラック弾性の影響 -, スポーツ産業学研究, Vol.10, No.1, pp.35-43, 2000.
- 19) 福岡正信; シューズはどう科学されるのか - シューズ機能の評価法 -, 日本機械学会誌, Vol.95, No.888, pp.28-32, 1992.
- 20) Sock Heng WOO 他; ランニング・シューズの力学特性の計測と評価法, 日本機械学会論文集 (C 編), 64 巻 623号, pp.85-92, 1998.
- 21) 古川源蔵; スポーツサーフェスと安全性, 快適性, 日本機械学会誌, Vol.95, No.888, pp.33-35, 1992.
- 22) Robert D. D' Ambrosia, et al. : Running Injuries, SLACK, TOKYO, pp.105-144, 1993.
- 23) Steven T. McCaw ; Qualitative Biomechanical Analysis to Understand Injury Development, Biomechanics of Sport and Exercise 2nd Edition, HUMAN KINETICS, USA, pp.323-332, 2005.
- 24) 菊川久夫 他; スポーツによる骨軟骨障害発生に関する実験的研究, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第 8 号, pp.73-77,1996.
- 25) 菊川久夫 他; スポーツによる骨軟骨障害発生に関する実験的研究 (第 2 報), 東海大学スポーツ医科学雑誌, 第 9 号, pp. 68-73, 1997.
- 26) (財)日本体育施設協会屋外体育施設部会; 「屋外体育施設の建設指針 H17 年改訂版」, p.246, 2005.
- 27) 須藤路久 他; 高速度カメラを用いた準剛体球の衝突挙動解析, 可視化情報, vol.22 Suppl., No.1, pp.153-156, 2002.
- 28) 上原 謙 他; AE センサを用いた弾塑性領域における反発係数の計測, トライボロジー会議予稿集, 2001-11, pp.423-424, 2001.
- 29) Peter M.McGinnis ; Biomechanics of Sport and Exercise, HUMAN KINETICS, 2nd ed. pp.19-46, 2005.
- 30) 福田厚治, 伊藤 章: 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高速度は高められるか: 体育学研究, 49, pp.29-39,2004.
- 31) Payne,A.H. : A comparison of the ground forces in race walking with those in normal walking and running. Biomechanics VI-A ; E.Asmussen and K.Jorgensen (ed.), Baltimore : University Park Press, pp.293-302, 1978.
- 32) Payne,A.H. : Foot to ground contact forces of elite runners. In : Biomechanics VIII-B ; H.Matsui and K.Kobayashi (ed.), Champaign, I 11. : Human Kinetics Publishers, pp.746-753, 1983.
- 33) Jess Jarver EDITED : SPRINTS & RELAYS.5th, Tafnews Press, usa, pp.68-72, 2000.
- 34) 小林一敏 他; 身体に与える合成樹脂系舗装材の力学的特性, 順天堂大学保健体育紀要, 第 18 号, pp.24-35, 1975.