

厚生科学研究研究費補助金

障害保健福祉総合研究事業

チェアスキー・ソルトレークモデルの研究開発に関する研究

平成13年度 総括研究報告書

主任研究者 田中 理

平成14(2002)年3月

目 次

I. 総括研究報告

| | | |
|-----------------------------|-------|---|
| チェアスキー・ソルトレークモデルの研究開発に関する研究 | ----- | 1 |
| 田中 理 | | |

チェアスキー・ソルトレークモデルの研究開発

主任研究者 田中 理（横浜市総合リハビリテーションセンター）

研究要旨 高性能競技用チェアスキー（ソルトレークモデル）の開発を通して、一般に提供できるチェアスキー普及モデルの向上をはかり、障害者のスポーツ・レクリエーションを媒体とした社会参加の促進に寄与する。

A. 研究目的

高性能競技用チェアスキー（ソルトレークモデル）の開発を通して、一般に提供できるチェアスキー普及モデルの向上をはかり、障害者のスポーツ・レクリエーションを媒体とした社会参加の促進に寄与することを目的とする。

そのため本研究では、チェアスキーの理想的なサスペンション機構と予想される台形リンク・サスペンションをベースに、①台形リンク・サスペンションを工学的に分析し、最適リンク構成とそれに適合するショックアブソーバを開発する、②選手個別の身体機能障害に適合するチェアスキー・シートをCAD・CAM技術を取り入れて開発する、③高速系種目（滑降・スーパー大回転）競技時の空気抵抗を低減する空気力学的カウルを開発する、④以上の研究を通して高性能競技用チェアスキーを開発し、その成果を普及用チェアスキーに還元することでチェアスキー用具の

向上をはかろうとする。

B. 研究方法

昨年度に引き続き、横浜市総合リハビリテーションセンター、神奈川県総合リハビリテーションセンター、ヤマハ発動機株式会社、ヤマハ株式会社、株式会社GKダイナミクス、カヤバ工業株式会社、日進医療器株式会社、川村グループ、川村義肢株式会社、株式会社アニマ、有限会社トモ、横浜ラポールの研究者、研究協力者からなるプロジェクトチームを構成し、①ソルトレークモデル機体開発（台形リンク・サスペンションモデル及びショックアブソーバ、機体フレーム開発）、②雪上滑走実験による官能評価・性能分析（選手の官能評価、ショックアブソーバ・ピストン速度及び衝撃吸収の計測・分析）、③シート開発（CAD・CAMによるオーダーメイド・シート製作法の開発）、④空気力学的カウル開発（カウルの開発と

風洞実験による性能分析、雪上滑走実験による効果分析)に関する一連の研究を実施する。

1) ソルトレークモデルの機体開発

昨年度実施した台形リンク・モデルの機体開発により、①仮想回転中心を固定点に利用することでスキーコントロール操作を容易にする、②仮想回転中心を足関節付近に置くことでフットレスト部の上下運動を抑えこみ、機体の雪面への干渉を防ぐ、③台形リンク特性を生かしてスキー板全長にわたる加重操作を容易にすることが明らかになったが、課題として「フットレストのバタツキ現象」の解消の必要性が残された。これは、雪面からの反力が仮想回転中心とした足関節の前後を通るときに起こる現象と考えられたため、本年度は仮想回転中心を機体フレームの外へ押しやることとし、足関節からつま先やや前方に移動した台形リンク・フレームを構成し、それに適合するショックアブソーバを組み込んだ台形リンク・サスペンションを開発することにする。

台形リンク・サスペンションの性能評価は選手個別の官能評価と目視によるスキー板への加重・抜重状態、サスペンションの衝撃吸収能力の定量的計測データを分析することで行う。計測は雪上滑走実験で、ショックアブソーバに取り付けたポテンシオメータとフレームのばね上・ばね下に取り付けた加速度計により、ショックアブソーバのストローク変化と衝撃吸収状態を検

出することにより行う(図1)。

チェアスキー機体は、本研究への参加協力に同意する、ソルトレークシティ・パラリンピック・アルペン日本代表の5名のチェアスキー選手を対象に製作する。

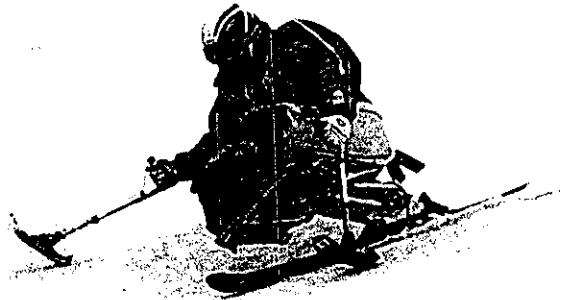


図1 雪上実験の計測風景

2) オーダーメイド・シートの開発

選手個別に滑走時の最適な身体支持を提供するため、昨年度開発したチェアスキー・シート用CAD・CAMシステムを用いて、選手個別のシートを製作するオーダーメイド・シートの製作手法を完成する。開発の大まかな流れは次のとおりである。

①選手の採型：昨年度開発した採型具と3次元磁気計測システムを用いて、選手の型取りを行なう(図2)。

②モデル修正：取り込んだデータをもとにコンピュータ上でモデル形状の修正を行なう。

③ミルによる発泡ウレタンモデルの加工：ウレタンブロックを加工データ通に切削して型を製作する。

④シートの成型：出来上がった型を利用してシートを成型する。

⑤仮合わせ：成型したシートに試乗してもらい、選手個々の適合を確認し、ベルト位置、トリミングラインなど詳細を決定する。

⑥仕上げ：完成品として内張り、ベルト等を取り付ける。

シートは、先述した5名の選手を対象として製作する。

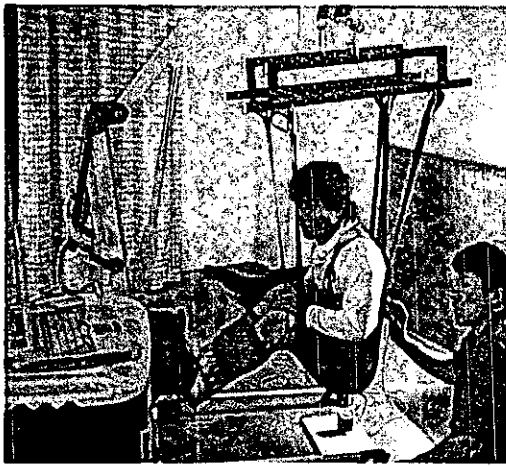


図2 採型用CADシステム

3) 空気力学的カウルの開発

昨年度実施した空気力学的カウルの開発結果から、①様々な体形の選手へのフィッティング、②カウルの剛性不足、③取付けの簡便性、④雪の巻き込み、⑤バンク角の不足、⑥滑走時の騒音などの問題が露呈した。

本年度は、これらの問題解決をはかり、空気力学的カウルを完成する。

(倫理面への配慮)

選手に対する試作機体の提供と研究及び実験への協力要請については、本研究の目的と内容、参加条件、想定される危険、事故の責任の所在、プライ

バシーの保護等を十分に説明し、これに同意する選手と同意書を交わした上で、本研究活動に参加協力してもらうことにした。

C. 研究結果

1) ソルトレークモデル最終機体

開発した最終機体の台形リンク・フレームの動きを図3に示す。つま先やや前方に仮想回転中心を移動したが、昨年の足関節付近に仮想回転中心もつものと同様、フットレスト部の上下変動はほとんど見られない。

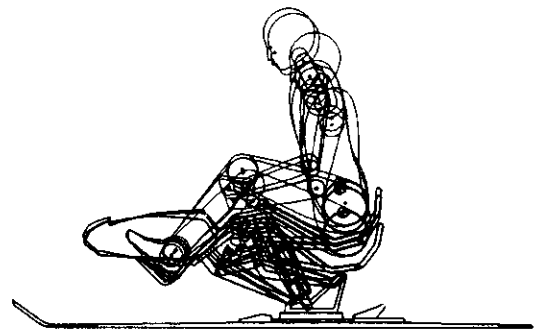


図3 最終台形リンク・フレームの挙動

選手重心の鉛直方向の移動量からみたフレーム・ストロークとショックアブソーバのピストン・ストロークとの相対比（レバー比）は約1.5と割り出された。これをもとにショックアブソーバに備えるべきばね特性と減衰力特性を算出した。ばねは2段ばねとしたが、鉛直分力比の変化率から2段目にばね荷重が移動するまでのストロークを短くして、ばね総体でのばね吸収エネルギーを大きくした。約1.5のレバー比に減衰力を合わせるとともに、レース環境条件に緻密に調整できるようにする

ため、昨年度同様伸展側調整アジャスタを20段階、圧縮側を8段階設定にした。

選手の官能評価と研究者の目視及びビデオ映像から、開発した機体は雪面からの衝撃をよく吸収するとともに、スキー板全体で雪面をよく捉えていることが観察できた。

雪上滑走実験のショックアブソーバのストローク変化及び衝撃吸収に関する定量的計測結果からも、ショックアブソーバが雪面から受ける衝撃を滑らかに吸収している様子が確認でき、加重・抜重時に選手の力が損失されることがなく効率よくスキーに伝えられていることが確認できた(図4)。

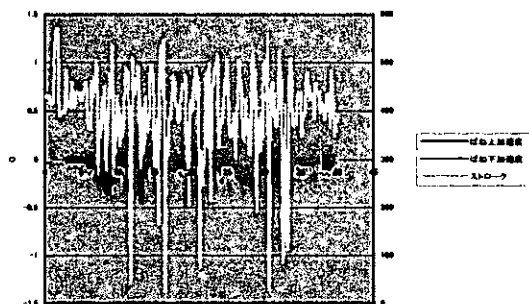


図4 滑走データ

2) オーダーメイド・シート

採型には、昨年度製作した採型具をさらに改良して用い、できるだけ忠実に選手の滑降姿勢を再現できるようにした。実際の採型時には、レーシングスーツを着用した上から採型することにより、より一層正確な形状を読み込む事が可能となった。

開発した採型システムは、採型後コ

ンピュータ上で様々な視点からモデルを評価、修正することができる。選手本人がモデル形状を確認したのち、必要な修正を加えた。図5は本人の希望により、骨盤の回旋変形を左右対称化する修正を加えたものである。



(a) 採型モデル (b) 左右対称化

図5 回旋の矯正使用後

CAD上で修正されたシート形状データは5軸切削加工機にて陽性モデル化される。X,Y,Z,T軸の4軸に加え、ツールの角度を制御するA軸を追加し、同時5軸制御(図6)を可能とした。

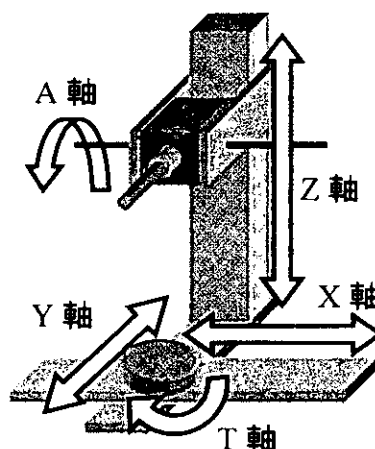


図6 切削加工機の各軸の動き

制御方式はNC工作機械で一般的に用いられるGコードによる方法ではなく、点群データから直接プロファイルデータを作成し、カッターパスを生成するという方式を採用した。これにより、モデル形状にあわせた切削方法さえ決定してやれば、CAMデータ作成が自動化できるというメリットがある。加工の様子を図7に示す。

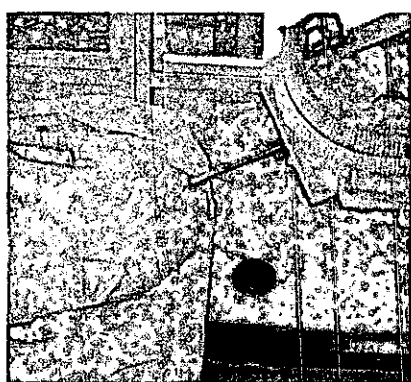


図7 モデルの切削加工

3) 空気力学的カウル

①様々な体形選手へのフィッティング

選手によって、体形（脚の長さ）が異なり、また足の位置の好みも異なることから、足部を固定するフレームとメインフレームの間を位置調整用の部材で結合する構造とした。これにより足の位置を前後と上下方向に任意に調整することができるようになった（図8）。

②カウルの剛性不足の解消

昨年度試作したカウルは装着の容易性などを考慮して上下2分割構造とされていたが、滑走中に接合面がずれたり、雪が中に入りやすいなどの問題があった。そこで、形状を見直すとともに、

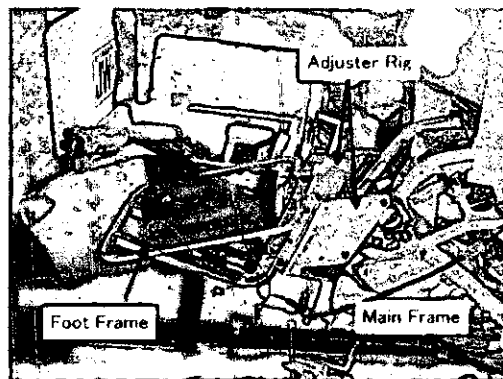


図8 足部位置調整機構

カウルを1ピース構造とし剛性を確保した（図9）。装着は前方からはめる構造とした。また、ポールとの接触でカウルが割れることが懸念されたため、接触が起こりそうな部分を厚くした。

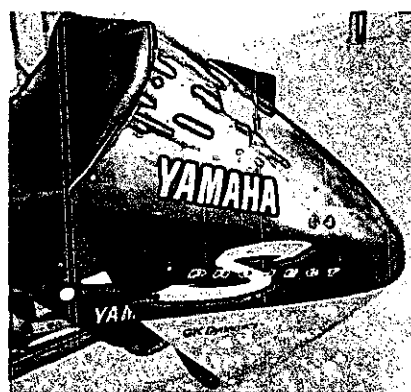


図9 カウル

③取付けの簡便性の改善

グレンデで選手が工具を使わずにグローブをはめたまま容易に取り付けることができるよう、インナーカウル (Inner Shell) の上にアウターカウル (Outer Shell) を被せる構造とした。インナーカウルはアウターカウルの形状に合わせており、アウターカウルの取付け位置が自然と決まるようになっている（図10）。また、インナーカウルは

フレームに固定されており、足部を保護する機能も有するため、インナーカウルのみでも使用することができる。

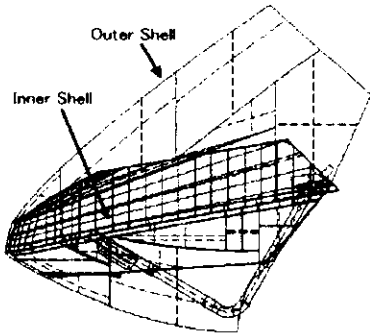


図10 カウルの構成

④雪の巻き込み対策

昨年度試作したカウルでは選手の膝部から雪が巻き込み、足部が冷えるという不具合が生じた。そこでカウルから選手の腰部を覆うカバー(キャンバス)を取り付けた(図11)。これにより雪の巻き込みを防ぐとともに、脚部の保温、フラッシュサーフェス化による空気抵抗減少の効果も期待できる。

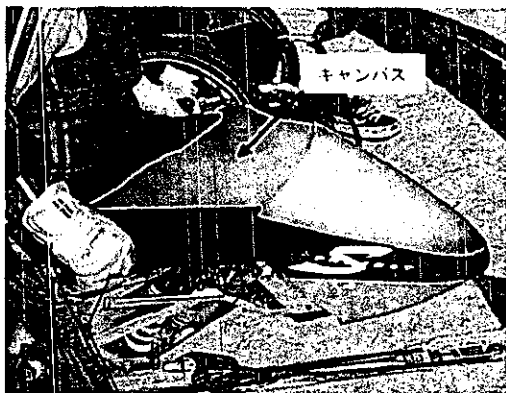


図11 脚部カバー(キャンバス)

⑤バンク角の不足改善

昨年度試作したカウルは、滑走試験

でカウルの底部が雪面と接触することが判明した。そこで、CADを用いてシミュレーションを行ない、足下の容積を可能なかぎり少なくしてバンク角を確保した。

⑥滑走時の騒音低減

昨年度試作したカウルは2分割構造であり、滑走中の振動により接合面が接触して音が発生し、違和感を訴える選手があった。そこで先述のとおり1ピース構造とするとともに剛性面を見直し、またフレームとの接触が考えられる部位にはゴムなどで緩衝性を持たせた。

以上述べた形状および構造の改良を行ない、カウルの最終形状の作りこみを行なった。昨年度と同様に造形用粘土を用いて形状を作成し、ヤマハ発動機(株)の風洞を使用して空力計測試験を実施した。

造形にあたっては、3次元のCADシステムを用いて事前に形状を検討し、良好なスタイリングと優れた空力性能の両立を目指した(図12)。また、CADで作成した形状データをもとに流体数値シミュレーション(Computational

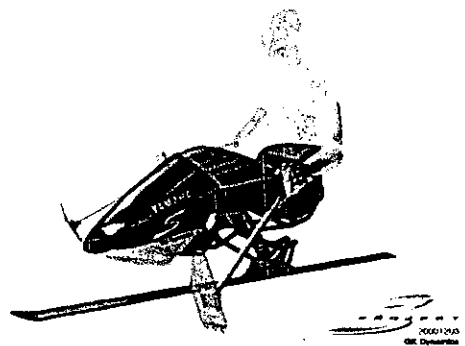


図12 3次元CADによる形状検討

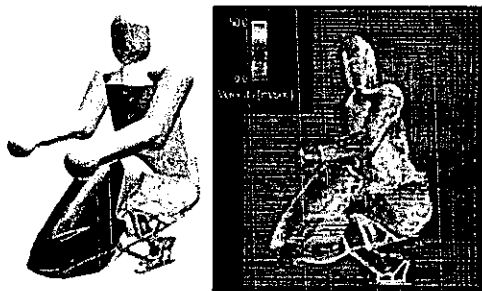


図13 スキーヤー回りの流れの数値シミュレーション

Fluid Dynamics) でスキーヤーまわりの流れの解析を行なった (図13)。これにより、流れの様子を的確に捉えることができ、解析手法の有効性を確認するとともに、改善案抽出に役立てることができた。風洞実験による空力計測の結果、カウルを取り付けた方が風速、姿勢によらず5%程度空気抵抗が小さくなることが確認されカウルの有効性が立証された (図14)。

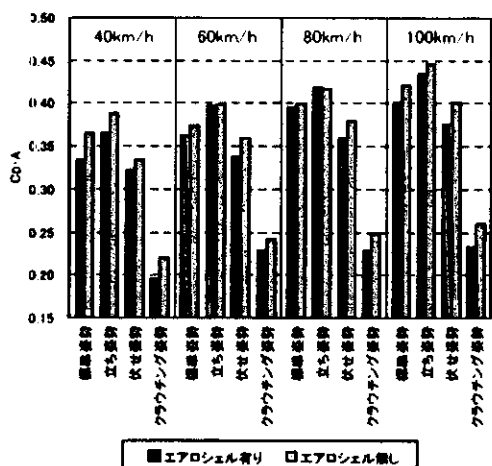


図14 風洞実験による空力計算結果

得られた形状をもとに、カーボン強化プラスチックで最終カウルを製作し、風洞実験室で空気抵抗を再確認した。

雪上でのカウル装着時の滑走操作性についての選手の評価はおおむね良好で、カウルを装着することによる問題点は指摘されなかった。

D. 考察

今回開発した台形リンク・サスペンションを持つ最終機体は、リフト搭乗も容易にでき、滑走中の問題点も何も生じなかった。

リンク全体の動きは滑らかで、前後方向への重心移動が大きく取れることにより、スキー板全長にわたるコントロール操作を容易にするとともに、滑走時スキー板全長にわたって雪面をよく捉えていることが観察できた。定量的計測結果から見ても、本機体は理想的な動きを実現していると思われる。

選手からは、スキーの切り返しが非常に素早くできること、スキー板が自然と前に進むので、身体が取り残されないようにさえすれば非常に速く滑ることができる、などのきわめて高い評価がもたらされた。

シートについても、個別選手の滑降姿勢を再現・保持した上で採型することができるようになったことと、開発した本システムを用いることで身体形状の正確な計測と、選手の要望に応じた形状変更ができるようになったことで、適合完成度の高いシートを提供することが可能となり、選手から非常に高い評価が得られた。

開発した本システムでは、採型、仮合せ、納品時のそれぞれの形状データ

を保存できるので、今後シート形状の改良を理論的に考察できるようになると思われる。

カウルについても問題点は見出されなかった。今回は悪天候の影響により、雪上実験での定量的効果測定ができなかった。そこで、計算によりカウル効果を考察することにした。

滑走中のチェアスキーが受ける力は、重力、加速抵抗、雪面からの摩擦抵抗および空気抵抗であり、次式のように表せる。

$$M \frac{dv}{dt} = Mg(\sin \theta - \mu \cos \theta) - \frac{1}{2} \rho v^2 \cdot C_D \cdot A$$

(M :質量、 θ :斜度、 g :重力加速度)

速度向上を図るには上式のマイナス成分、すなわち摩擦抵抗と空気抵抗を減らせばよい。摩擦抵抗は摩擦係数 μ と雪面への垂直荷重に比例し、空気抵抗は $C_D \cdot A$ と速度の2乗に比例して増加する。そこで、それぞれの影響の大きさを調べるため、斜度18度の斜面を重量80kgのチェアスキーが直滑降する場合、摩擦抵抗と空気抵抗が最高到達速度にどの程度影響するかを計算した(図15)。ここでいう最高到達速度とは重力による加速力と摩擦抵抗、空気抵抗がバランスし、速度が一定になったときの速度である。

雪面からの摩擦抵抗係数 μ は、 $\mu = 0.10 \sim 0.24$ に設定し¹⁾、 $C_D \cdot A$ は風洞試験結果から $C_D \cdot A = 0.20 \sim 0.42$ の範囲で計算した。計算結果から摩擦抵抗、空気抵抗ともに影響は非常に大きいと言

えるが、摩擦抵抗はワックス等の滑走面の処理による大きな差は生じにくいと考えられ、故に空気抵抗低減は非常に重要な要素であることがわかる。

以上の考察とこれまでの実験結果から、開発した最終カウルにより空気抵抗は約5%程度低減することができると考えられ、滑降やスーパー大回転など特に高速系の種目においてタイム向上が期待される。

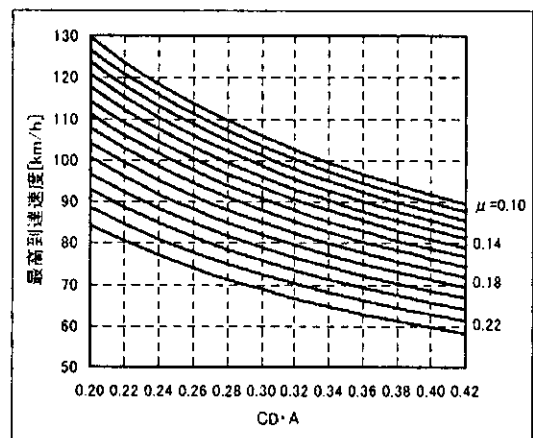


図15 $C_D \cdot A$ と最高到達速度

E. 結論

チェアスキー・ソルトレーク最終モデルの開発にあたり、以下の開発を実施した。

- ①台形リンク・サスペンションを工学的に分析し、最適リンク構成とそれに適合するショックアブソーバを開発した。
- ②昨年度開発したチェアスキー・シート用CAD・CAMシステムを用い、選手個別の身体機能障害に適合するオーダーメイド・シートを製作した。
- ③高速系種目(滑降・スーパー大回転)競技時の空気抵抗を低減する空気力学

的カウルを開発した。

最終モデルは、雪上滑走実験における定量的計測結果および選手の官能評価結果を通して、非常に高い性能を保持していることが明らかになった。



図16 開発したチェアスキー・ソルトレークモデル

開発した最終モデル、すなわちチェアスキー・ソルトレークモデル（図16）はきわめて完成度の高いチェアスキーであり、次世代のチェアスキー普及用モデルとして一般化できるものである。

F. 研究発表(学会発表)

宮本晃・他、チェアスキー・ソルトレークシティモデルの試作と滑走分析、第16回リハ工学カンファレンス講演論文集、617-620、2001。

剣持悟・他、シーティング対応型CAD/CAMシステムを用いたチェアスキー個別対応シート製作法の開発、第16回リハ工学カンファレンス講演論文集、613-616、2001。

文献

- 1) 黒岩大助、若浜五郎、藤野和夫、棚橋良次：薬剤で処理した雪面及び踏みかためた雪面のスキーの実走試験による動摩擦係数の測定、低温科学物理編、第27巻、昭和44年