



中間報告書：スピン発生研究
2006年8月7日

1 . 要約	3
2 . はじめに	4
3 . プロジェクト概要	4
3.1. フィールド基準性能試験	4
3.2. 芝の代用物の確立	4
3.3. フェース処理性能試験	5
3.4. フェース処理仕様パラメーター評価	6
3.4.1 ボール空気力学と芝との衝突	6
3.5. さらなるボールタイプの検討	6
3.6. プロジェクト要旨	6
4 . プレーヤーテスト	7
4.1. 使用される用具	8
4.1.1. クラブ	8
4.1.2. クラブインサート	8
4.1.3. 吹き付け加工	9
4.1.4. プレーヤーテストのためのボール選択	11
4.2. プレーヤーテスト方法	11
4.2.1. プレーヤーテスト手順	12
4.3. プレーヤーテスト結果	12
5 . 芝の代用物質の確立	14
5.1. テスト用具	14
5.2. 候補となる物質	15
5.3. 結果	15
6 . プレートテストプロトコル	16
6.1. 用具	16
6.2. インパクト条件	18
6.3. データ収集	18
6.4. ボール構造タイプテスト	19
7 . モデリング	20
7.1. モデルパラメーター	20
7.2. テストボール反応における摩擦係数の影響	21
8 . プレートテスト中間結果	22
8.1. ドライコンディション	22
8.2. 介在物質がある状態でのインパクト	23
9 . 結論	25

付属 A : ツアープレーヤーテスト (1990 年以前と近代のクラブ/ボールの組み合わせ)

付属 B : ステンレススチールプレートの吹き付け加工

付属 C : 無限バリアベンチマークスピンテスト (1990 年以前のゴルフボール)

付属 D : 芝の実験代用物質の検証と特徴付け

付属 E : テストプレートプロファイル

付属 F : テストプレート寸法

付属 G : 発射条件への溝の仕様の影響の研究手順

付属 H : 斜めのインパクトの基本力学 (Part : 均質弾力範囲)

1. 要約

ゴルフボールとクラブヘッドの間の斜めのインパクトの力学は複雑であり、長い間規則制定団体の調査の題材となっていました。しかしながら、近年の研究、特にゴルフボールの作用についての研究は規則制定団体の知識を飛躍的に拡大させました。この理解はクラブヘッドフェース処理の影響について、また、一般的に使用されていた V 字の溝からどのように進化してきたのかの完全な見直しを促進しました。

プレー状況によって異なる様々なライからの性能の基準を規定するために一連のプレーヤーテストが近年行われてきました。溝のないマッスルバックの鍛造ヘッドから始め、USGA はアイアン 2 セットを加工しました。ひとつは伝統的な V 字溝を有し、もうひとつは U 字溝を有するもので、寸法は適合の上限で作られています。これらクラブのプレー特性はその他の点では同一です。加えて、近代と U 字溝が一般的に使用される前の時代を代表するボールが選択されました。プレーヤーはきれいでドライなライ、そしてラフからショットを行います。クラブヘッドの動きとボールの発射についてのデータが収集されました。

プレーヤーデータから、近代のクラブフェースの仕様が、芝の深いライにおいて、伝統的な V 字溝に比べ、大きな性能の改善をもたらしたことは明らかです。いくつかのロフトについては、ラフから U 字溝のクラブを使ったスピンは、きれいなライからのショットよりも実際に多くのスピンが発生するということが分かりました。

プレーヤーデータとプレーヤーテストで使用した用具は、次に 2 つの異なる物質がクラブとボールの間のインパクトにおける芝の深いライの影響を模すために使用され得ることを確立するために研究室で使用されました。多くのテストが計画されているとすれば、本物の芝を実験室で使用することはふさわしくありません。それゆえ、こうした芝の代用物を使用することは規則制定団体に効果的に、そして再現可能な方法で斜めのインパクト実験を行うことを可能にするのです。

規則制定団体による過去の研究はクラブヘッドのフェース処理の性能は、溝の形状、縁の丸み、幅、深さ、間隔、そして表面の粗さなどの多くのパラメーターによって合理的に描写できるということを確認しました。こうした要素の各々がどのようにクラブフェースの性能に影響しているのかをよりよく理解するために、一連のテストプレートがデザインされ、作成されました。ワイヤ放電加工機 (EDM) を使用することで、70 のテストプレートが造られました。こうしたプレートの各々は両方の芝の代用物質を使用し、様々な角度においてテストされることとなります。

今までのところ、基本的な溝の形状が規則適合の上限の伝統的な V 字溝と U 字溝というパラメーターでテストされています。このテストの結果はこれまでプレーヤーテストの観察結果を裏付けています。基本的な溝の形状をしたプレートは、クラブフェースパラメーターについてボールの特性の影響を評価するために多くの異なるボール形状でもテストされることとなります；このことはスピン発生がボール/溝の組み合わせによってよく理解されることを裏付けます。ここでモデリングを使用することは極めて価値があります。実験作業に加え、プレートインパクトの結果を解釈するための枠組みを規定するために様々なモデルが使用されることとなります。また、ボールの発射はゴルフショットの一部に過ぎないということが認識されています。それゆえ、芝への衝突におけるはずみと転がりと同様に、アイアンショットの空気力学と弾道についての研究が行われることになり

ます。

最後に、様々なフェース加工の性能について実験室で得られた結論がその後のプレーヤーテストでも検証されることが想定されています。

2. はじめに

ゴルフの規則制定団体の技術スタッフの使命の重要な構成要素は、ゲームの力学と動力学についての基礎研究を行うことです。特に興味のある一面は、何も無い状態と芝の深い状態におけるロフトの付いたクラブとボールの斜めのインパクトです。このトピックは1980年代後半にかなり注目を集めました。

近年は、斜めのインパクトにおけるゴルフボールの作用について規則制定団体が理解を深めるために実験的、そして分析的な研究が行われてきました。クラブヘッドのフェース加工の影響を含むようにこの研究を拡張するため、包括的な研究が始められました。この研究はこの主題についての過去の研究に基づいて進め、どのようにそのようなフェース加工がボールの発射に、またそのことによって弾道と芝への衝突時における弾み作用に影響を与えるのかについて完全な理解を確立することを意図しています。

3. プロジェクト概要

このプロジェクトは5つの主要な要素からなっています：

- ・ フィールド基準性能試験（終了）
- ・ 芝の代用物の確立（終了）
- ・ フェース処理性能試験（遂行中）
- ・ ショット弾道と着地作用へのフェース処理性能の影響についての研究
- ・ 実験室でのテストをフィールドテストで裏付ける

3.1. フィールド基準性能試験

フェース処理についての完全な研究を始める前に、本当に近年のクラブが、V字溝で標準的なサンドブラスト加工を施したフェースに比べて、著しく性能が向上しているのかどうかを決定しなければなりません。これを受けて、プロフェッショナルゴルファーを使ったフィールドテストプログラムが実行されました。一般に、この研究は様々なロフトをもつアイアンと以下の組み合わせを使用したプレーヤーテストを対象としました。

- ・ V字溝、サンドブラストフェース、バラタカバー糸巻きボール
- ・ U字溝、サンドブラストそして/またはミルド（機械削り）されたフェース、近代のツアーボール
- ・ 溝なし、軽いサンドブラストフェース（性能の限度を確立するため）

何も無い状態と芝の深いライの両方での性能が確立されました。

3.2. 芝の代用物の確立

実験室でのフェース処理をテストするために本物の芝を使用することは実際的ではありません。それゆえ、芝の代わりに媒体が確立されました。プレーヤーフィールドテストのために使用されるクラブは実験室に備えられ、様々な湿らせた紙や布がクラブフェースに付けられました。フィールドテストに使用されるボールはクラブヘッドに向け発射され、発射条件の結果はフィールドでの結果と比較されます。プレーヤーテストの結果を包括する2

つの媒介物が選択されました。こうした媒介物はフェース処理の効果的で再現可能なテストを可能にします。

3.3. フェース処理性能試験

異なるフェース処理デザインパラメーターの影響についての多くの研究が USGA によって過去に行われてきました。こうした過去の研究でなされた観察は再考され、フェース処理の範囲のための基本を規定しました。

4つの基本的なプロファイルが作られ、現在ゴルフ規則によって規定されている上限やそれにちかい寸法によって特徴付けられます。これらは以下のものを含みます（すべては適度なサンドブラストを施したフェースを有する）。

- ・ U字溝(90°の側壁) 0.010inの縁の丸み、0.035inの幅、そして0.020inの深さ、0.140inの溝の間隔
- ・ V字溝(55°の側壁) 0.010inの縁の丸み、0.035inの幅、そして0.020inの深さ、0.140inの溝の間隔
- ・ 中間の溝(65°の側壁) 0.010inの縁の丸み、0.035inの幅、そして0.020inの深さ、0.140inの溝の間隔
- ・ 中間の溝(75°の側壁) 0.010inの縁の丸み、0.035inの幅、そして0.020inの深さ、0.140inの溝の間隔

基本プロファイルのデザインパラメーターは各パラメーターの影響が隔離されるように体系的にかえられました。研究されたパラメーターは図 3.1 に図解的に示されています。各デザインパラメーターを個別に修正した結果、70の個々のプレートデザインが開発されました。ワイヤ放電加工機(EDM)がこうしたプロファイルを造るのに使用されました。プレートデザインは付属 E に詳述されています。

各プレートは2種類の芝の代用媒体とともに4つの角度でテストされました(またはすぐにテストされるでしょう)。インパクトスピードはインパクト角度と一致するようにセットされました。

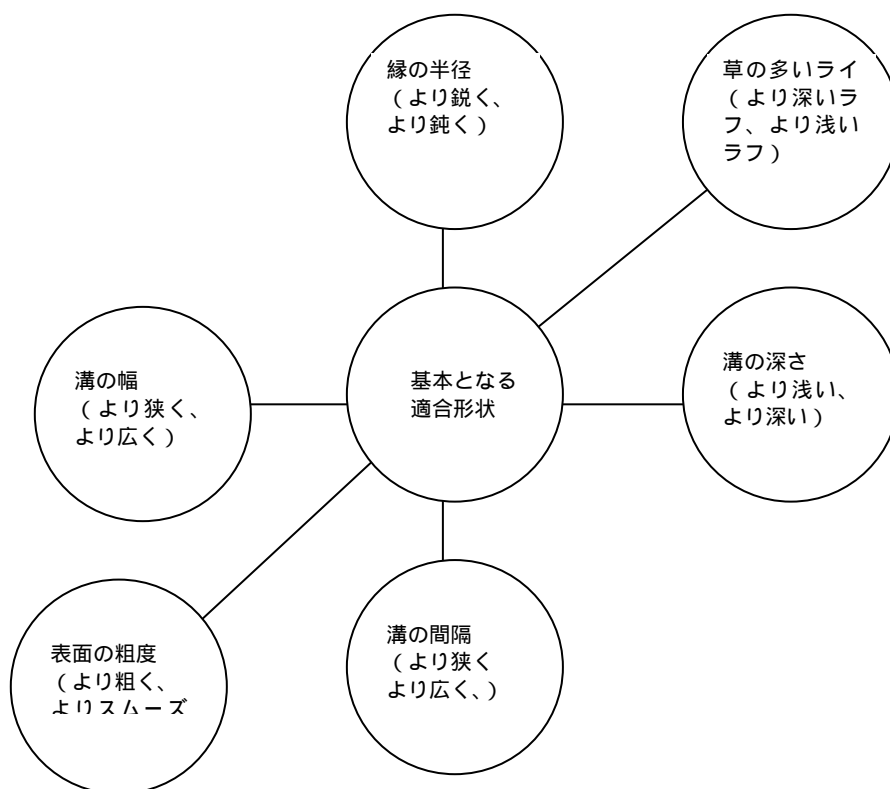


図 3.1: プレートテスト実験的パラメーター

3.4. フェース処理仕様パラメーター評価

フェース処置についてのテストが終了すれば、フェース処理の範囲の有効性について様々な結論が出されることでしょう。こうした結論はさらなるテストプレートとともに、また、フィールド基準過程と同様の手順で行うプレーヤーテストによって検証されることとなります。

3.4.1. ボール空気力学と芝との衝突

発射条件におけるフェース処理の結果はボールの飛球弾道とその結果として芝への弾みと転がりに影響を与えます。アイアンの弾道のためのボールの空気力学とその結果生じる芝への衝突の両方についての研究が行われています。

3.5. さらなるボールタイプの検討

過去の研究は斜めのインパクトにおけるボールの特性を考察しながら行われてきました。つまり、この研究は溝のあるものと溝のないもの、そして粗いプレートとスムーズなプレートの効果を、異なる衝突角度（ロフト）と速度における異なるゴルフボールタイプのスピンの大きさについて定量化することを含んでいました。一般に、また他の多くの研究と一致して、定量化されたスピンから、ボール構造が摩擦作用を決定づけるということが分かりました。

プロジェクトのこの部分の目的は、上に述べたプレートを構造のタイプのすべてのものを含む種類のゴルフボールについてテストすることです。

3.6. プロジェクト要旨

図 3.2 は図解的にプロジェクト作業を示しています。

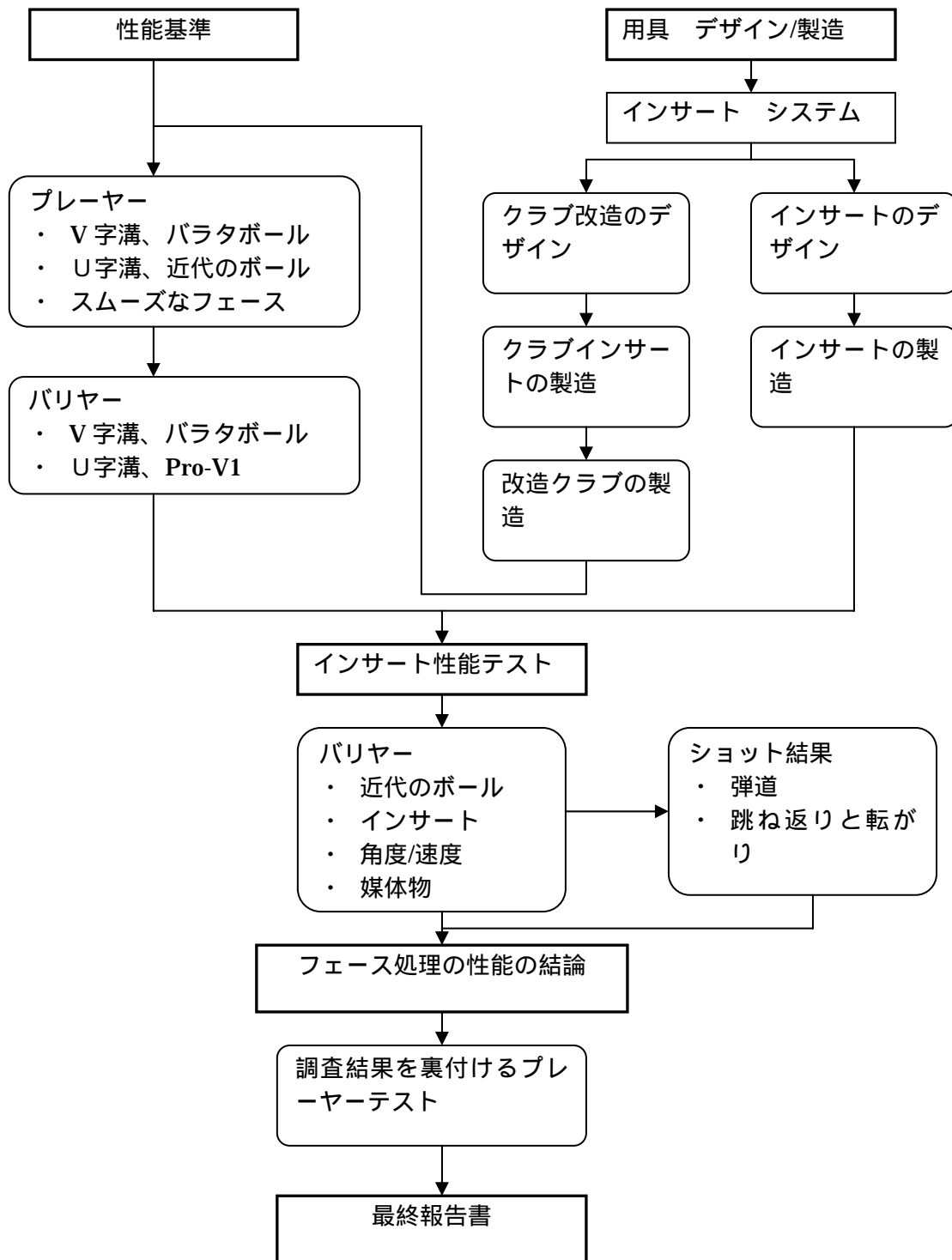


図 3.2: プロジェクトフローチャート

4. プレーヤーテスト

プレーヤーテストの目的は現行の適合の上限の代表的な用具と U 字溝が一般的になる前の時代の用具を使って様々なライからの発射条件を求めることです。

3本セットのクラブ（5番、8番、サンドウエッジからなる）を関心のある2つの時代を代表する溝で製造しました。過去の研究に基づき、2つの時代で典型的であったボールが選択されました（4.1.4.項を参照）。

アイアンの3つ目のセットには、溝の仕様の実際的な目安を規定するために溝がないもの（ただし、典型的なサンドブラストを施したフェースの粗さを持つ）が使われました。フェアウェイと浅めのラフのライからハイスピードビデオによって測定されるインパクト条件と、レーダー追跡ユニットによって測定される発射条件が求められました。付属 A はプレーヤーテストの完全な報告書を含んでいます。

4.1. 使用される用具

4.1.1. クラブ

溝のない、鍛造、マッスルバックのブレードアイアンがクリーブランドゴルフから提供されました（CGI 5,8番アイアン、Tour Action 900 56° サンドウエッジ）。こうしたヘッドへのその後のすべての修正は USGA と R&A によって行われました。クラブヘッドはコンピュータ制御ミルに取り付け、浅いポケットが各アイアンのフェースに加工されました。適合している U 字溝と V 字溝のインサートはアクリル系接着剤を使ってポケットに接着されました。最後に、クラブのフェースは公称表面粗度を規定するために吹き付け加工がされました（4.1.3 項参照）。

表 4.1. に仕上がったアイアンの仕様が与えられています。

表 4.1: 仕上がったプレーヤーテストクラブの仕様

クラブ	ロフト	ライ	長さ	スイングウェイト
5 アイアン	29°	61°	38in	D-2
8 アイアン	38°	63°	36.5in	D-1
SW	56°	65°	35in	D-3

4.1.2 クラブインサート

ワイヤ放電加工機（EDM）がポケットを有するクラブヘッドのインサートを製造するのに使われました。この方法は切削工具を製造する必要なしに極めて正確な溝のプロファイルを供給するので採用されました。U 字と V 字の溝の仕様は図 4.1 と 4.2 に示されています。

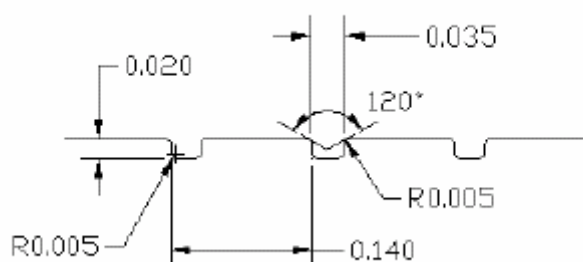


図 4.1: U字溝の仕様 (すべての寸法はインチ、角度は度で示されています。)

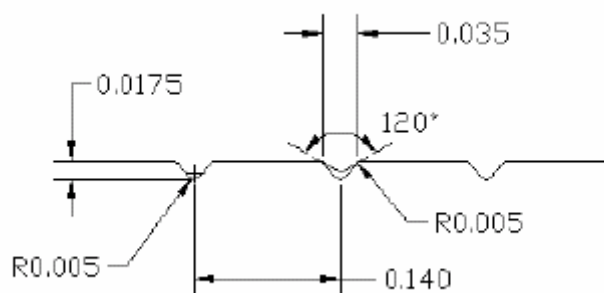


図 4.2: V字溝の仕様 (すべての寸法はインチ、角度は度で示されています。)

加工していないクラブ、ポケットの空いたクラブ、仕上がったクラブの写真は図 4.3 に示されています。



図 4.3: 溝のないクラブヘッド、ポケットの空いたクラブヘッド、仕上がったクラブヘッド

4.1.3. 吹き付け加工

吹き付け加工によって予見可能な一貫した表面の粗さを付与するために、表面の粗さへの吹き付け媒体と吹き付け時間の効果を調査する簡潔な研究が行われました。オペレーターによる影響を最小限にするために、スプレーガンの吹き出し口はターゲットから 24 インチにセットされました。このことはガン进行操作することなしにターゲットを均一にカバーすることを確実にします。図 4.4 は実験のセットアップを図解的に示しています。

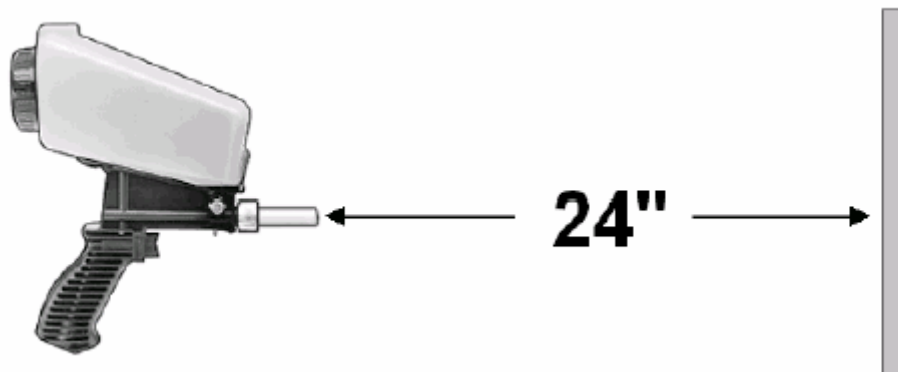


図 4.4:吹き付け加工図解

4 グリットサイズ(36,60,80,そして 180)のアルミ酸化物媒体は 20-40 メッシュの範囲の粒子を持つスラグとともにテストされました。2つのターゲット物質、柔らかい 304 ステンレスとより固い 17-4 ステンレスが使われました。吹き付け時間は 10,30,60 秒が使われました。プレートの表面の粗さ (Ra) は吹き付け加工後に測定されました。結果は図 4.5 に示されています。望まれる粗さを得るためにグリットサイズが効果的に使用され得ることが見て取れます。

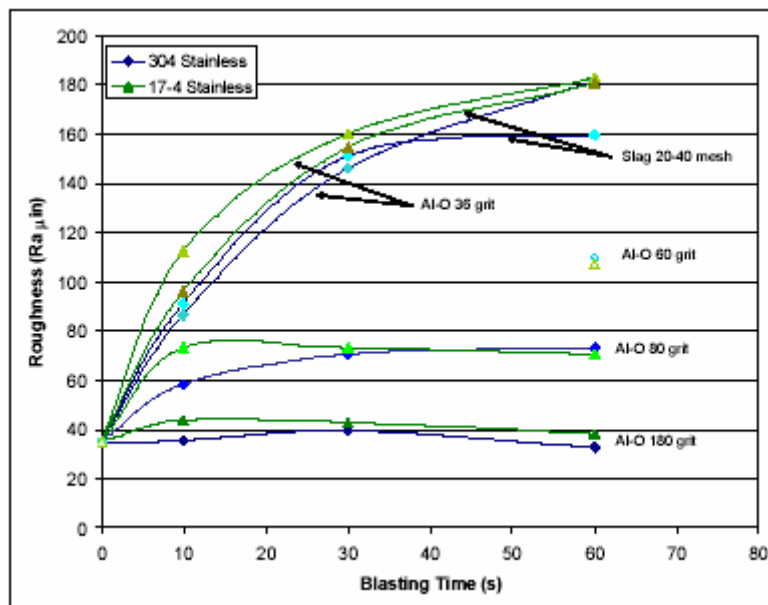


図 4.5: 吹き付け加工の結果

プレーヤーテストクラブには、60 グリットアルミニウム酸化物を 40 秒間吹きつけ、表面の粗さ (Ra) は約 100 μin になりました。吹きつけ加工研究についての概略報告は付属 D に含まれています。

4.1.4. プレーヤーテストのためのボール選択

このプロジェクトのプレーヤーテスト部分の目的は現在の適合上限を代表する用具と U 字溝が一般に使用されるようになる前の時代の用具での発射条件を得ることでした。そのためには、この 2 つの時代の性能を代表するボールを選択する必要がありました。

近代のボールの選択は現在のツアーでの使用に基づき行われました。しかしながら、U 字溝が一般に使われるようになる前の時代を代表するボールの選択はいささかより難しいものでした。

ゴルフボールの性能、特にリキッドセンターの糸巻きのあるものは時間とともに劣化するということはよく理解されています。それゆえ、研究はこの劣化を定量化するように行われました。1987 年の溝の研究から得られたデータは U 字溝が一般に使用されるようになる前の時代の性能の基準として使用されました。この研究で使用された同様のボール (Titleist Tour 384) は再びテストされ、この 2 つの結果が比較されました。加えて、より新しい (最新ではない) 糸巻き、リキッドセンターボール (Titleist Tour Balata 100) がテストされました (規則の両制定団体は適度な量を保有しています)。

ロフトアングルが高い場合、当初の研究ボールのスピンの通常方向における反発係数はほんの少しだけ低下しました。しかしながら、ロフトが低い場合、より大きな低下が観察されました。しかしながら、より新しい糸巻きボールはいささかこの性能の低下は軽減しました。様々なテスト条件におけるスピンは 1987 年に測定されたスピンから 17% 低いものから 5% 高いものに及びました。それゆえ、より新しい Titleist Tour Balata 100 を U 字溝が一般に使用されるより前の時代の代表的な発射条件を得るために使用することが最善の選択であると結論付けられます。ボール選択研究についての報告書は付属 C に含まれています。

4.2. プレーヤーテスト方法

このテストは 6 名のツアープロフェッショナルゴルファーによって行われました。各プレーヤーは 2 つの異なるライからショットをするように求められました。ひとつはフェアウェイのライを代表するライ (クラブフェースとボールの間に芝/堆積物がない、ここから先では「ドライコンディション」と表記する。) ともうひとつは軽いラフ (芝がクラブフェースとボールの間に介在する。ここから先では「ウェットコンディション」と表記する。) から近年のボール/溝の仕様と、U 字溝が一般に使用されるようになる前の時代を代表するボール/溝の組み合わせの両方を用いています。両方のボール/クラブの組み合わせに対してすべての 3 つのロフトでテストされました。プレーヤーはまた、近代のクラブ/ボールの組み合わせをクラブフェースに濡れた紙の介在物を置いてショットするように求められました。

図 4.6 は典型的なバミューダグラスのラフを示しています。



図 4.6: ラフの典型的なライ

4.2.1. プレーヤーテスト手順

プレーヤーの疲労の結果への影響を最小限にするための措置が取られました。このことはクラブ/ボールの順番をランダムにすること、プレーヤーによって始めるライを変えることを含みます。各テスト条件に対して以下の手順が取られます。

- 1) ボールが事前に決められたライに置かれる
- 2) プレーヤーはターゲットを決められる（方向のみ）
- 3) プレーヤーは事前に決められたクラブ、溝のプロファイル、ボールタイプでボールを打つ
- 4) 発射とそれに続く弾道を追跡するためにレーダーが使われる
- 5) クラブの入射軌道、初期のボール発射を記録するためにオーディオトリガーを使ってハイスピードビデオが使われる

4.3 プレーヤーテスト結果

個々のプレーヤーから得られた結果は、この研究の引き続いての部分で6名のプレーヤーの平均結果を使用することを正当化するのにプレーヤー間で十分同じようであるということが分かりました。図 4.7 はドライとラフからの2つのボール/溝の組み合わせについての平均結果を示しています。

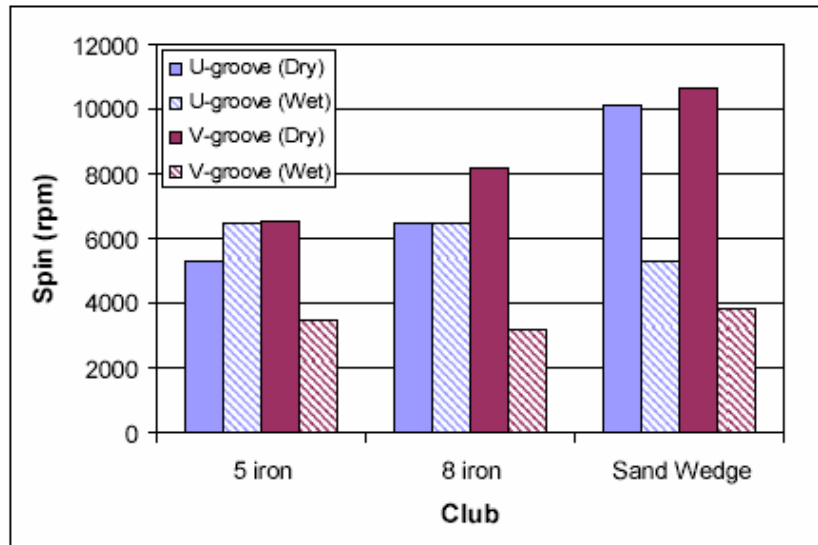


図 4.7: プレーヤーテストの平均

図 4.7 は3つの重要な結果を明らかにしています。まず、ドライでのバラタボール/V字溝の組み合わせはすべてのロフトにおいて近年の組み合わせよりもより大きなスピンを発生させています。2つ目に、ラフからのライでは、近年のボール/U字溝の組み合わせはすべてのロフトにおいてバラタボール/V字溝の組み合わせよりも大きなスピンを発生させています。最後に、近年の用具はドライライよりもラフからのライから実際により多くのスピンを発生させる潜在能力を有しているということが見て取れます。この最後の結果は、いささか直感に反したものですが、様々なモデルによって十分予測されており、この報告書の後半で議論されるでしょう。

溝を施したクラブに加え、溝のないクラブでも、ラフのライから近代のボールを使ってテストを行いました。結果は溝を施したクラブでの結果とともに図 4.8 に示されています。

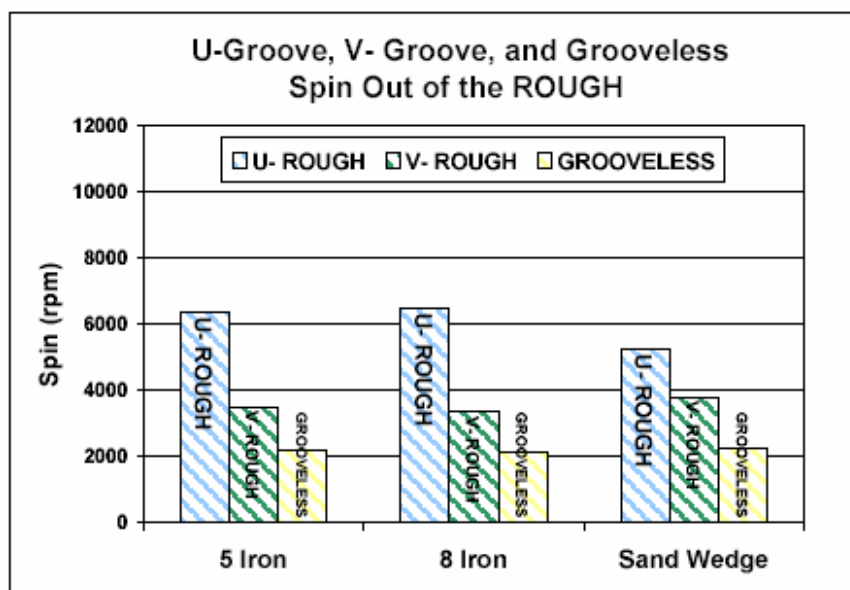


図 4.8: ラフからのプレーヤーの結果の平均 (U字溝、V字溝、溝なしクラブ)

図 4.8 では U 字溝は溝なしと V 字溝の両方に対してかなりの向上を示しているものの、V 字溝の性能は溝なしに対して若干の向上だけであるということが見て取れます。このプレーヤーテストについてデータ収集システムについてさらなる詳細と結果の一覧を含んだ完全な報告書は付属 A に含まれています。

5 . 芝の代用物質の確立

室内実験のためにテスト媒体として本物の芝を使用することは時間と共に一貫性を保つことが困難であることが示されてきました。それゆえ、同じように作用し、芝の深い条件でテストしたときに観察される重要なインパクトの現象を記録することを試みる適切な代替物を特定することが必要です。そのためには、プレーヤーテストで用いた U 字溝と V 字溝のクラブを使って多くの介在させる素材がテストされました。

5.1 テスト用具

プレーヤーテストのときと同様に、1990 年以前のボール/クラブの組み合わせ（V 字溝アイアンと Titleist Tour Balata）と近代のボール/クラブの組み合わせ（U 字溝アイアンと Titleist Pro V1 392）が使われました。

テストのために、シャフトを装着したテストクラブがクラブをグリップ部分で固定するテスト用取り付け具に搭載されました。各クラブのセットアップの間、取り付け具は正しいライアングルになるように回転させられました。加えて、取り付け具はプレーヤーテストの際に各クラブについて測定されたインパクトのロフトアングルになるように回転させられました（ロフトを下げることを含む）。適切なゴルフボールが固定されたクラブにプレーヤーテストの際に各クラブで測定されたのと同様のインパクト速度で発射されました。インパクトの前、後、インパクトのスピード、アングル、スピン率が各ショットについて測定され、記録されました。



図 5.1:芝の代用物質の研究のためのテストセットアップ

5.2.候補となる物質

計7つの候補となる物質の形態が評価され、表5.1.に掲載されています。

表 5.1:候補となる芝の代用物質

候補となる代用物質	解説
濡らした新聞紙	標準的な新聞紙を水に浸す
濡らした布地	デュポン社 Sontara EC(PR821)スパンレース布地を水に浸す
濡らしたティッシュペーパー	ティッシュペーパーを水に浸す
濡らしたスリットの入った新聞紙	標準的な新聞紙に幅 3/16 インチのスリットを入れ水に浸す
スリットの入った濡らした布地	デュポン社 Sontara EC(PR821)スパンレース布地に幅 3/16 インチのスリットを入れ水に浸す
2滴濡らしたスリットの入った新聞紙	標準的な新聞紙に幅 3/16 インチのスリットを入れ水滴を2滴たらして湿らす
2滴濡らしたティッシュペーパー	ティッシュペーパーを水滴を2滴たらして湿らす

5.3.結果

2つの素材、濡らした新聞紙と濡らしたスリットの入った布地（デュポン社 Sontara EC）は測定されたラフからのアベレージプレーヤーのスピンの結果と同様の結果をもたらしました：すなわち、スリットの入った布地はすべてのクラブに対してアベレージプレーヤーよりも大きなスピンがある一方で、新聞紙はすべてのクラブに対してアベレージプレーヤーよりも低い、あるいは同様のスピン結果となりました。すべてのクラブに対して芝に相当する唯一の素材というものがなかったので、今後のテストは両方の媒体物で行うことに決定しました。様々なクラブと素材についてのスピン量の結果は図 5.2 に示されています。

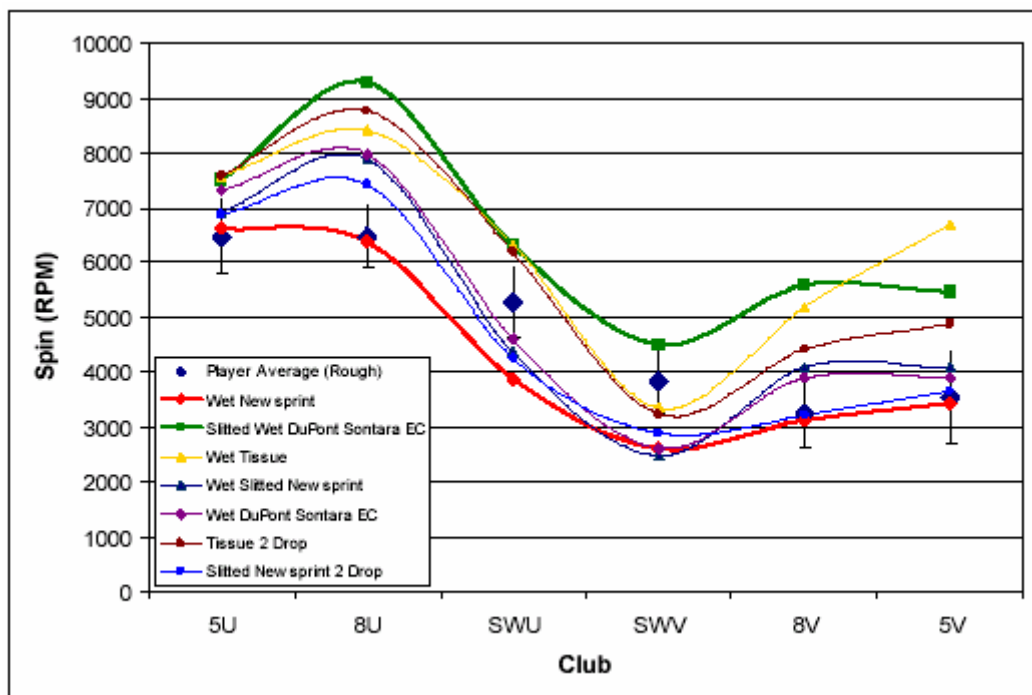


図 5.2:様々な媒体形状のスピンへの結果

6 . プレートテストプロトコル

このプロジェクトのこの部分の目的は、介在する物質がある場合の様々な溝やフェース処理パラメーターのスピンへの影響の幅広い評価を提供することです。70 のテストプレートが加工され、各角度でテストされている過程です。

6.1 用具

プレートは焼きなまし状態の 17-4 ステンレスを EDM方式で加工して作られました。溝のプロファイルと表面処理は付属 A に詳述されています。図 6.1 は完成した基準(B シリーズ)プレートの横断面を示しています。(i)機械が非常に精巧であること、(ii)各溝のプロファイルに対して個々のカッターを必要としないこと、(iii)デザインから製造までの必要な準備期間が非常に短い、と言う理由から、ワイヤ放電加工機方法がそうしたプレートを製造するのに優れていることが証明されました。溝の機械加工に加えて、プレートのフェースには付属 E で示されている吹きつけ加工やミルド(機械削り)加工がなされました。

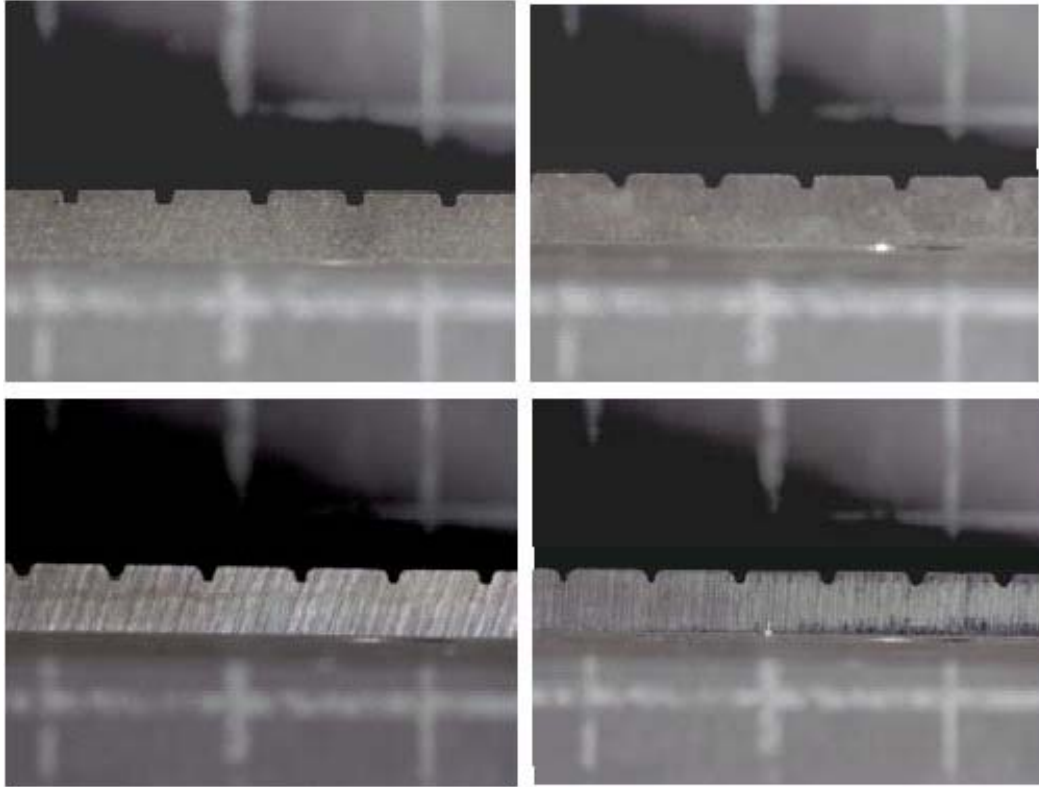


図 6.1: 溝の入ったテストプレートの横断面 (Bシリーズ)

すべてのプレートには順繰りに多軸フォース振動板に取り付けられる基準プレートの穴にマッチする6つの装着用の穴が開いています (プレートの寸法は付属Fに詳述されています)。この完全な組み立て部は角度調整可能機械運転者テーブルに取り付けられている大きくて重厚なブロックにボルトで固定されています。フォース振動板は通常と正接の方向の力の時系列で記録することができます。図 6.2 は斜めの角度で振動版に取り付けられた典型的なプレートを示しています。



図 6.2: 溝の入ったテストプレートで斜めのインパクトのテストセットアップ

6.2. インパクト条件

斜めのインパクトがプレー条件でのインパクトを代表するという意図があります。特に、インパクト角度とともにインパクト速度は減速します。図 6.3 はプレートのロフト角度と入ってくるときのボール速度との関係を示しています。テストプロトコルは付属 G に含まれています。

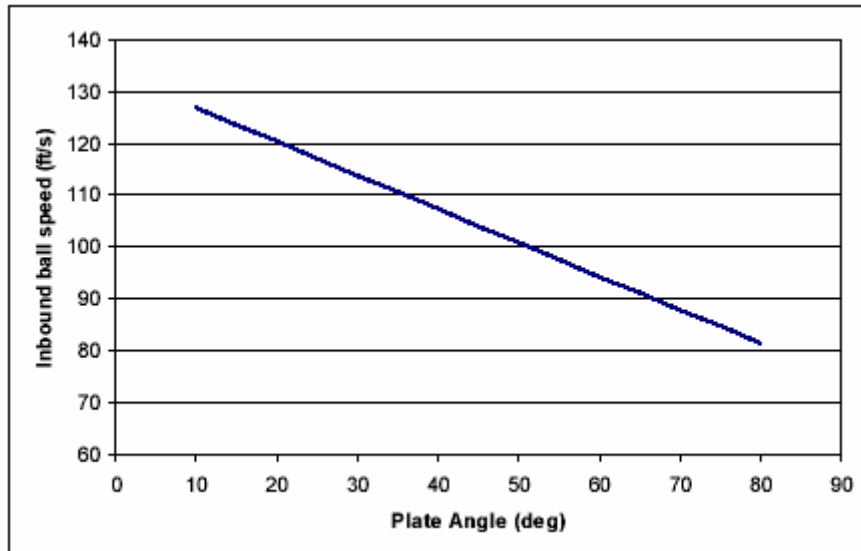


図 6.3: テストプレートの角度に応じた、入ってくるときのボールスピード

6.3. データ収集

入ってくるときと出ていくときの速度、角度とスピン率は各ショットに対して自動カメラシステムを用いて記録されます。各テスト条件において、スピン率の平均値の信頼区間が 1

分間に 300 回転以下になるまでショットが発射されます。多軸フォース振動板からの力の時系列は各テスト条件につき 1 インパクト記録されます。そうした時系列の例は図 6.4 に示されています (ロフト角 60 度のプレートについて)。

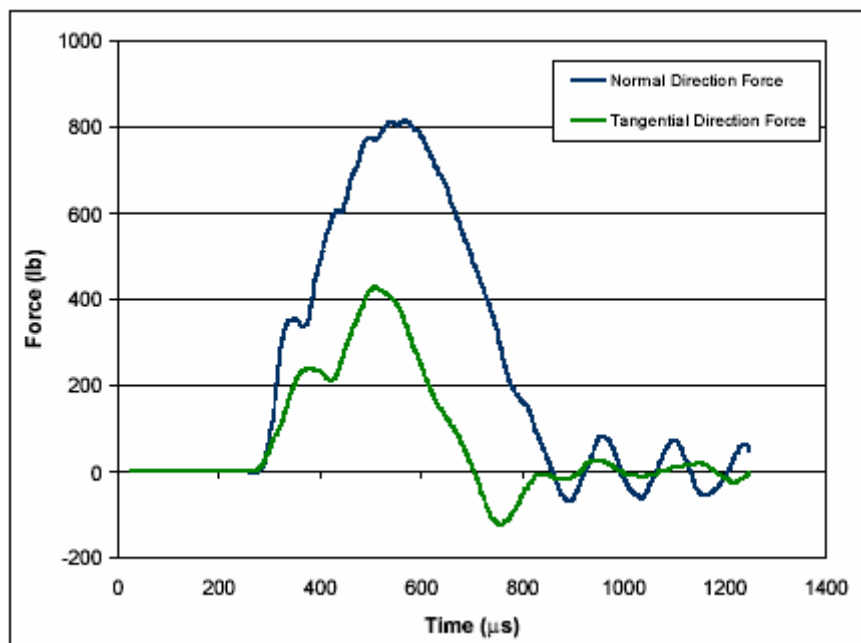


図 6.4: 力の時系列の例 (ロフト角 60 度のプレートについて)

6.4. ボール構造タイプテスト

当初の研究は、現在市場で入手できるゴルフボールのどれを使えば最も包括的なテストプロトコルが可能となるかを決定するために行われました。スピン率と硬度のショアD値が測定され、ボールごとのスピン量と素材の特性を集約するために使われました。すべての力学のテストは溝の入ったプレートで表面の粗さ (Ra) を $40\ \mu\text{in}$ 、速度を 100ft/s で行いました。3つのロフト角度、40,50,60度が使われました。

一般に、2,3,4 ピースのボールがそれぞれにスピン率の高い、中くらい、低いものが検討されることになります。

図 6.5 はドライインパクト、B100 プレート、 100ft/s 、ロフト角度 60 度における選択した 8 つのボールのおおよそのスピンの大きさを示しています。

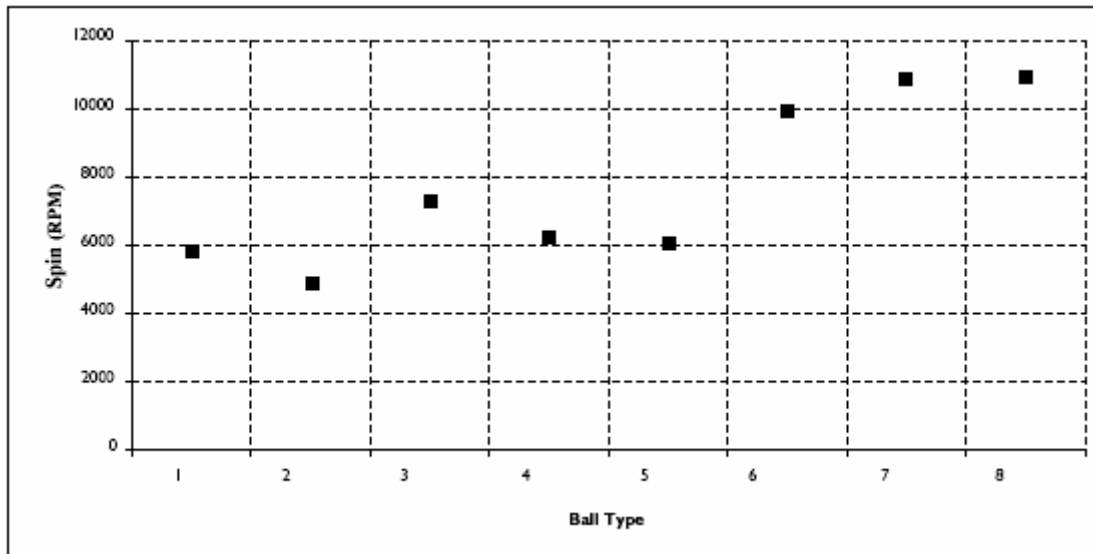


図 6.5: B100 の溝の入ったプレート、ドライコンディション、100ft/s、ロフト角度 60 度でのボールタイプに応じたスピン

7. モデリング

斜めのインパクトのモデリングはしばらくの間、規則制定団体の特別の関心事でした。斜めのインパクトの現象を理解するために、公式に基づいた有限要素、集中定数、弾性を用いた取り組みは効果的に用いられてきました。有限要素分析は、特にラバー素材構成モデルの高度な知識と合わせたときに、インパクト作用の詳細な分析のための極めて有効なツールを提供するということが分かりました。しかしながら、Maw（参考情報は付属 I を参照）によるような弾性連続体に基づく公式の柔軟性と効果性は、実験データを解釈する重要な手段であることが証明されました。ゴルフボールの斜めのインパクトのモデルの使用についての報告書は付属 I に含まれています。

このモデルの使用は斜めのインパクトの作用を明確に説明することを意図しているというよりは、むしろテスト条件における反応の特徴を理解する基礎として考えているということとは述べておかなければなりません。

7.1 モデルパラメーター

Maw モデルは、ボールの質量特性に加えて 3 つの入力項目を必要とします。

- ・ 等価の弾性率
- ・ 無次元正接の作用パラメーター：
- ・ 摩擦係数（静的と動的は同じと仮定する）

等価の弾性率はインパクトの接触時間を決め、したがって、その値は通常の方法の時系列から得られます。他の 2 つのパラメーターはインパクト角度に応じて正接の時系列とスピン率に影響を与えます。この 2 つのパラメーターはドライコンディションでのテストされた角度でのスピン率に最も適するようにセットされます。テストボールのためのパラメーターは表 7.1 に示されています。

表 7.1: Maw モデルパラメーター

パラメーター	値
等価の弾性率	110MPa
無次元正接の作用パラメーター :	1.35
摩擦係数 (ドライ)	0.55

パラメーターを確認する際に、様々な角度でのインパクトの力の時系列 (ドライコンディション) はモデル予測と比較されました。そうした比較の典型例は図 7.1 に示されています。

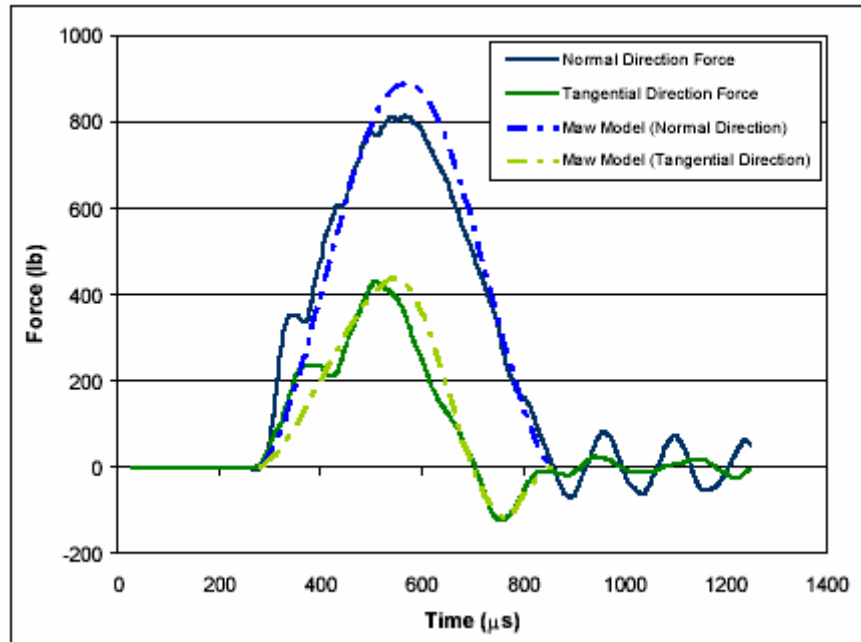


図 7.1: 測定された力の時系列と予測された力の時系列の典型的な比較 (60 度のプレートアングル)

予測された力の時系列と測定された力の時系列とのよい一致が図 7.1 から見られます。

7.2. テストボール反応における摩擦係数の影響

ドライコンディションインパクトに対する合理的なモデルパラメーターを確立したあと、このモデルは跳ね返るときの摩擦係数の影響の研究に使われました。摩擦係数は 0.025 から 0.55 まで変化します (ドライコンディションでの摩擦係数)。図 6.3 で与えられているプレートのロフト角度と罨入ってくるボール速度の間関係はこのモデルのインプットで使われています。摩擦係数の効果の結果は図 7.2 に示されています。

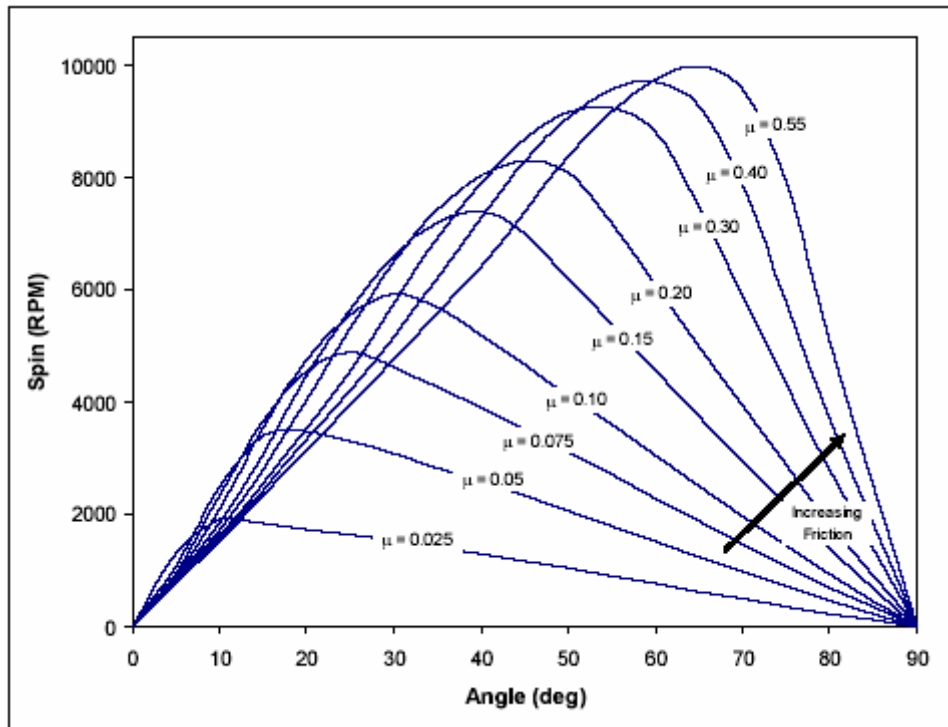


図 7.2: Maw モデルを使ったスピン率における摩擦係数の影響

図 7.2 からいくつかの重要な観察結果が得られます。それらは；

- ・ 最大スピン率とそれが発生する角度は摩擦係数によるところが大きい
- ・ しばしば、摩擦を減じることは実際により多くのスピンへと導く
- ・ スピンは一意的に摩擦係数を特定しない
- ・ スピンへの摩擦の効果の観察を効果的にするために、様々なインパクト角度がテストされなければならない

8 . プレートテスト中間結果

今まで、現行の適合の上限と考えられる溝の仕様と同様に、基準プレートについてテストは完了しました。残りのプレートの結果は、さらなるボール構造の結果と同様に後に示されることとなります。

8.1 ドライコンディション

過去のテストでは溝の仕様とフェース処理はドライ状態における跳ね返りでは差は生じないということを示していました。したがって、基準U字溝と基準V字溝のプレート (B100 と B400 をそれぞれ) がドライコンディションでテストされました。プレート角度に応じたスピンの結果は図 8.1 に示されています。2つのプレートの結果は見分けがつかないということが見て取れます。

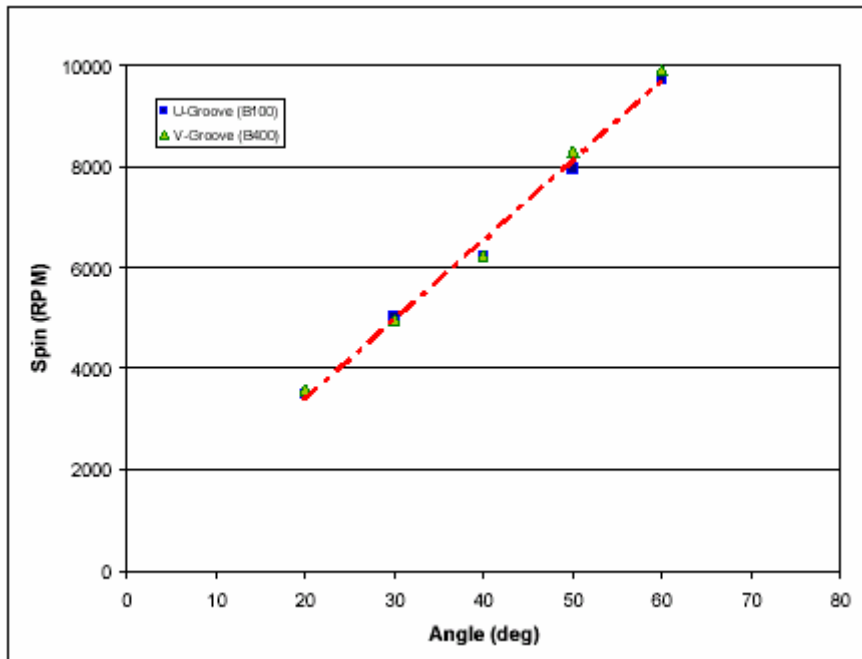


図 8.1: ドライコンディションでのスピン率 (U字溝プレートとV字溝プレート)

こうしたテスト結果を図 7.2 で示されたモデル結果に重ねることで実験結果とモデルとの間により一致があることが示されます。

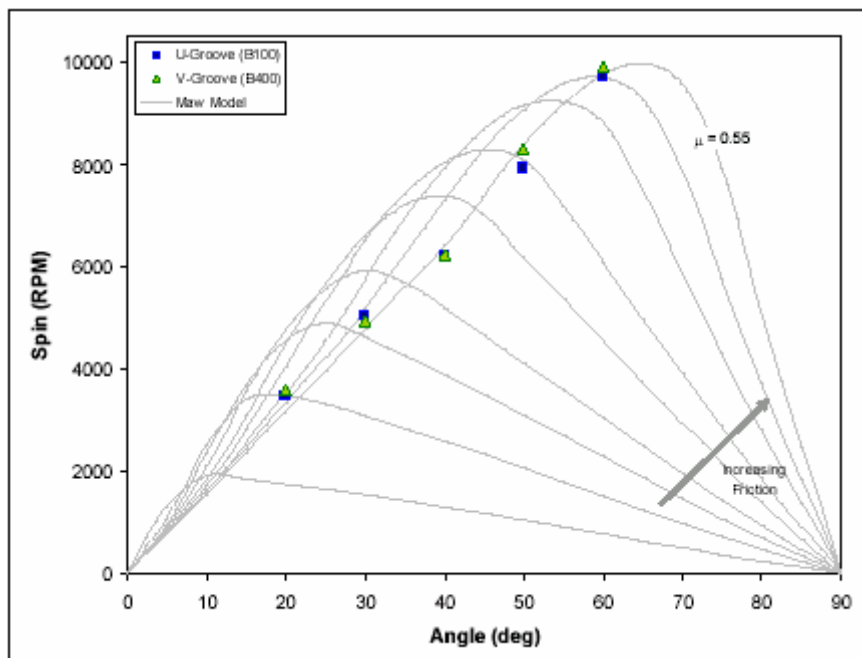


図 8.2: ドライコンディションでのスピン率 (U字溝プレートとV字溝プレート) の Maw モデルとの比較

8.2 介在物質がある状態でのインパクト

今まで、2つの芝の代替媒体物を使ったテストが、U字とV字の溝プレートと2つの中間

の溝(75°と65°の角度の側面)からなり、すべて縁の半径が0.010inの基準プレート(Bシリーズ)で行われました。加えて、縁の半径が0.005inのU字溝プレートとV字溝プレート(プレートR102とR402のそれぞれ)がテストされました。

こうしたテストの結果は図8.3(デュポン社 Sontara EC product)と図8.4(新聞紙に対する)に示されています。図8.2にあるように、いくつかの摩擦係数に対する Maw モデル予測を重ねた結果が示されています。

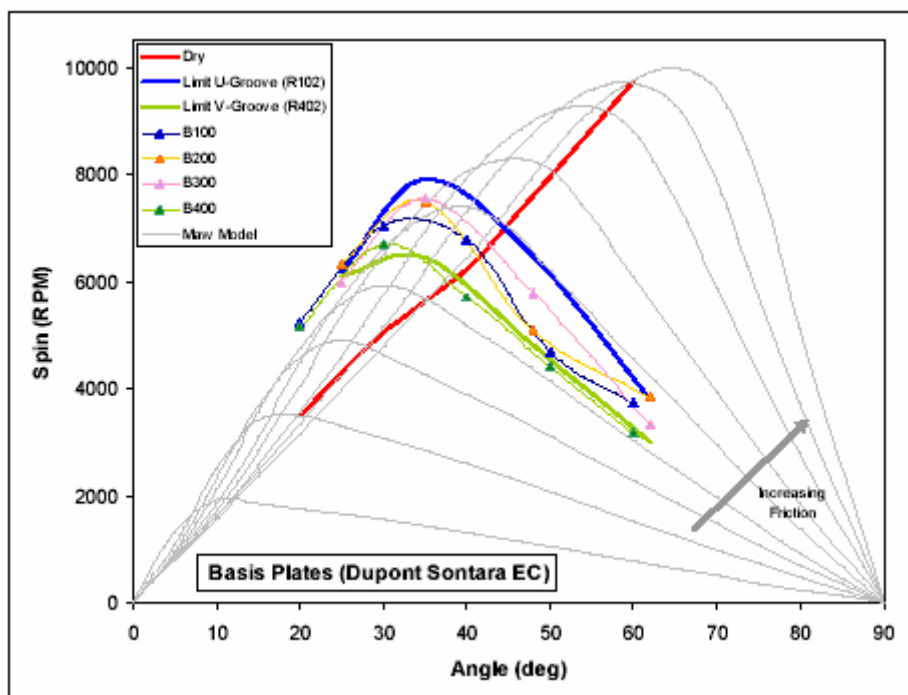


図 8.3: デュポン社 Sontara EC を介在させたプレートテスト

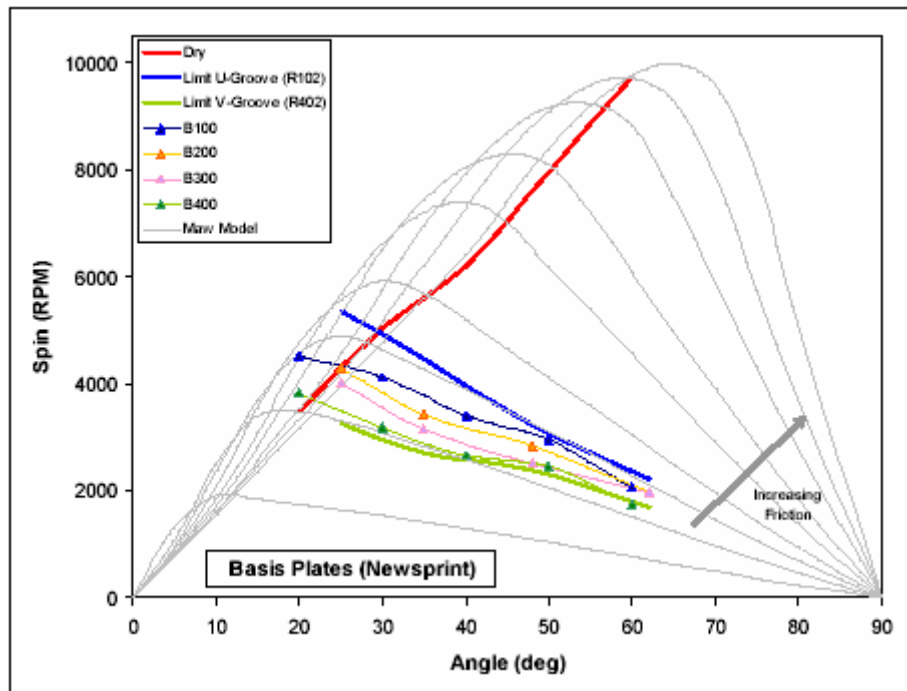


図 8.3: 新聞紙を介させたプレートテスト

これまでの結果から多くの観察結果が得られます：

- ・ 両方のタイプの介在媒体において、U字溝はV字溝に比べて重要な性能の向上を示している。
- ・ 両方の媒体物において、U字溝においてより小さな0.005inの縁の半径のものは0.010inの縁の溝よりもより多くのスピンを発生させている。しかしながら、縁の半径はV字溝においてはほとんど、あるいは全く差を生じさせない。
- ・ すべての溝で、デュポン社 Sontara は新聞紙よりもより大きな摩擦をもつ
- ・ モデルとプレーヤーテストとも一致して、ある角度では、介在する物質があることが実際にスピンを増やす。

9.結論

プレーヤーテストは近年の溝とフェース処理の仕様はより伝統的なV字溝に比べて大きな性能の向上を示しているということを裏付けました。

2つの物質が実験室での研究で溝の入ったプレートにおいて芝の代わりに使用されるのに適切な代替物として確認されました。70のテストプレートが、デザインされた様々な溝の仕様を正確に効果的に製造するためにワイヤ放電加工機を用いて加工されました。

こうした溝の入ったプレートのインパクト性能の結果は、弾道や芝に衝突するときの作用とともに近いうちに考察されるでしょう。こうした研究成果の結論はそれに引き続いてのプレーヤーテストを通じて裏付けられることでしょう。

現時点では、このプロジェクトの大半は2006年の秋までには完了するということが予想されます。