

## 野球場における防球ネット高さの解析

著者	長島 慎二, 清原 光希, 高橋 玄
雑誌名	東北学院大学工学部研究報告
巻	54
号	1
ページ	1-11
発行年	2020-02
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1204/00024154/">http://id.nii.ac.jp/1204/00024154/</a>

# 野球場における防球ネット高さの解析

## The Analysis on the Height of the Ball Net in the Baseball Park

長島 慎二<sup>1</sup>

Shinji NAGASHIMA

清原 光希<sup>2</sup>

Kouki KIYOHARA

高橋 玄<sup>3</sup>

Hajime TAKAHASHI

**Abstract :** In this study, the tracks of baseballs from the throwing to the batting were analyzed for the analysis of the ball net height. Various parameters of throwing and batting, for example, the pitching speed, rotational speed of the ball, bat head speed, and standing position of batter, were considered for the analysis. The aerodynamic characteristics of the official NPB balls were considered in the analysis. Next, a web application to make the KML files for concluding the ball tracks and ball net was developed. The baseball tracks can be used to design the ball net for various baseball parks.

**Key Words :** Baseball Park , Ball Net , Ball Track

### 1. 緒言

硬式野球はプロ野球以下、社会人野球、大学野球、また高校野球に至るまで幅広く行われている。競技会場としての野球場および周囲の施設に関して、観客の安全性あるいは、隣接する道路や住宅などの安全性の観点から打球を防ぐ防球ネットの設置が必要になる。ところが、防球ネットの高さに関する基準について、公益財団法人日本体育施設協会のQ&A<sup>(1)</sup>によれば「競技規則・ルールによって防球ネットの推奨高さや仕様は決まっていません。」となっている。実際に、防球ネットを設置するためには、打球飛跡データが必要となるが、打球飛跡は、投球の回転数やコース、ボールのインパクト位置、バットの角度やヘッド速度など、種々のパラメータにより変化するものであり、十分な解析が行われているとは言えない。現在、防球ネットを設置する複数の業者が公開している情報では、打球の

初速度および打ち出し角度を設定した飛球シミュレーションが行われているもの<sup>(2)</sup>があるが、ボールのスピンの量は入力不可で、シミュレーションに使用する公式等は公開されていない。更に、サンプル計算を見る限りにおいて、2次元計算であると考えられ、投球およびバッティングを一貫して計算したシミュレーションではない。その他、ボールの弾道計算ができると記してあるが、物理的背景は記されていない企業<sup>(3)</sup>や、「各球技施設に対する防球ネットの高さ基準はありませんが、使用球技の『安全性・グラウンドの広さ・周囲の状況・打球飛距離表』を総合的に考慮し、高さを検討、ご提案いたします。』と、経験則に基づいた設計をしている企業<sup>(4)</sup>、また、防球ネット高さの基準に関する説明の見当たらない企業<sup>(5)</sup>などを散見するのみである。

一方、実際の野球グラウンドにおける防球ネットの効果を検討するための基礎となる硬式ボールの空力特性の解析や打撃に関する大

<sup>1</sup> 東北学院大学工学部機械知能工学科

<sup>2</sup> テクノマインド株式会社

<sup>3</sup> 株式会社 東北電子計算センター

学等における研究としては、空力特性に関する実験的な研究<sup>(6)・(9)</sup>や、有限要素法を用いたシミュレーションモデルと実測による実験とによるバットスウィング速度の比較<sup>(10)</sup>などの研究がある。その他、インパクト時のボール位置とバット角度の関係を実験的に求めたもの<sup>(11)</sup>や、軟式野球ボールとバットの衝突シミュレーションを有限要素法により解析した研究<sup>(12)</sup>、また、野球の打撃に熟練した社会人および大学野球選手の打撃中のバットの動きをバイオメカニクスの比較した研究<sup>(13)</sup>などがなされている。種々の変化球に関する実験を積み重ねてきた溝田は野球に限らず、ゴルフボール、サッカーボールなどにおける研究結果を概説<sup>(6)</sup>している。こうした多くの実験的あるいは解析的努力がなされてきた一方で、実際のグラウンドにおける防球ネットの有効性に関して検証することのできる統合的なシステム開発はなされていない。

そこで、本研究は、最新の硬式ボールの空力特性に基づいて、投球からバッティングまでのボールの飛跡を連続してシミュレートする3次元解析システムを開発した。実際の打球飛跡に重大な影響を与えるパラメータのひとつが、バッターとインパクト位置との3次元位置関係に依存するバットの角度であることから、これを高校野球体験者による実験により定式化を行った。さらに、設計上の野球場の防球ネットで打球を防ぐことが可能であるか否かを視覚的に把握するため、打球飛跡および防球ネットをGoogle Earth上で3次元的に表示することができるKMLファイルを出力するシステムの開発を行った。

## 2. 基礎理論

以下に打球飛跡解析理論を概説する。

### 2.1 計算に用いた硬式ボールについて

投球および打球解析に用いた野球ボールは2011年に採用されたNPB統一球を基本とし、坂本誠馬<sup>(8)</sup>らが行った揚力係数および抗力係数に関する実験値を最小二乗法で定式化した。なお、揚力係数に関しては、谷口ら<sup>(9)</sup>が行った旧NPBボールのデータも含めた。以下に、揚力係数 $C_L$ および抗力係数 $C_D$ と、ボール回転の程度を表すスピンパラメータの関係を図1、図2に示す。なお、スピンパラメータおよびボール反発係数は以下である。

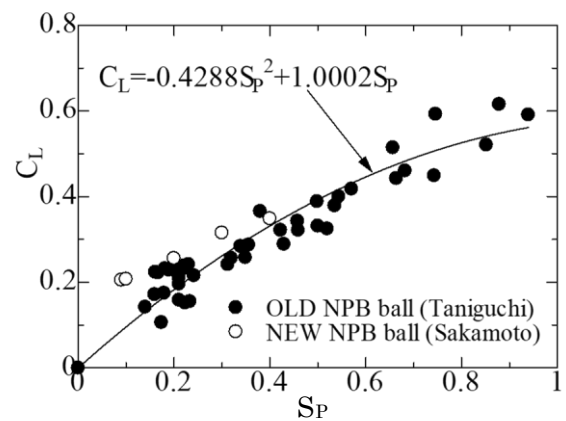


図1 揚力係数

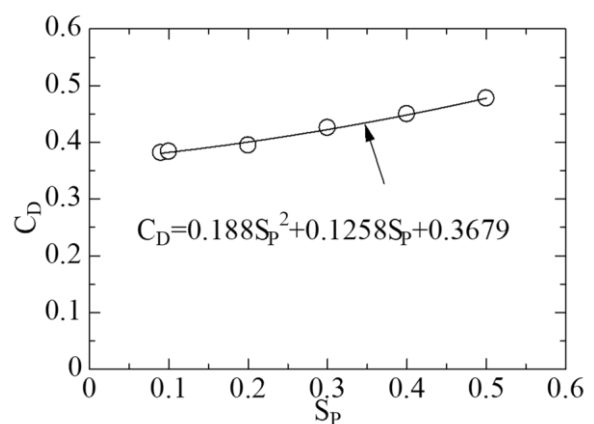


図2 抗力係数

表1 計算条件 (km/h)

種別	投球速度	バットヘッド速度
プロ	146.5	150
一般社会人	140	140
高校生	120	120

$$s_p = \pi d N / V$$

$$d = 0.073(m) \quad \text{ボール直径}$$

$$N (r.p.s) \quad \text{ボール回転数}$$

$$V (m/s) \quad \text{ボールに対する相対風速}$$

その他、

$$m = 0.143 (kg) \quad \text{ボール質量}$$

$$r = 0.41 \quad \text{ボール反発係数}$$

とした。

### 2.2 投球およびバットヘッド速度条件

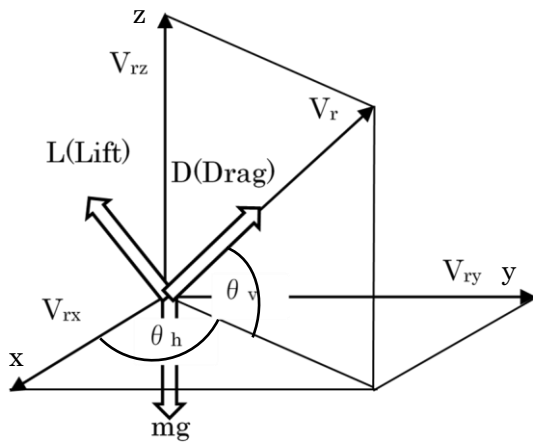


図3 ボールに作用する力

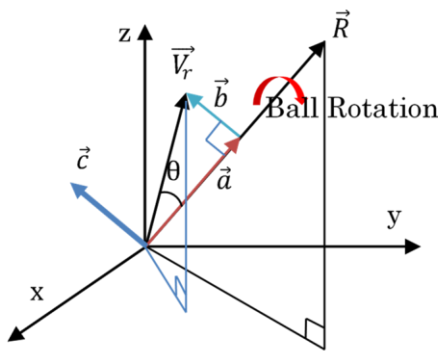


図4 ボール回転軸と相対風速

本研究は、その一部を長谷川体育施設株式会社の依頼に基づく受託研究として行ったことから、プロ野球、一般社会人野球および高校野球のそれぞれにおいて、基礎となる投球速度およびバットヘッド速度を依頼に基づいた値とした。表1に計算条件として示す。

## 2.3 基礎運動理論

本研究では、投球およびバッティングによるボールの飛跡を連続したものとして解析した。運動解析に用いる座標は、原点をピッチャープレートとし、水平面内におけるキャッチャー方向を $X_G$ 、これに直角に右翼方向に $Y_G$ 、鉛直上方に $Z_G$ とした。これをグローバル座標と呼ぶ。他方、この座標に平行で、バッターの真下を原点としたものをローカル座標 $(X_L, Y_L, Z_L)$ とした。

ボールの運動は、グローバル座標の3成分それぞれの運動方程式を数値解析した。ボールには、重力、抗力および揚力が作用する。抗力は、ボールに対する相対風速ベクトルの逆方向に作用するものとした。揚力に関して

は、ボールの回転軸とボールに対する相対風速ベクトルが必ずしも直交しているわけではないことから、ボールの回転軸に直交する相対風速成分をもとに、回転軸に対して直角な方向に作用する風速成分を基に算出した。以下に手順を示す。

投球および打球の運動方程式は、

$$\vec{f} = m\vec{a} \quad (1)$$

ここで、 $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ は加速度であり、

$\vec{f} = (f_x, f_y, f_z)$ はボールに作用する力である。さて、ボールに対する相対風速

および図3に示す角度を

とすると、ボールに作用する力は

$$\vec{V}_r = (V_{rx}, V_{ry}, V_{rz}) \quad (2)$$

$$\theta_h = \tan^{-1} \frac{V_{ry}}{V_{rx}}, \theta_v = \tan^{-1} \frac{V_{rz}}{\sqrt{V_{rx}^2 + V_{ry}^2}} \quad (3)$$

とすると、ボールに作用する力は

$$f_x = D \cos \theta_v \cos \theta_h + L_x$$

$$f_y = D \cos \theta_v \sin \theta_h + L_y \quad (4)$$

$$f_z = D \sin \theta_v - mg + L_z$$

$(L_x, L_y, L_z)$ はボールの回転により生じる揚力であり、成分は回転軸に依存する

ので、次の手順で求める。

ボールの回転軸（単位ベクトル）を図4

に示すように、

を示すように、

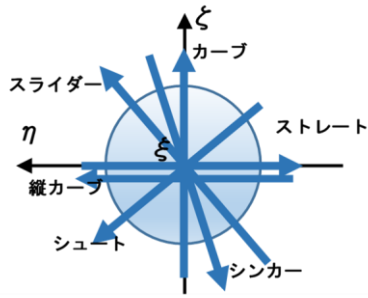
$$\vec{R} = (R_x, R_y, R_z) \quad (5)$$

ボールの回転軸 $\vec{R}$ と相対風速 $\vec{V}_r$ のなす角

を $\theta$ とすると、ベクトルの内積より

$$\cos \theta = \frac{(\vec{V}_r \cdot \vec{R})}{|\vec{V}_r| |\vec{R}|} \quad (6)$$

次に、図4における $\vec{a} = (a_x, a_y, a_z)$ は、



$(R_\xi, R_\eta, R_z) = \text{Straight}(0, -1, 0), \text{Curve}(0, \cos 45, \cos 45)$   
 $\text{Slider}(0, 0, 1), \text{Vertical Curve}(0, 1, 0)$  角度は deg  
 $\text{Sinker}(0, -\cos 20, -\cos 70), \text{Shoot}(0, \cos 45, -\cos 45)$

図5 球種の設定

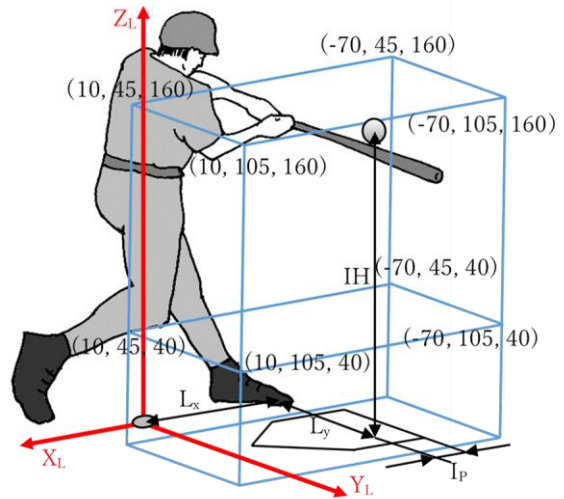


図7 バッターとボールの距離

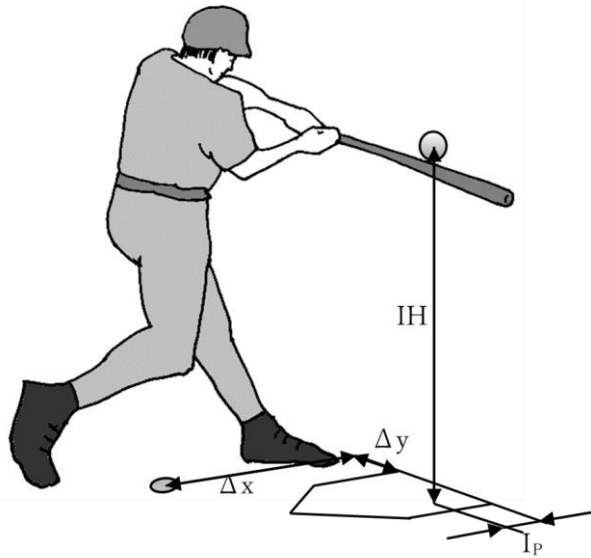


図6 立ち位置とインパクト距離

$$\vec{a} = (\vec{V}_r \cdot \vec{R}) \vec{R} \quad (7)$$

となる。 $\vec{V}_r$ と $\vec{R}$ を含む面内における回転

軸に対して垂直なベクトル $\vec{b}$ は

$$\vec{b} = \vec{V}_r - \vec{a} \quad (8)$$

となり、一方、

ボールに生じる揚力の単位方向ベクトル

$\vec{c}$ は外積により、

$$\vec{c} = (c_x, c_y, c_z) = \frac{\vec{V}_r \times \vec{R}}{|\vec{V}_r| |\vec{R}|} \quad (9)$$

となる。これよりボールに生じる揚力は

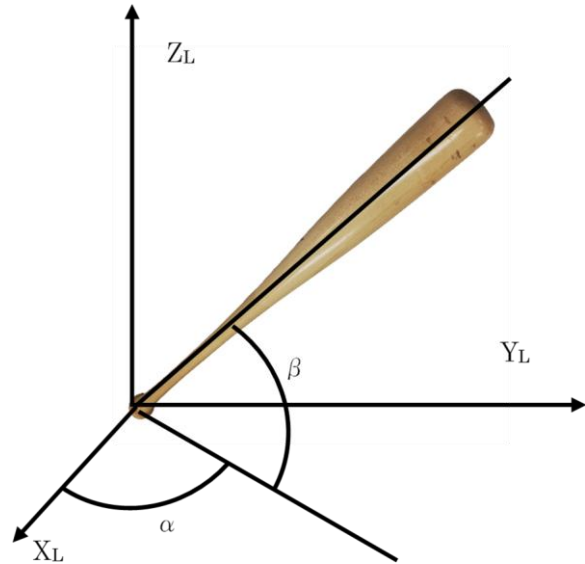


図8 ローカル座標に対するバット角度

$$\vec{L} = C_L \frac{1}{2} \rho |\vec{b}|^2 A \vec{c} \quad (10)$$

## 2.4 各種設定とインパクト理論

本研究で開発したバッティングシミュレーターでは、投球およびバッティングに関して種々のパラメータを設定できるようにしている。投球に関しては、球種、投球スウィング面の傾き、スウィング角度、ボール回転数、腕の長さなどである。球種に関しては、図5の通り、ボールの投球方向に直角な面内における回転軸（右ネジ回転）を設定した。

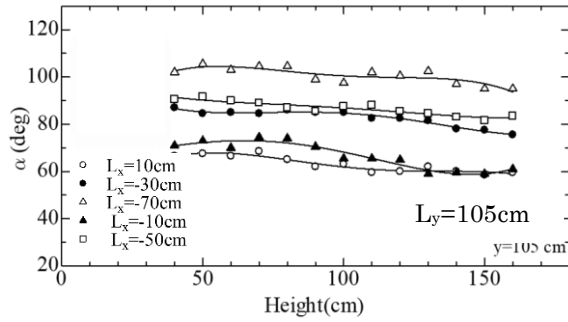


図 9  $\alpha$

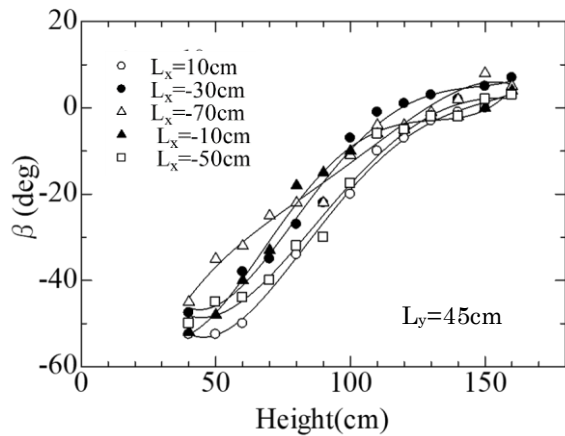


図 10  $\beta$

バッティングに関する設定として、バットヘッド速度、インパクト時のバット断面における周方向位置、バッターの立ち位置、その他である。図 6 にインパクト時のバッターの立ち位置の定義およびインパクト面の定義を示す。バッターの立ち位置は、ホームベース前面角からの距離を  $\Delta x, \Delta y$ 、また、インパクト位置とホームベース前面からの距離を  $L_p$  とした。

投球およびバッティングシミュレーションでは、初めに設定した条件での投球飛跡が計算され、設定した  $L_p$  に応じてインパクト位置が決定される。次いで、図 7 に示すように、必然的に、バッターの真下位置とボールの水平面内における距離 ( $L_x, L_y$ ) および、高さ  $IH$  が算出されることになる。なお、バッティング可能な範囲を図 7 のように設定した。

$$(L_x, L_y, IH) = (10 \sim 70, 45 \sim 105, 40 \sim 160)$$

さて、バッターとインパクト時のボールの水平距離が算出されると、標準的なバッティングスウィングをした場合における、インパクト時の、ローカル座標 (原点をバット軸線上にずらした場合) に対するバットの角度  $\alpha$

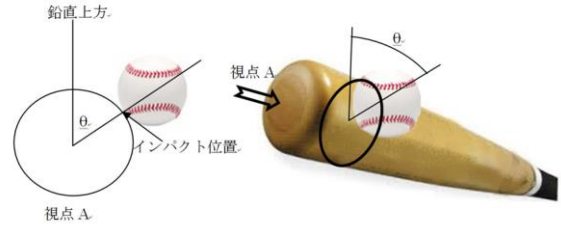


図 11 ボールの周方向位置

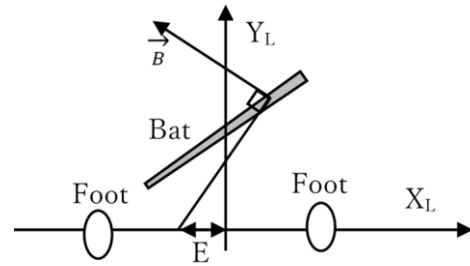


図 12 バッティング時の回転軸の定義

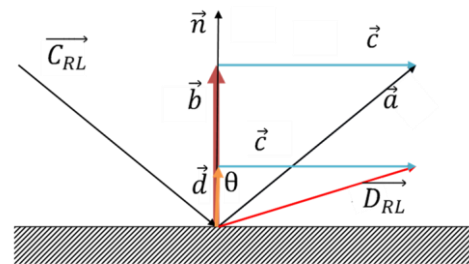


図 13 インパクト前後のバットに対するボールの相対速度ベクトル

および  $\beta$  が図 8, 図 9, 図 10 の通り定まることになるが、角度 ( $\alpha, \beta$ ) は高校野球経験のある学生に立ち位置とインパクト時のボールの位置を種々設定して、標準的なバットスウィングの構えをさせて実験的に測定した。ここでは紙面の都合上、一部のデータのみを示すが、これらから、2パラメータ最小二乗法により角度を定式化し、シミュレーターに組み込んだ。

図 11 に、インパクト時のバット断面におけるボールの周方向位置の定義図を示す。バット断面の鉛直上方からインパクト位置までの角度を  $\theta$  とし、これをパラメータとした。打球方向は、このパラメータに強く依存する。

図 12 にバッティング時の回転軸の定義を示す。バッティングは、水平面内における身体の重心位置 (図では原点から E ずれた位置) を中心に回転運動をすることにより行わ



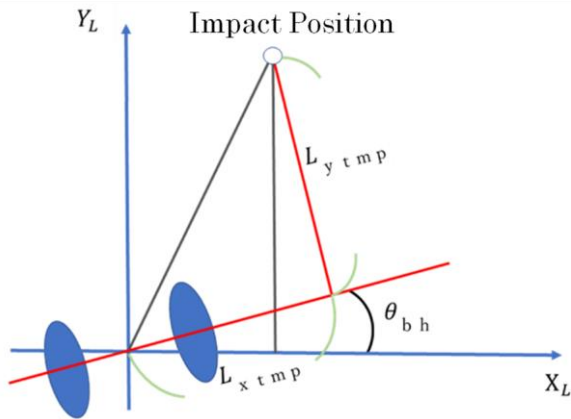


図 1 4 スタンス設定

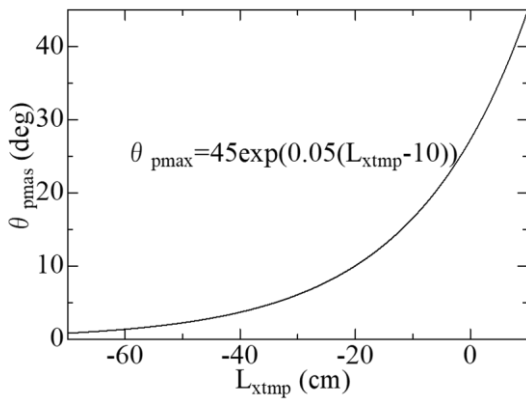


図 1 5 バットコントロール角度最大値

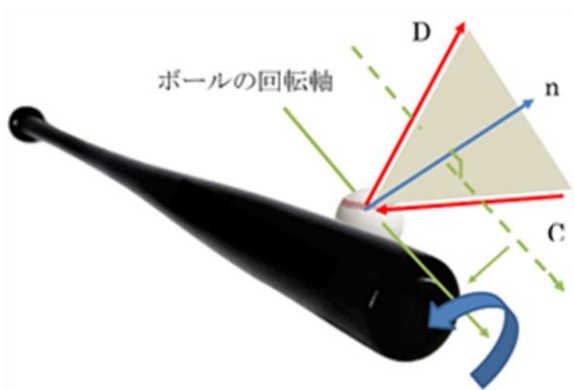


図 1 6 インパクトによるボール回転軸

れる。なお、インパクト時は、バットのスウィング面が水平になっていることを基準とした。これにより、インパクト時における、ローカル座標におけるバットヘッド速度ベクトル (図中  $\vec{b}$ ) が決定され、ローカル座標に変換したインパクト時におけるボール速度ベクトルとの関係から、バットに対するボールの

相対速度ベクトルが算出される。インパクトの前後では、バットに対するボールの相対速度ベクトルのバット面に対する鏡像ベクトルにおけるバット面の法線方向成分にボールの反発係数を乗じたものを、あらためて、バット面の法線方向成分とした打球ベクトルが算出され、ついで、グローバル座標における打球ベクトルに変換を行った上で打球飛跡を解析する。以下に手順を示す。

インパクト時の投球の絶対速度ベクトル  $\vec{C}_{AG}$  (グローバル座標)  $\Rightarrow$  (座標変換)  $\Rightarrow$  絶対速度ベクトル  $\vec{C}_{AL}$  (ローカル座標)。

バットに対する投球の相対速度ベクトルの計算。

$\vec{C}_{RL} = \vec{C}_{AL} - \vec{C}_{batL}$  ( $\vec{C}_{batL}$  はローカル座標におけるバットインパクト位置の速度ベクトル)

打球の相対速度ベクトル  $\vec{D}_{RL}$  を計算 (図 1 3 参照)。

$\vec{a}$  は  $\vec{C}_{RL}$  の鏡像ベクトル (逆向き)。

$$\vec{b} = |\vec{a}| \cos \theta \cdot \vec{n} \quad (11)$$

$$\vec{c} = \vec{a} - \vec{b} \quad (12)$$

$$\vec{d} = 0.41 \vec{b} \quad (13) \quad (0.41 \text{ は反発係数})$$

$$\vec{D}_{RL} = \vec{d} + \vec{c} \quad (14)$$

打球の絶対速度ベクトル  $\vec{D}_{AL}$  を計算

$$\vec{D}_{AL} = \vec{D}_{RL} + \vec{D}_{batL} \quad (15)$$

打球の絶対速度ベクトル  $\vec{D}_{AG}$  (グローバル座標) の計算は

$\vec{D}_{AL} \Rightarrow$  (座標変換)  $\Rightarrow$  絶対速度ベクトル  $\vec{D}_{AG}$  とする。



図 1 7 BATTING Sumita2018

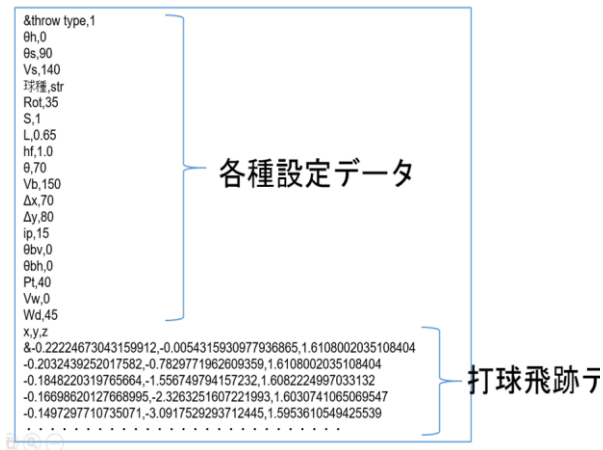


図 1 8 CSV データ

実際のバッティングにおいては、バッターがいわゆるオープンスタンスあるいはクロズスタンスという立ち方をするところがある。図 1 4 は、スタンス角度の設定を示す。打者がスタンス角度を付けて立った場合は、ボールとの距離に変化が生じ、ついで、バット角度( $\alpha$ ,  $\beta$ )に変化が生じることから打球に変化が生まれることになる。

バット角度は、打者とボールとの距離によって決定されるが、技巧的なバットコントロールにより、打者がある程度の調整を行うところがある。ただし、可能な角度調整は図 1 4 に示す  $L_{xtmp}$  に依存すると考えられることから、本研究ではその最大設定可能角度  $\theta_{pmax}(deg)$  を図 1 5 のように設定した。

バッティングにより生じるボール回転軸は、図 1 6 に示すように、インパクト前後のボールの速度ベクトルを含む面に直角な方向とした。さらに、投球自体のボール回転がある場合は、回転軸の偏心などの詳細な算出モ

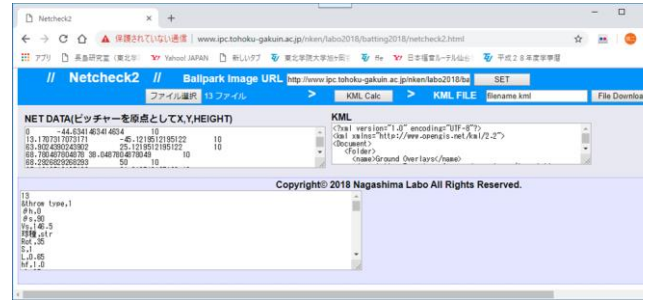


図 1 9 Netcheck

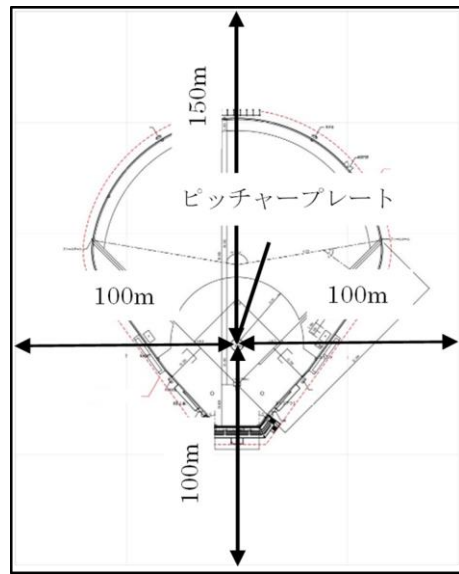


図 2 0 野球場平面図

デルが存在しないことから、回転数の重みを付けた回転軸のベクトル合成により打球の回転軸ベクトル( $R_x, R_y, R_z$ )を以下のように決定した。

バット表面でのボールの跳ね返りによる回転ベクトルは、実際には、投球ボールの回転の影響を受けるので、次のように補正する。投球ボールの回転軸ベクトルを、

$(R_{1x}, R_{1y}, R_{1z})$ 、回転数を  $N_1$ 、バット表面でのボールの跳ね返りによる回転軸ベクトルを  $(R_{2x}, R_{2y}, R_{2z})$ 、回転数を  $N_2$  とすると、インパクト後の打球の回転軸ベクトルは

$$\vec{R}_3 = N_1 \vec{R}_1 + N_2 \vec{R}_2 \quad (16)$$



$$\vec{R} = \frac{\vec{R}_3}{|\vec{R}_3|} \quad -(17)$$

となる。

また、インパクト後の打球の回転数Nは、

$\vec{R}_3$ と $N_2\vec{R}_2$ のなす角を $\theta$ とすると

$$N = N_2|\cos\theta| \quad -(18)$$

とした。

### 3. 開発したシステム概要

図17に投球およびバッティング飛跡解析を行うWebアプリケーションのユーザーインターフェイスを示す。左側に各種設定を行うユーザーインターフェイスを配置している。連続した投球およびバッティングの解析データは図18に示すようにCSV形式で出力される。データは、各種設定データおよび飛跡データからなっている。このデータファイルを本Webアプリケーションで読み込むことによって、同じ条件で再計算することが可能となっている。

こうして出力された複数のCSVデータファイルを同時に読み込むことによって、検討をすべき実際の野球場に設置する防球ネットの効果 Google Earth上で3次的に確認することができるKMLファイルを出力するWebアプリケーションがNetcheckである。ユーザーインターフェイスを図19に示す。本アプリケーションは、解析を行いたい実際の野球場の平面図画像を読み込む。図20に示すように、ピッチャープレートを原点として、左右にそれぞれ100m、キャッチャー方向に100m、センター方向に150mの画像とする。さらに、防球ネットを設置する平面座標および高さをピッチャープレートを原点として設定する。図21に岩手県住田町にある住田町運動公園野球場における計算例を示す。打球飛跡はプロ野球の条件であり、内野の防球ネット高さを60m、外野の防球ネット高さを10mとしたものである。高さ10m間隔に太い水平線、5m間隔に細い水平線も描画されている。打球飛跡において灰色のものはレベルスウィングのもので、青色のものは20度のアップスウィングのものである。

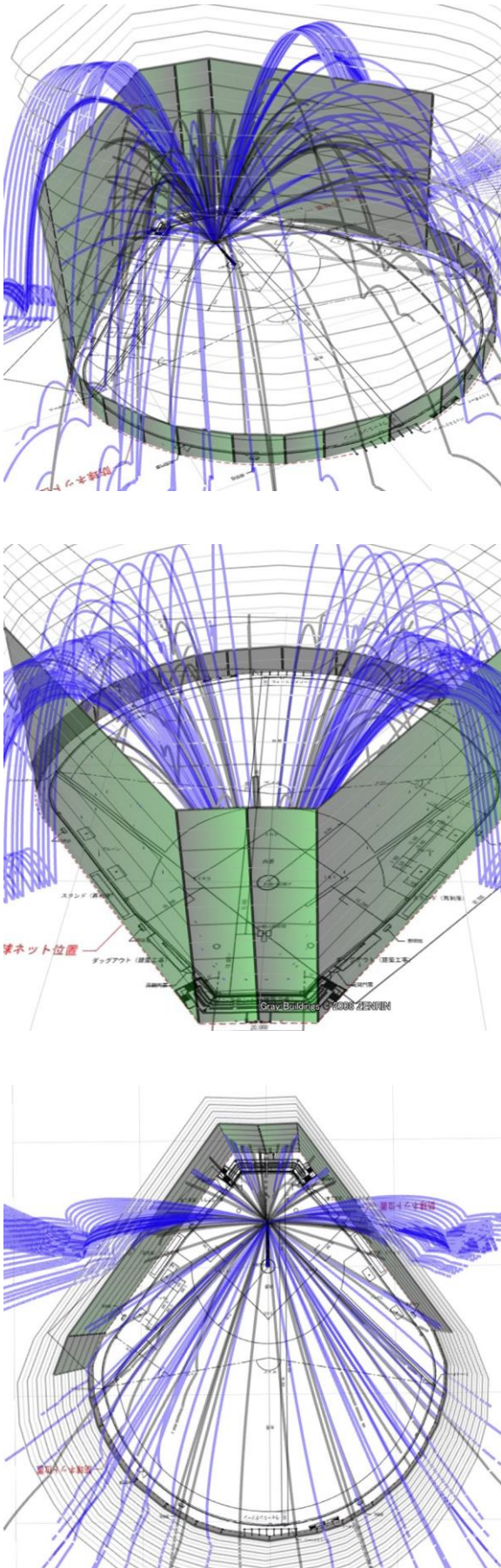


図21 プロ野球打球飛跡サンプル



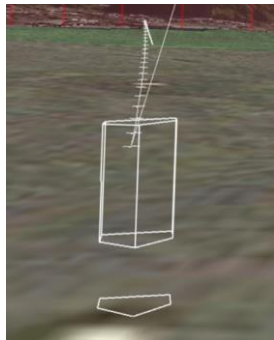


図 2 2 投球飛跡



図 2 4 ネット高さの自動計算例

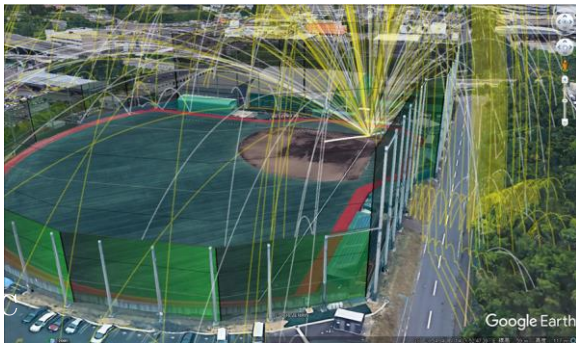
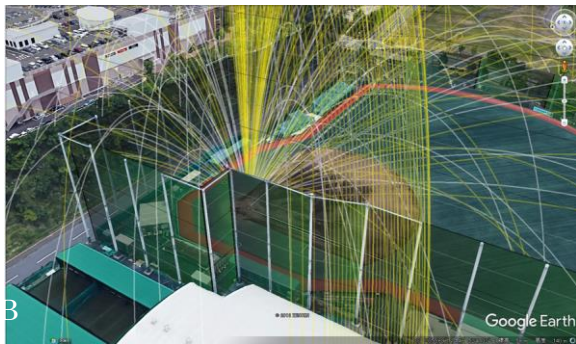


図 2 3 楽天イーグルス泉練習場

本システムでは、これとは別に、既存の施設においても打球飛跡および防球ネットを表示することができるWebアプリケーションを作成した。

#### 4. 解析結果例

図 2 2 に投球飛跡例を示す。投球はオーバ

ーハンドストレート、投球ボール回転数 35(r.p.s.)である。表 1 におけるプロ野球の条件である。図 2 3 に、楽天イーグルス泉練習場での解析結果を示す。内野 30m、外野 15mの防球ネットが設置されているが、隣接する大型ショッピングセンター側の公道 (Aでは左側、Bでは左上、Cでは右側) に対する防球には防球ネット高さが不十分であることがわかる。

今回開発したシステムでは、防球ネット高さを自動計算する機能を有している。図 2 4 は、楽天イーグルス泉練習場での計算例である。高い位置では85mの高さにもなる。

図 2 5 に、仙台市立仙台商業高等学校での解析結果を示す。条件は、表 1 における高校野球の条件である。現状の防球ネットは20mおよび14m高さのネットが設置されている。周囲は、主要地方道に囲まれており、北側に保育施設が隣接している。図より、全方位、現在設置されている防球ネットでは防球ができないことがわかる。特に北側の主要地方道および保育施設 (上図では右側、下図では左側) に対する防球ができておらず、大きな問題である。図 2 6 にはバッティングケージを用いた場合のシミュレーションを示す。練習時にはバッティングケージを用いることにより保育施設に対してほぼ防球が可能であることがわかる。ここで使用したバッティングケージは幅5.5m、高さ2.8m、ポジション1.2m (図 2 6 下図参照) での解析例である。

図 2 7 は、仙台市が管理している仙台市新田東総合運動場の野球場での解析例である。高校野球から社会人野球まで使用されることから、計算例は、投球速度およびバットヘッド速度がともに、140 km/hとしたものである。現場での調査で、管理者から3塁側駐車場に打球が多く落下すること、1塁側の公道にはほとんど打球が飛ばないことを確認して



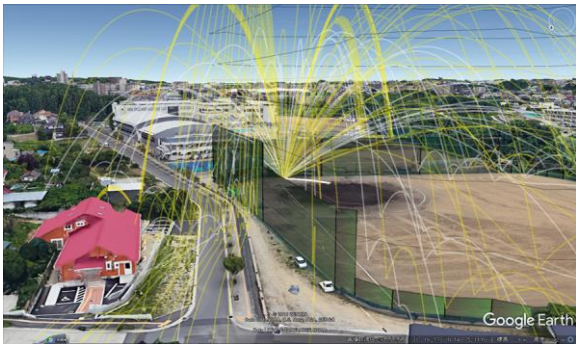


図 2 5 仙台市立仙台商業高等学校

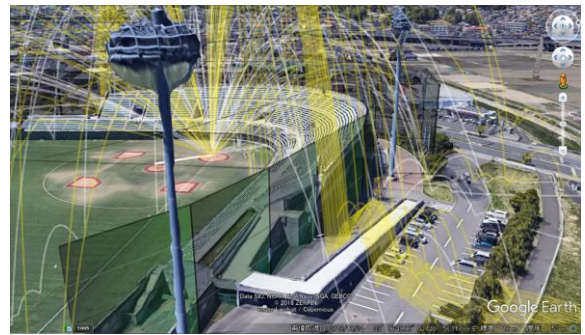
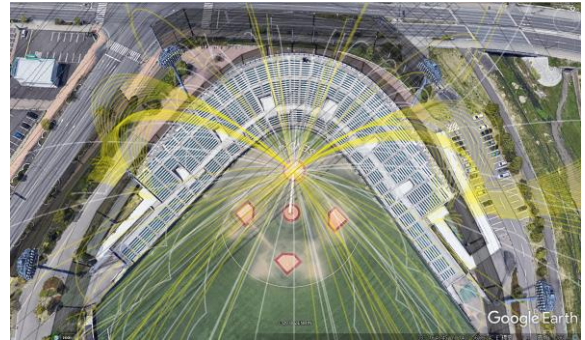


図 2 7 仙台市新田東総合運動場

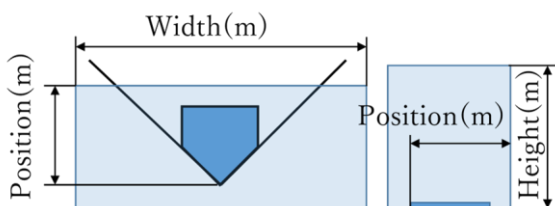
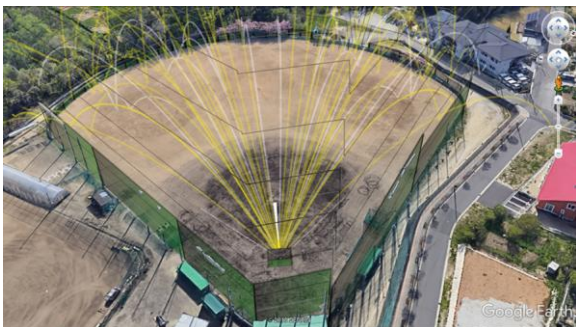


図 2 6 仙台市立仙台商業高等学校  
バッティングケージを使用した場合

いるが、シミュレーション結果も同じ結果となった。その他、複数の現場でのシミュレーションおよび調査を進めているが、いずれもシミュレーションの妥当性を裏付けるものとなっている。

なお、今回、解析した打球セットには、 $20^\circ$  のアッパースイングによる打球飛跡も含まれている。近年、大リーガーの影響で、プロ野球の選手にもアッパースイングを行う長距離打者を見かける。通称、フライボール革命と呼ばれ打撃手法である。印刷ではモノクロになるためわかりにくい（黄色の打球飛跡）が、フライボール革命と呼ばれる打撃法による打球は高高度に達することがわかる。

## 5. 結論

本研究は、硬式ボールを用いる野球場における防球ネット高さを検討するために、投球からバッティングまでを一括してシミュレートする Web アプリケーションおよび、打球を Google Earth 上で表示する Web アプリケーションの開発を行ったものである。打球解析におけるパラメータは投球で 9 個、バッティングで 8 個、更に風速、風向も加えると 19 個になる。現実のバッティングは更に複雑であって、わずかなバットの角度の違いによって打球の方向に大きな違いが発生する。本研究で

は、膨大なシミュレーションから防球ネット高さを解析するために必要な打球飛跡を表1の各条件毎に100本以上を算出した。

また、これらの打球セットを読み込むことで、実際の野球場における防球の効果 Google Earth上で3次元的に見ることができることにより、防球ネットの設計が容易になるものである。

バッターは、静止しているボールを打つものではないこともあり、現実の打撃としてシミュレーションと同じ打球を再現することは極めて困難である。これは、パラメータを設定して計算を再現することができるシミュレーションの価値を意味している。また、同時に、シミュレーション結果が、厳密な意味で、防球ネット高さの安全性を担保するものなのではなく、あくまでも設計上あるいは実際の試合における安全管理上の参考にするべきものである。

## 謝辞

本研究において設定した各種条件に基づいた打球飛跡解析は長谷川体育施設株式会社よりの受託研究として行ったものである。研究協力に感謝を表す。

## 参考文献

- (1) 公益財団法人日本体育施設協会屋外スポーツ施設 Q & A (Web サイト <http://www.jp-taiikushisetsu.or.jp/bukai/okugai/syoseki/pdfs/okugaispqa201805.pdf> 2019年9月確認)
- (2) 長永スポーツ工業株式会社飛球シミュレーション (Web サイト [http://www.choeis.co.jp/report\\_034.html](http://www.choeis.co.jp/report_034.html) 2019年9月確認)
- (3) 青野スポーツ施設株式会社 (Web サイト <http://www.aono-sports.co.jp/ball-pt.html> 2019年9月確認)
- (4) 株式会社三陽 (Web サイト [http://ks-sanyo.com/service/service\\_bonet.html](http://ks-sanyo.com/service/service_bonet.html) 2019年9月確認)
- (5) 山陽建工株式会社 (Web サイト <https://www.sanyokenko.co.jp/boukyu.html> 2019年9月確認)

- (6) 溝田武人、数理解析研究所講究録、第1940巻 2015年 40-58
- (7) 横山 佳之ら5名、「境界層遷移の解明と制御」研究会講演論文集(第41回・第42回),71-74
- (8) 坂本誠馬ら5名, シンポジウム:スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2011,(2011),1-4
- (9) 谷口他 3名、ながれ 25(2006),pp.257-264
- (10) 宮澤隆ら5名, 日本機械学会論文集(A編), 77巻 777号 (2011),135-144
- (11) 前田正登, 体育・スポーツ科学研究資料 18(2009),39-45
- (12) 神田芳文ら2名, 日本機械学会論文集(C編),73巻 729号(2007-5),35-41
- (13) 川村卓ら3名, 大学体育研究 22(2000),19-32