

リハビリ用チェアスキーの開発

赤池志郎¹・根本光正¹・鮎澤義晴²・齋藤綾一³

¹ 機械工学科

² 榎ユウワ

³ アネスト岩田榎

Development of Chair Ski for Rehabilitation

Shiro AKAIKE¹, Mitsumasa NEMOTO¹, Yoshiharu AYUSAWA², Ryouiti SAITOH³

Abstract

In order to serve both as leisure and rehabilitation for an elder or a disabled person, chair ski that the turn of skiing can be done by weight movement on the chair is designed. Five types of the chair ski are developed. The chair of them is mounted on a pair of ski and those linkages are different. From the experiment by using a ski simulator, the chair ski shows almost as the same skiing characteristic as the skiing obtained from a healthy person. It shows from field test that the developed chair skis are useful.

Key Words: Ski, Chair ski, Rehabilitation, Disabled person, Elder, Ski simulator

1. まえがき

全ての人々にとって平等な活性ある社会を実現するために、障害者や身体の機能が衰えた高齢者（以下「障害者等」と呼ぶ）の社会参加を促進することや、リハビリテーションは21世紀の超高齢時代の社会的要請であり、その手段としてスポーツの活用は有効である。しかしながら障害者等は、冬季の外出さえもかなり制約を受けると共に、ウィンタースポーツによる社会参加やリハビリテーションに不利を受けているのが現状である。

平成11年3月に新潟県中魚沼郡津南町で開催された厚生省、農林水産省主催、地域交流センター、地域の市町村共催の「関越地域 {健康福祉連携軸} フォーラム」に本学赤池研究室(神奈川工科大学 機械工学科)が、障害者等が冬季の外出をサポートするための雪上車椅子を開発しての参加の要請を受けた。早速、数台の車椅子を雪上用に改良して研究室でフォーラムに参加し地域の人々と交流を行った¹⁾。そのときの研究室の学生と地域の子供達との交流の写真を図1に示す。結果としては、試作した車椅子はほとんどが雪上では使用できなかった。唯一、2枚のスキー板を車椅子のフレームに溶接したもののみが雪面で利用できた。このときの経験を基に障害者等が健常者と同様にスキーゲレンデで介助なしに滑れるスキーの開発を進めてきた。



障害者を対象としたチェアスキーは外国で約30年前から開発されており、数年前からわが国においても冬季パラリンピック等の競技用チェアスキーの開発が進んでおり²⁾、市販されているものもある。しかし、ほとんどが1本スキーにチェアを取り付けトリガーを用いるもので、搭乗者にある程度の技術と腕力が要求され、より一般的ではない。

図1 新潟県津南町での地域の子供たちとの交流

一方、最近2本のスキー板をブランク形（ハの字形）にしたリハビリを兼ねたレジャー用チェアスキーの開発も行われている^{3)、4)、5)}。しかし、これらはより重度の障害者を対象としたもので、ある種の操作機構をチェアスキーに備えたものが多い。

本研究では軽度の障害をもつスキーの初心者や、以前にスキーの経験があるが老齢等による下肢体力の低下した障害者等を対象とした、社会参加を促し、リハビリテーションやレジャーを兼ねたチェアスキーの開発を目的とする。2本のスキー板をブルーク形にしてチェアを取り付け、搭乗者はできるだけスキースtockに頼らずに、座位姿勢で主として体重の移動でスキー板に滑走時のターン力等を加えられるものを開発目標とする。

数年前から、リンク機構の異なる5種類のチェアスキーを試作し、ほぼ満足する性能が出せる5号機チェアスキーの開発ができたのでここに報告する。なお、本学はスキー場から離れているために、スキーシミュレーション装置の開発も行い、この装置で一般のスキー滑走時の仮想動作でスキー板にかかる力とチェアスキーにかかる力を比較検討し、試作チェアスキーの有効性を検証した。またスキーゲレンデにてフィールド実験も行ったので、それらの結果も報告する。

2. チェアスキーの基本設計と試作機の概要

リハビリ用のチェアスキーは、下記の項目を開発目標とした。

- 1) スキーの経験が少ない、または過去に経験のある下肢体力が低下した障害者等が、容易にスキーを楽しめるチェアスキーとする。
- 2) 2本のブルーク形のスキーにチェアを搭載する。
- 3) 滑走面は、スキーゲレンデ等の整地された中及び緩斜面とする。
- 4) 主としてチェア上での体重移動でターンが可能なものとし、特別な操作機構は整備しない。
- 5) 一般的なスキーにより近い感覚で滑れるようにする。

スキーの滑走は力学的には重力場での落下運動の一種であり、これまでに力学的モデルが示されている⁶⁾。また、滑走時の運動特性に関する研究も行われている⁷⁾。スキーの滑走での最大の課題は、速度と方向の制御である。本研究のチェアスキーは初級のスキーヤーを想定しているため、当面は確実にターンできる(制動にも利用)チェアスキーを追及する。

スキーの基本技術であるターンは、体軸を谷方面の足(以後谷足と呼ぶ)に移動して、体重を谷足に乗せ加重し、かつ谷足のスキー板に角度を与えることで可能になる。左ターンするときは、谷足は右足となり、他の左足は一般に山足と呼ばれる。

このような動作を主としてチェア上の体重の移動で行うためには、チェアのリンク機構が最大の課題である。体重の移動によりスキー板の傾きが生じエッジを有効に使うと同時に、板に水平方向の力がかかる必要がある。これらのことを考慮して、数種類のリンク機構を採用することにした。これまで試作したチェアスキーとそのリンク機構の特徴とおもな仕様等を以下に示す。

1号チェアスキー (2000年度)

一号機の組立写真とリンク機構の概略を図2に示す。

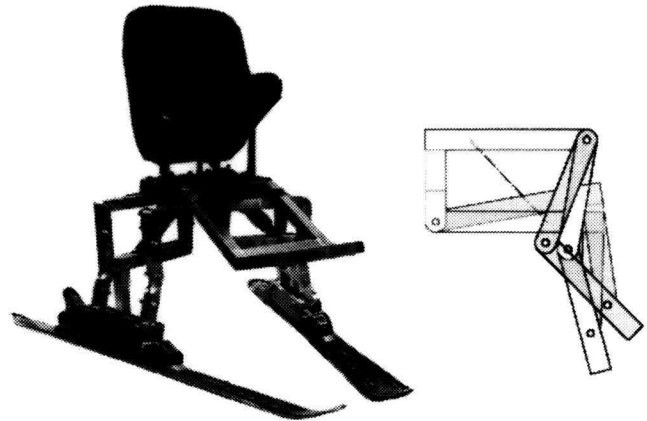


図2 1号チェアスキー リンク機構

リンク機構で白抜きの状態がニュートラル時で、灰色の状態がターン時を示す。このリンクの特徴は、上部だけでなく下部も可変としたことで、スキー板に傾き角を与えられるのでエッジを有効に使える。

これらのリンク機構を支持するサスペンションについては、一般には体重分の荷重を支える必要がある。1本スキーの場合にはバイク用のものがよく使われているが、試作チェアスキーではそれぞれのリンクを支持する必要があるため2本使用することとし、マウンテン用自転車のリアに使用されている ROCK SHOX 社製のものを用いた。以下の後続機も同じサスペンションを用いている。

リンクのフレーム材については試作機であるため、加工の容易なアルミ角材を使用した。なお、チェアのスキーへの取り付けは一般のビンディングが使用できる構造にしてある。スキー板は長さ1500mmのものを使用し、安定性およびチェアの取付け等を考慮して開き角32°のブルーク形とし、スキー板センター間のスタンスを肩幅よりやや広めの618mmとした。

これらの仕様は1号機～4号機共通である。

2号チェアスキー (2000年度)

図3に2号機の組立写真とリンク機構の概略を示す。

2号機は1号機からリンク機構のみを変更し、その他の設計仕様は1号機と同様である。リンク機構で、接合部に歯車を使い、上部と下部が同じ角度で可変することができる。このことにより1号機に比べて、スキー板の傾き角があまり大きく変わらないようにしている。

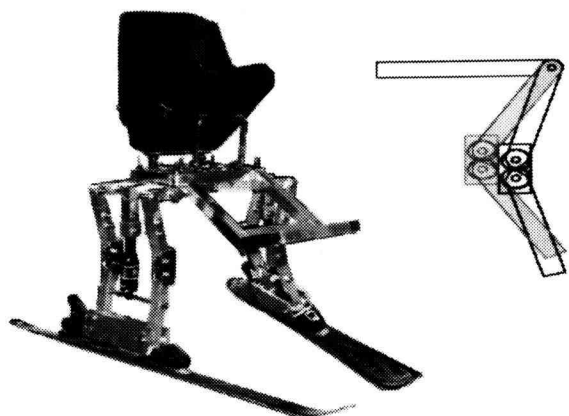


図3 2号チェアスキー

リンク機構

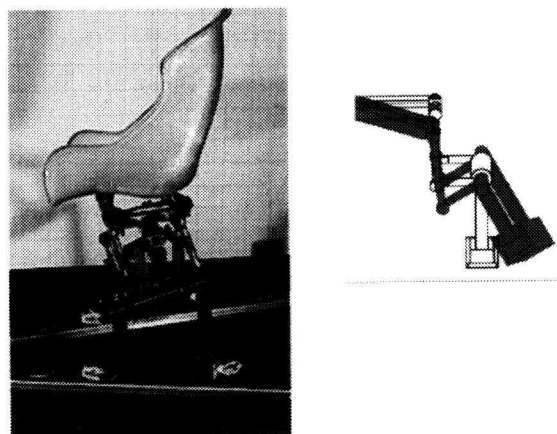


図5 チェアスキー

リンク機構

3号チェアスキー (2001年度)

図4に3号機の組立写真とリンク機構の概略を示す。2001年度には、3、4号機を試作した。1、2号機の経験を踏まえ、チェア上の体重移動によりブルーク角(スキー板の開き角度)も変化でき、制動しやすい機構をターゲットにした。その結果図4のように容易にエッジ角が変更できる機構とした。

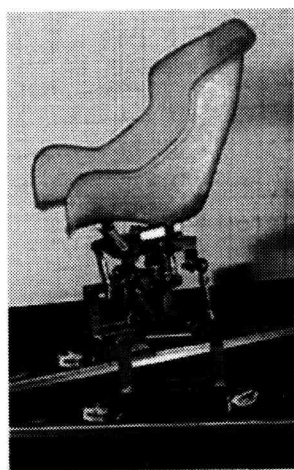


図4 3号チェアスキー

リンク機構

4号チェアスキー (2001年度)

図5に4号機の組立写真とリンク機構の概略を示す。3号機からの大きな改造点は、チェアの取り付け機構に傾いた丸棒がブルークに取り付けられており、リンクの屈折により、スキー板のエッジ角度が変わると同時に、スキー板のブルーク角が広がり、より制動がかけ易い構造としたことである。

5号チェアスキー (2002年度)

図6に5号機の組立写真を示す。下記に示すように、1号機～4号機はシミュレーション実験では問題がなかったが、フィールド実験で、連続ターン等に問題があった。そこで、5号機では図7のようにリンク機構をより単純にしてサスペンション圧を弱くしてその伸縮でスキー板のエッジ角が変えられるようにした。その機構の詳細写真を図8に示す。



図6 5号チェアスキー

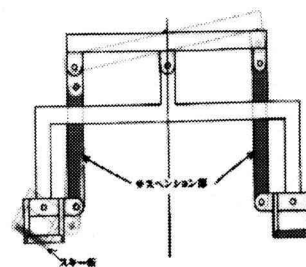
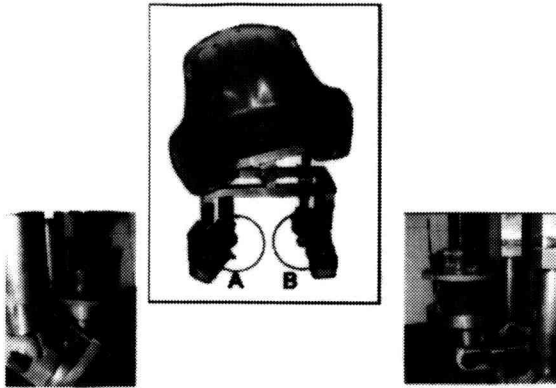


図7 5号チェアスキーのリンク機構



A部 B部
図8 5号チェアスキーのリンク部写真

1号機～4号機のチェアスキーのブルーク角度は 32° と大きく、またチェアは市販の1本スキーのものを流用していたが、5号機ではブルーク角度をより滑走がし易いように 15° とし、チェアについても強化プラスチックを用いて研究室で製作した。

5号機のおもな仕様と、その概略図を下記に示す。

- ・座面高... 450mm
- ・チェアの全幅480mm
- ・チェアの全長... 260mm
- ・ブルーク角... 15°
- ・エッジ角... $1.5 \sim 30^\circ$
- ・スキー板長... 1400mm
- ・スキー板先端間幅... 210mm
- ・スキー板後端間幅... 570mm

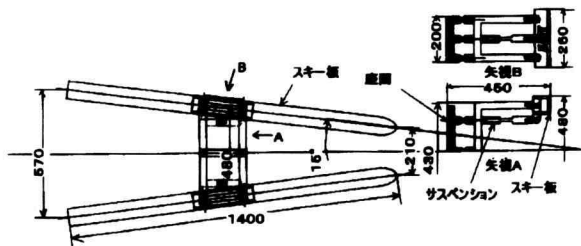


図9 5号チェアスキーの全体の概略(単位mm)

5号チェアスキーの全質量は15kgであるが(1号機:15kg、2号機:20kg、3号機:12kg、4号機:21.5kg)、リンク部のフレーム材をパイプ等に変更することにより、さらに質量を軽減することができる。

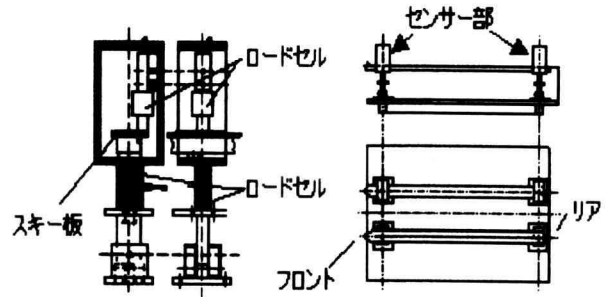
3. スキーシミュレーション実験

3.1 スキーシミュレーション装置

スキーの滑走時のシミュレーションは動的な挙動が重要であるが、本研究ではまず仮想滑走時の静的な挙動を

調べることにした。図10に開発した実験装置の概要を示す。それぞれのスキー板のフロントとリア部に図(a)の傾き角(エッジ角)が任意に変えられる2個のロードセル(合計4個)を取り付け、板にかかる水平および垂直方向の力 F_x , F_y (図11)が測定できるようにしてある。

水平方向には自由に動けるようにスキー板と支持器の間にリニアベアリングが設けてある。スキー板はしなり過ぎないように板の下にアルミ角材を取り付けてある。ロードセルの出力を動ひずみ計を介しパソコンで処理した。データは1秒間隔で20回取り込み、その平均値でスキー板のフロントとリア部の合計4箇所の力を求めた。



(a) センサー部 (b) 装置全体図
図10 実験装置概略

1～4号チェアスキーでは図10のセンサー部を用いて、静的加重のみの測定を行ったが、これらのスキーのフィールド実験では、連続ターンがあまりスムーズにできなかったため、5号チェアスキーでは動特性を主として検討することにした。このためにセンサー部を図11のようにポテンシオメーターとロードセルを組み合わせたものを製作した。ポテンシオメーターからスキー板の角度(エッジ角)を測定し、そのときのロードセルにかかる力を分解して雪面にかかる水平および垂直方向の力を動的に求めた。

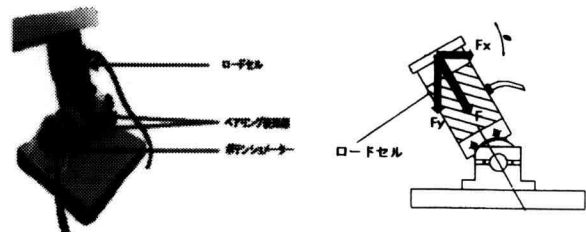


図11 動荷重測定用センサー部

3.2 シミュレーションの実験方法

シミュレーション実験は、一般のスキーについてまず行い、滑走時のスキー板にかかる力を調べた。

仮想スキーヤー(実験者)は図12のように分度器を付けた背負子を背負い、図中の姿勢でターン時の実験を

行っている。前傾は 10° で、回転時の体の傾きは 20° とした。チェアスキーの方がチェアに搭乗者が固定されるので姿勢の移動を大きくすることにし、前傾は 20° で、回転時の傾きは 30° とした。なお、チェアスキー上では、これらの値はそれほど厳格には決められなかった(図13)。

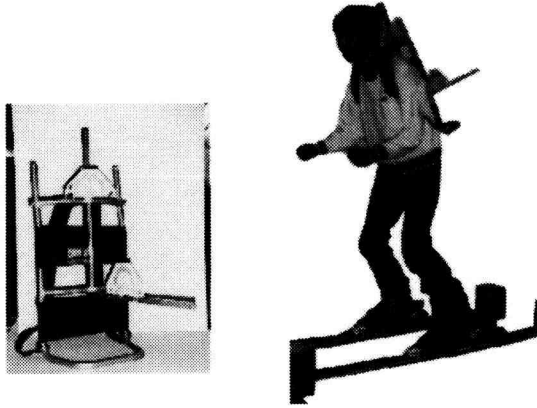


図12 スキーのシミュレーション実験



図13 チェアスキーのシミュレーション実験

静特性の実験ではエッジ角を固定して、仮想スキーヤーは右ターン、左ターンの合図でイメージ姿勢をとる。一方、動特性の実験ではターン動作を下記の二つの場合を想定してスキー板のエッジ角の変化とロードセルにかかる力を同時に測定した。

実験①：直進から左ターン→直進→右ターン→直進

実験②：スラロームをイメージした直進から左ターン後ただちに右ターンする

スキーの技量による相違を調べるために、スキーの実験では上級、中級、初級の3名の男子による実験を行ったが、技量による差がほとんど無かったので、チェアスキーでは任意に選んだ男女数名による実験を行った。

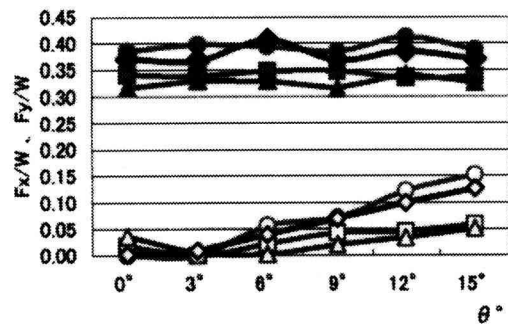
3.3 実験結果および考察

図14に図12に示す一般のスキーでの実験結果の一例を示す。いずれも上級者の実験結果で図(a)には回転

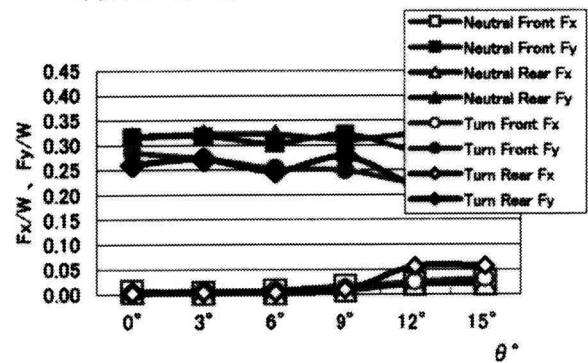
の外側の谷足のスキーにかかる力を、図(b)には回転側の山足のスキーにかかる力を示す。縦軸にはスキー板のフロントとリア部にかかる水平方向と垂直方向の分力 F_x 、 F_y を実験者の体重で無次元化したものを示し、横軸はスキー板の傾き角 θ (エッジ角)を示す。また、図中には実験者がスキーに単に搭乗した時(Neutral)とターン姿勢で滑走をイメージした左ターン(Turn)にかかるフロント部とリア部の力の分力を示した。

ターン時に水平方向分力 F_x は谷足側ではニュートラル時より約体重の5%程度増加し、逆に山足側はその分の力が減少している。板の傾き角 θ を増加(エッジを立てる)させると水平方向分力 F_x は増加する。

この結果は上級者のものであるが、中級、初級者ともそれほど大きな相違は見られないが、初級者の場合、いくらか F_x が小さくなる傾向がある。チェアスキーの場合には搭乗者がチェアに固定した状態で滑走をイメージしたときに、これらのデータにできるだけ近い動作ができればよい。



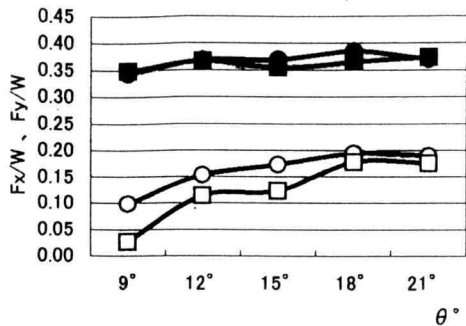
(a)谷足(右足)のスキーにかかる力



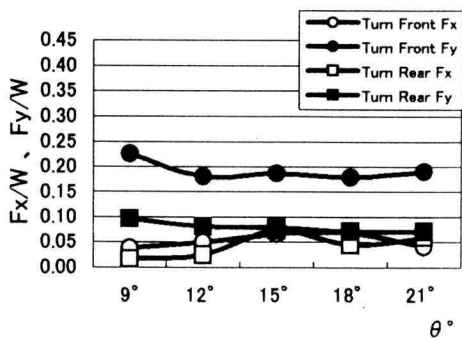
(b)山足(左足)のスキーにかかる力

図14 上級者によるスキーシミュレーション実験

図15に実験者A(男性)による1号チェアスキー(CS1)のスキー板にかかる力の測定例を示す(図が煩雑になるので、中立状態の結果は省略した)。図14のスキーによる実験に比べてスキー板の傾き角が $9^\circ \sim 20^\circ$ 以上で実験を行ったが、図15(a)の谷足側のスキー板にかかる力は一般のスキー[図14(a)]とほぼ同様な力が得られている。



(a) 谷足 (右足) 側のスキー板にかかる力



(b) 山足 (左足) 側のスキー板にかかる力

図 15 1号チェアスキーCS1の静特性実験

図 15(b)の山足側では、垂直方向分力 F_x は一般のスキーの結果ではフロントとリア部での相違はほとんど無いが、CS1 ではフロント部に比べてリア部の F_x は半分以下の力しか作用していない。チェアスキーの構造上、体重の移動だけでは、完全なシミュレーションは不可能である。しかし、スキーのターンに重要な役割を果たす谷足側のスキー板にかかる力は十分得られている。

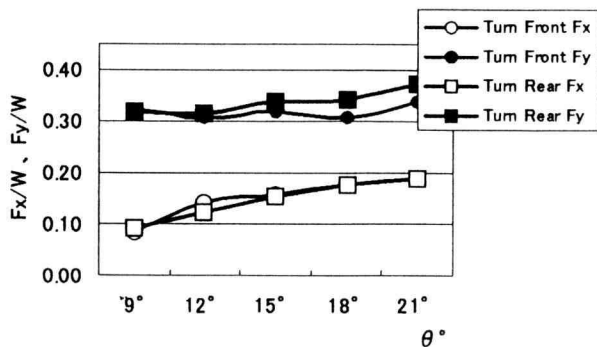


図 16 女性被験者Bによる1号チェアスキーCS1の谷足側のスキーにかかる力

図 16 は女性の実験者 B による同様な谷足側の結果を示すが、実験者のスキー経験や性別による相違はほとんどないと言える {図 15(a)参照}。

図 17 は同じ実験者 B による2号チェアスキーCS2の谷足側スキー板にかかる力を示す。全体的に CS1 に比べてスキー板にかかる力は小さいが、大きな相違は生じていない。ただし、リア部の水平方向成分 F_x はフロント部とほとんど同様な力がかかっている。

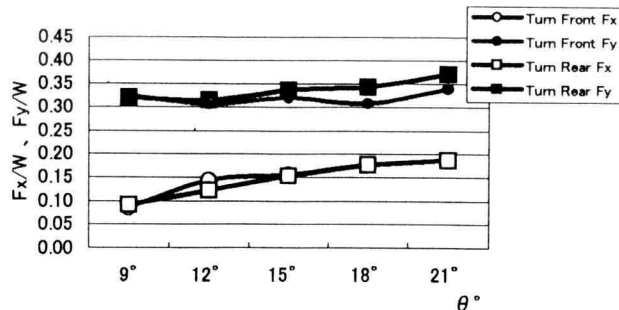


図 17 女性被験者Bによる2号チェアスキーCS2の谷足側のスキーにかかる力

実験者による相違はあまり見られなかったため、スキーSkiについては3人の実験者の結果の平均を、チェアスキーCS1 および CS2 については8人の実験者の結果の平均を求めた。

図 18 は1号チェアスキーCS1 とスキーSki の谷足側のスキー板にかかる力の平均値を比較したものを示す。水平方向分力 F_x はフロント部では Ski より CS1 のほうが大きな力をかけられるが、垂直方向分力 F_y は Ski のほうが大きな力が得られている。これは本チェアスキーでは足の力を直接スキー板に伝えることが出来ない構造のためである。

図 19 は同様な2号チェアスキーCS2 と Ski の比較を示す。CS2 の方が CS1 に比べてフロント部の水平方向分力 F_x は大きい値が得られたが、垂直方向分力 F_y は CS1 よりさらに小さい値となった。チェアスキーにおいてスキーヤーが同様な力を得るためには、可能であれば足からもスキー板に直接力を伝えられる形式のものも今後の課題であろう。

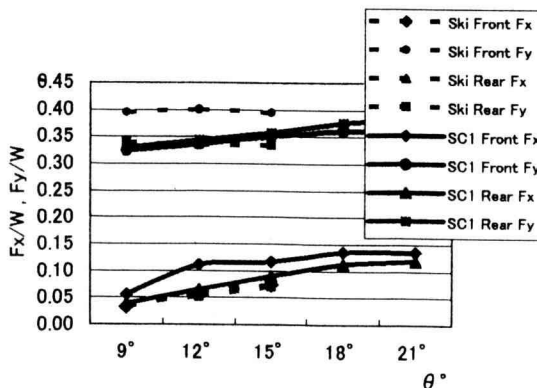


図 18 1号チェアスキーとスキーの谷足 (右足) のスキー板にかかる力の比較

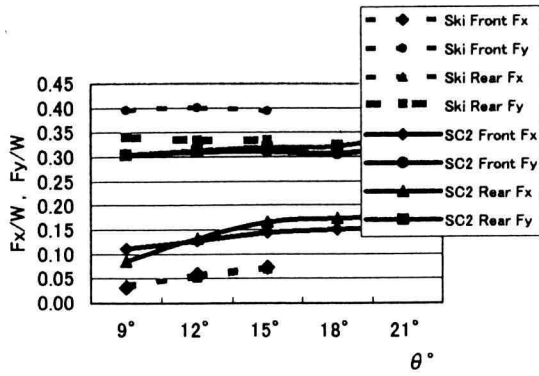


図19 2号チェアスキーとスキーの谷足 (右) のスキー板にかかるちからの比較

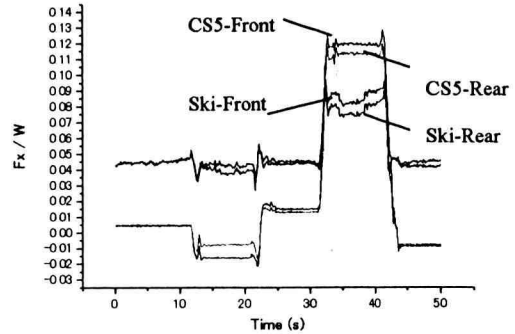
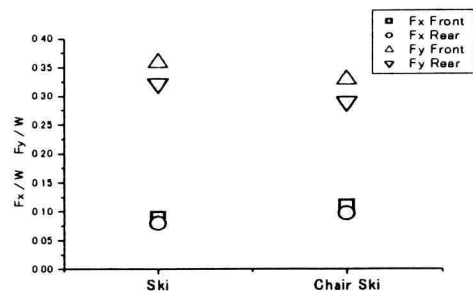


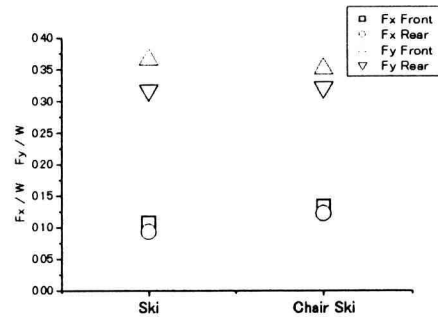
図21 実験①のスキーとチェアスキーの水平方向にかかる力Fxの比較

以上の結果はシミュレーション実験で図10(a)のセンサー部を用いた1, 2号チェアスキーの静荷重の実験結果であるが、3号機以降の実験でもほぼ同様な結果が得られたのでそれらの概要は省略する。5号チェアスキーでは、さらに連続したターンが可能より動特性の良いものの開発を目標とし、図11のセンサー部を用いた実験を行ったので、以下にその結果を示す。

スキーと5号チェアスキーについて、健康な男子5名の被験者でシミュレーション実験①、②を行った。5号チェアスキーの結果の一例を図20に示す。図はシミュレーション実験①の結果で、雪面を垂直方向に押し力Fyを被験者の体重Wで割って無次元化したものを示す。横軸はスキー動作の時間経過である。図は右ターンの実験結果なので左のスキー板にかかるフロント、リア部の力の動特性を示す。



(a) シミュレーション実験①



(b) シミュレーション実験②

図22 スキーとチェアスキー5号機のスキー板にかかる力の比較

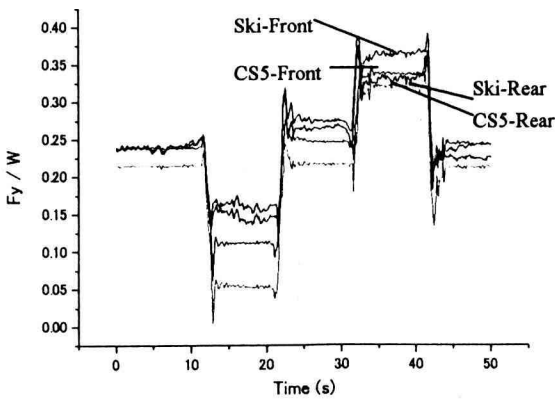


図20 実験①のスキーとチェアスキーの垂直方向にかかる力Fyの比較

図21は図20の場合のスキー板から雪面に平行方向にかかる力Fxの動特性の一例を示す。Fx変動値はFyほど大きくない。

スキー動作の経過時間約35秒から40秒の間は右ターンの動作中で左の板に大きな力がかかっている。この間の力の平均を求めて、スキーとチェアスキーの板にかかる力を比較したものが図22である。図からスキー両者の板にかかる力の差が少なく、試作した5号チェアスキーも一般のスキーとほとんど変わらない特性を示す。

チェアスキーでは、スキーヤーがターン動作を開始してから、スキー板に最大の力が伝わるまでの時間は、連続ターン動作において重要である。図20に示すFyで経過時間30秒前後がこの動作

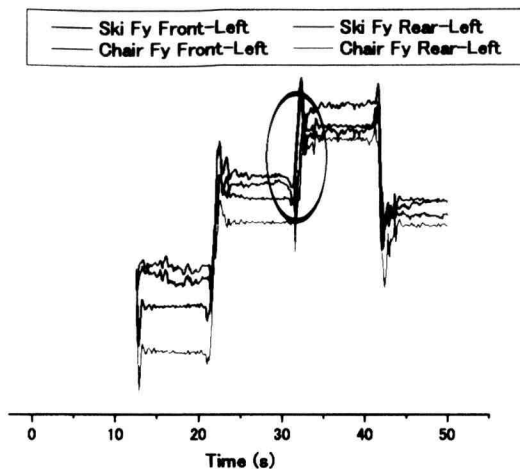


図 23 スキー板の反応時間

表 1 スキー反応時間の比較

		反応時間(s)
スキー	実験①	3. 2 5
	実験②	3. 3 5
5号チェアスキー	実験①	4. 4 5
	実験②	4. 1 5

を表しているの、図 23 の○印部の動作開始からスキー板にかかる力が最大に達するまでの時間を求めた。被験者の平均時間の結果を表 1 に示す。

実験①ではスキーは 3. 2 5 秒、チェアスキーは 4. 4 5 秒であり、チェアスキーの方がスキーに比べて反応時間は 1 秒以上遅れる。チェアスキーは上級者が連続ターンするような速い動作はできないが、初級コースでの滑走にはこの程度の遅れは許容できるであろう

4. フィールド実験

Kitz Meadows 大泉・清里スキー場の傾斜角度 $8 \sim 10^\circ$ の緩斜面でフィールド実験をさせていただいた。平成 13 年 2 月に 1, 2 号機を、平成 14 年 2 月には 3, 4 号機を、平成 15 年 2 月には 5 号チェアスキーの実験を行った。



図 24 フィールド実験での 5 号チェアスキーの滑走写真

1, 2 号チェアスキーは本研究室では初めての開発であり、構造的に多少柔軟性に欠けており、ターン動作に問題はなかったが、すばやい連続ターンに問題があった。3, 4 号チェアスキーはブルック角度の可変はかなり柔軟にできるようになった。これらの経験を踏まえて開発した 5 号チェアスキーはかなり完成したものとなり、連続ターンも容易になった。図 24 はフィールド実験での連続ターンの 1 秒間隔の写真である。ただし、停止動作は一般のスキーのように急激に行うことができない。

6. あとがき

これまでの開発研究によりほぼ完成した 5 号チェアスキーを開発することができた。

今後の課題としては、より制動動作が完全にできるようにして、かつリフトにも乗ることができる構造にしたい。また、実用化のためには、さらに軽量化する必要がある。これはパイプ構造にし、またサスペンションの選定で解決できるであろう。

一方、高齢者を対象としたより一般のスキーに近い簡易型チェアスキーの開発も重要であり、すでにその開発にも取り組んでいる⁸⁾

最後に本研究に対してご指導いただいた本学の古野二三也元客員教授に感謝の意を表します。また、開発研究に取り組んでいただいた 1998 年～2002 年度の本研究室の卒業研究生の明石政人、磯崎俊賢、上田裕介、金子智恵、浜田岳志、細川勝正、松下督、湯浅真弘、横井裕和の諸氏に感謝の意を表します。

文献

- 1) 根本・赤池、雪上車いすの試作について、ゆき、第 41 号 (2000)、49-52。
- 2) 沖川・他 7 名、チェアスキーソルトレイクシティモデルの試作の滑走分析、第 15 回リハ工学カンファレンス論文集、(2000)、391-394。
- 3) 北野・他 3 名、レジャー用チェアスキー「ゆきうさぎ 2 号」開発の試み、第 15 回リハ工学カンファレンス論文集、(2000)、155-156。
- 4) 山本・他 2 名、デュアルスキーアダプタの試作、第 18 回リハ工学カンファレンス論文集、(2003)、79-80。
- 5) 土岐・他 4 名、新しい両下肢障害者用スキー「パラスキー」の開発、18 回リハ工学カンファレンス論文集、(2003)、81-82。
- 6) たとえば、小林 規、現在体育スポーツ体系、第 16 巻、(講談社)、18-59。
- 7) 池上、スキーターンの三次元的分析の試み、第 8 回日本バイオメカニクス学会大会論文集、(1986)、41-45。
- 8) 齋藤・他 3 名、チェアスキーの開発研究 (その 2)、18 回リハ工学カンファレンス論文集、(2003)、75-76。