

スケルトンソリの操作特性*

長坂明彦^{*1}・関 翼^{*2}・岡田拓真^{*3}・穂刈 聡^{*4}
内山了治^{*5}・生駒良弘^{*6}・越 和宏^{*7}・池田芳正^{*8}

Operation Properties of Skeleton Sled

NAGASAKA Akihiko, SEKI Tsubasa, OKADA Takuma, HOKARI Satoshi,
UCHIYAMA Ryoji, IKOMA Yoshihiro, KOSHI Kazuhiro and IKEDA Yoshimasa

Skeleton is a winter sport in which competitors aim to drive a one-person sled in a prone, head-first position down an ice track in the fastest time. Top speeds attained in skeleton approximately 130 km/h. But studies on skeleton have not been carried out until now. The purposes of this study were to measure the dynamic strain, the vertical acceleration, the horizontal acceleration and the forward acceleration applied to the sled frame, to shorten final time.

The experiments were carried out at the Spiral. In the experiment, first a strain gage and a 3D-acceleration transducer were attached to the frame, then data was collected with a compact recorder.

キーワード：スケルトン，ソリ，ひずみゲージ，加速度計

1. 緒言

スケルトンは、氷で作られたコースを鉄製のソリにうつぶせで乗り、頭を前にして滑走タイムを競う競技である。スケルトンは、2002年のソルトレークオリンピックで再び正式種目となったことを機に注目を集めるようになった。また、1998年長野オリンピックのボブスレーおよびリュージュ競技の会場となったスパイラルは、2007年にナショナルトレーニングセンター競技別強化拠点に指定された。

著者らは、これまでにエムウェーブにおいてスラップスケート靴ブレードの動ひずみ測定¹⁾およびスパイラルにおいてスケルトンのソリフレーム変形特性について報告してきた²⁾。しかしながら、リュージュ

競技等に関する研究報告³⁾はあるが、スケルトン競技に関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、2014年のソチオリンピック等に向けてスケルトンの滑走タイム（ファイナルタイム）を短縮することを目的として、滑走中の選手のソリへの操作による影響を調査するためのデータとして、滑走中の選手の縦フレーム中央部のひずみ（変形）測定、垂直方向加速度、水平方向加速度、進行方向加速度および角度測定を行った。なお、必要に応じ、滑走姿勢の筋電位の測定を行った。

2. 実験方法

実験は長野市スパイラルで行った。図1にスパイラルのコースを示す。このコースの全長は1360m、標高差は113mおよびカーブ数は15である。同図において、C1～C15はカーブ番号を示す。また、ST (S01)はスタートタイム、MT (M10)は中間タイムおよびFT (S17)は滑走タイムの位置で、光電管により測定される。

図2にソリのフレーム（スクウェア）を示す。図3に三次元測定機によるフレーム変形測定を示す。図2の左側がソリの前側となる。上下部にある長い板が縦フレームである。同様に、左右側にある短い板が横フレームである。それぞれのフレームは長方形構造で、ソリの四隅で固定されている。この写真の左側がソリの前側となる。写真の上下部にある長い板が縦フレ

* 2010年1月30日（社）日本機械学会 北陸信越学生会 第38回学生員卒業研究発表・講演会にて一部発表

*1 機械工学科教授

*2 セイコーエプソン株式会社（平成21年度生産環境システム専攻修了）

*3 中部電力株式会社（平成21年度機械工学科卒業）

*4 日産テクノ株式会社（平成20年度機械工学科卒業）

*5 一般科教授

*6 長野県ボブスレー・リュージュ連盟

*7 株式会社システックス

*8 日本ボブスレー・リュージュ協会

原稿受付 2010年5月20日

ムである。それぞれのフレームは、ソリの四隅で固定されている。

ひずみ測定にはソリの縦フレームの中央の上部に、長手方向にひずみゲージを貼付し、滑走時の縦フレームの動ひずみを測定した。

また、ひずみは三次元測定機を用いてたわみ量として校正した。⁴⁾

図4に測定装置を示す。また、図5に装置を装着した選手を示す。垂直方向加速度、水平方向加速度測定および進行方向加速度測定には3軸加速度センサ（（株）共和電業、AS-10TG（±10G））を用いた。なお、垂直方向加速度測定は、ソリの進行方向に対して感度軸を垂直方向に向け下側をプラス方向にして、水平方向加速度測定はソリの進行方向に対して左右方向に感度軸を向け右側をプラスとして、進行方向加速度測定はソリの進行方向を感度軸のプラス側にして測定を行った。角度測定にはスイングセンサ（（株）住友精密工業、SS-30001（±180°））を用いた。なお、角度測定は、バンクでのソリの傾き（バンク角）を測定した。加速度センサおよび信号を記録するコンパクトレコーダ（（株）共和電業、EDS-400A）はバックパックに入れ、滑走者が背負った状態で測定した（図5）。また、筋電位測定には、表面筋電位測定装置（（有）追坂電子機器、MA-3000）を用いた。

なお、実験日（2009年12月8日）の天候は晴れ、外気温1℃、湿度64%、氷温は-11℃であった。今回の被験者は1名であり、身長177cm、体重68.5kg、その重量は41.5kgである。この被験者は2009年度全日本スケルトン選手権にて17位の成績を収めている。

3. 実験結果および考察

図6にフレームのひずみ ε と時間 T の関係を示す。図6(a)はローパスフィルタ無し（FLAT）の右縦フレーム中央部のひずみ、図6(b)は1Hzローパスフィルタ（LPF）処理後の右縦フレーム中央部のひずみ、図6(c)はFLATの左縦フレームの中央部のひずみおよび図6(d)はLPF処理後の左縦フレーム中央部のひずみの

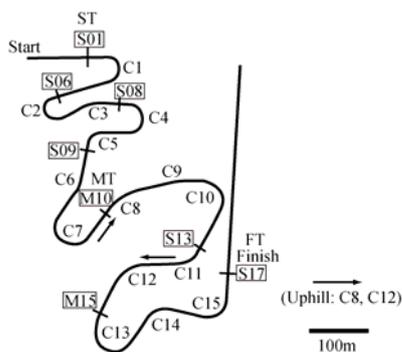


図1 スパイラルコース

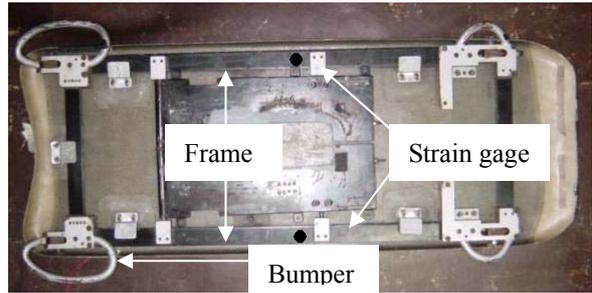


図2 スケルトンフレーム

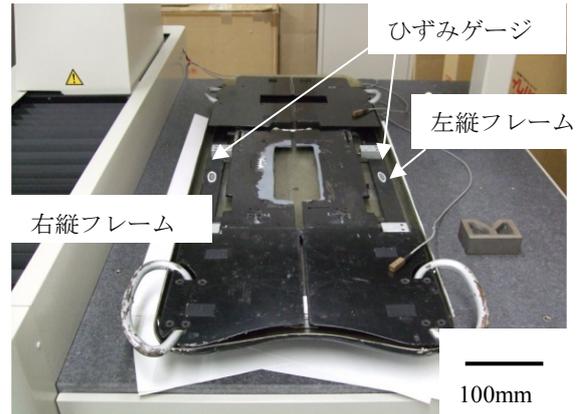


図3 三次元測定機によるフレーム変形測定

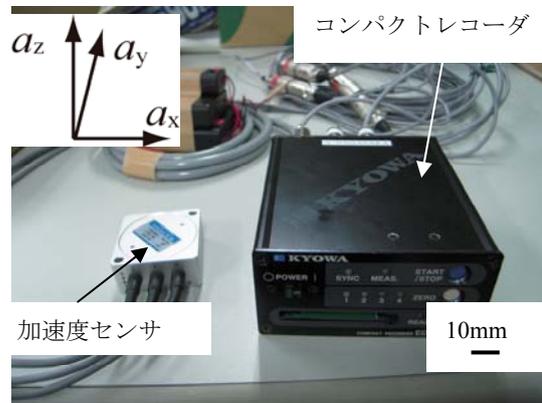


図4 測定装置



図5 装置を装着した選手

時系列データである。カーブに入るとそれぞれひずみゲージが圧縮変形され、マイナスの値が出力される傾向にある。右カーブおよび左カーブで左右のひずみ値に大きな違いは見られない。

図 7 に重錘 W および縦フレーム中央部のひずみ ε とたわみ量 δ の関係を示す。ここで、R と L は縦フレ

ームの右と左を意味する。重錘を $W=100\sim 500\text{N}$ と順次フレーム中央部に負荷後、ひずみゲージ近傍のたわみ量 δ をプローブで測定した (図 3)。たわみ量と比較することで、 ε を δ で校正した (図 12)。図 13 より、重錘 W を負荷することにより縦フレームは凹形にたわむ。例えば、 $\varepsilon=-200\times 10^{-6}$ のときたわみ量が

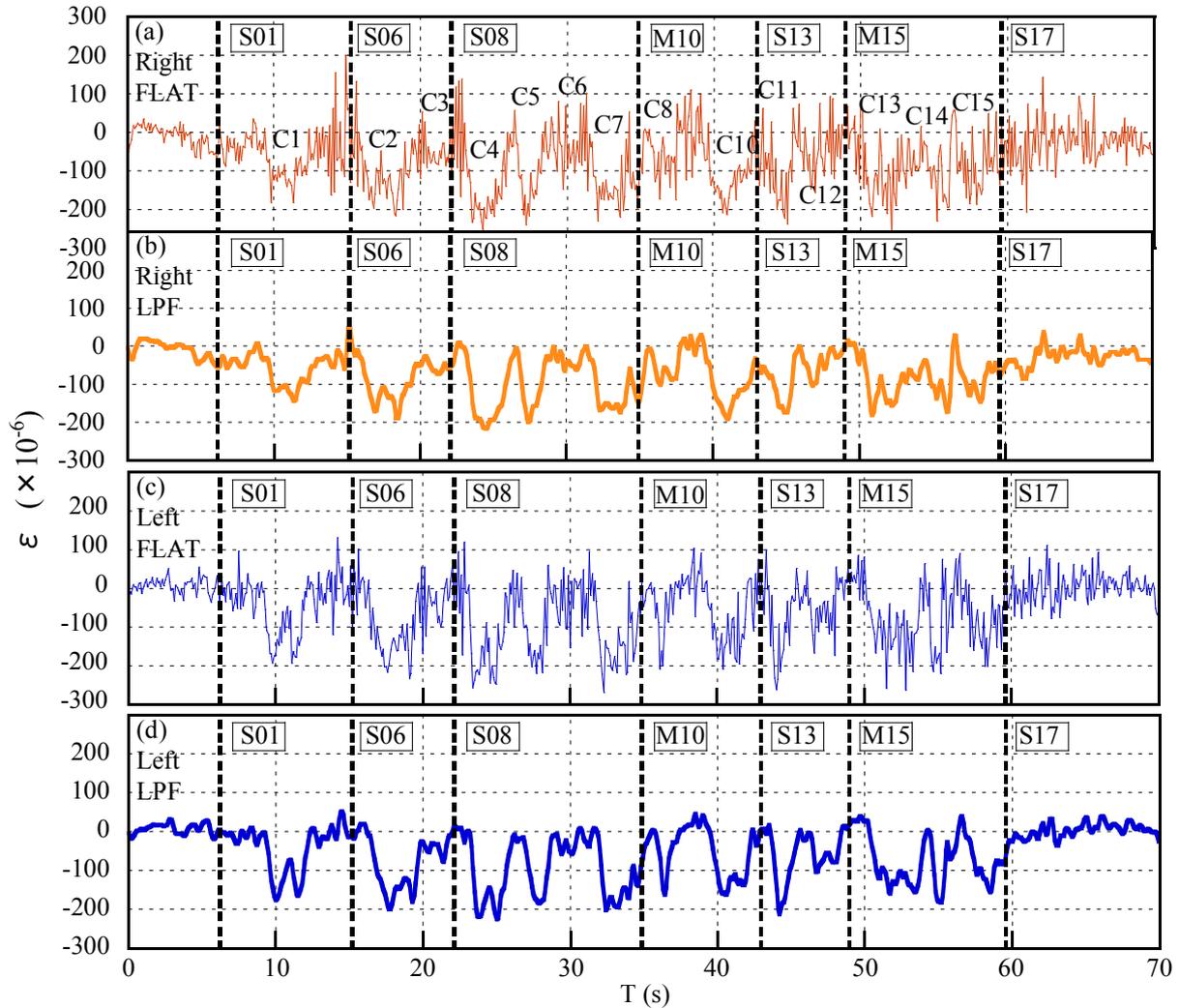


図 6 ひずみ ε と時間 T の関係

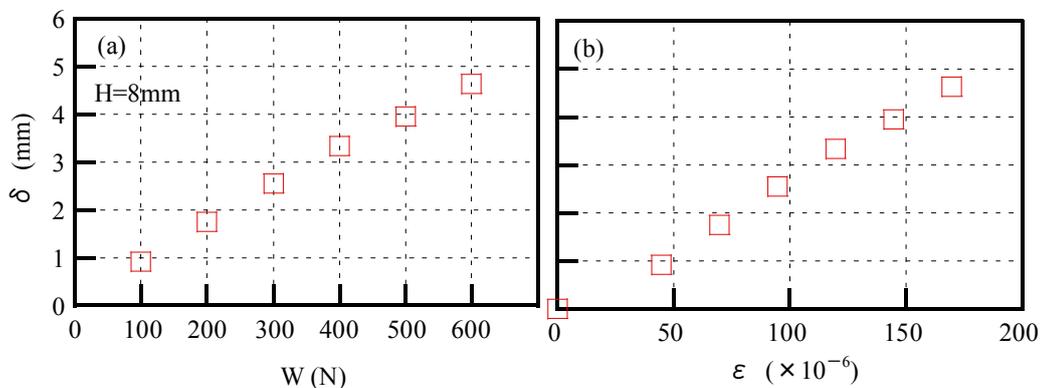


図 7 重錘 W およびひずみ ε とたわみ量 δ の関係

$\delta=5.5\text{mm}$ となる。このとき、ランナーの張りが $H=8\text{mm}$ (図 14) であることから、縦フレームはランナーにボトムしない。 δ と W および δ と ε はそれぞれ線形的な関係にあり、たわみ量 δ は左右とも同程度に変形することがわかる (図 12)

図 8 に滑走中の垂直方向加速度 a_z と時間 T の関係を示す。図 8(a) は FLAT の垂直方向加速度 a_z 、図 8(b) は 1Hz のローパスフィルタ処理後の垂直方向加速度 a_z の時系列のデータである。図 8(a) において、加速度センサの感度方向を進行方向に対して下側 (ソリ側)

をプラスに設定したことで、波形はプラス側に出力される。カーブに入ると約 4G が作用していることがわかる (図 8(b))。

図 9 に滑走中の水平方向加速度 a_x と時間 T の関係を示す。図 9(a) は FLAT の水平方向加速度 a_x および図 9(b) は 1Hz のローパスフィルタ処理後の水平方向加速度 a_x の時系列のデータである。図 9(a) において、水平方向加速度 a_x のセンサ感度方向を進行方向に対して右側をプラスに設定したことで、波形はプラス・マイナスに出力された。フィルタ処理により波形が明瞭

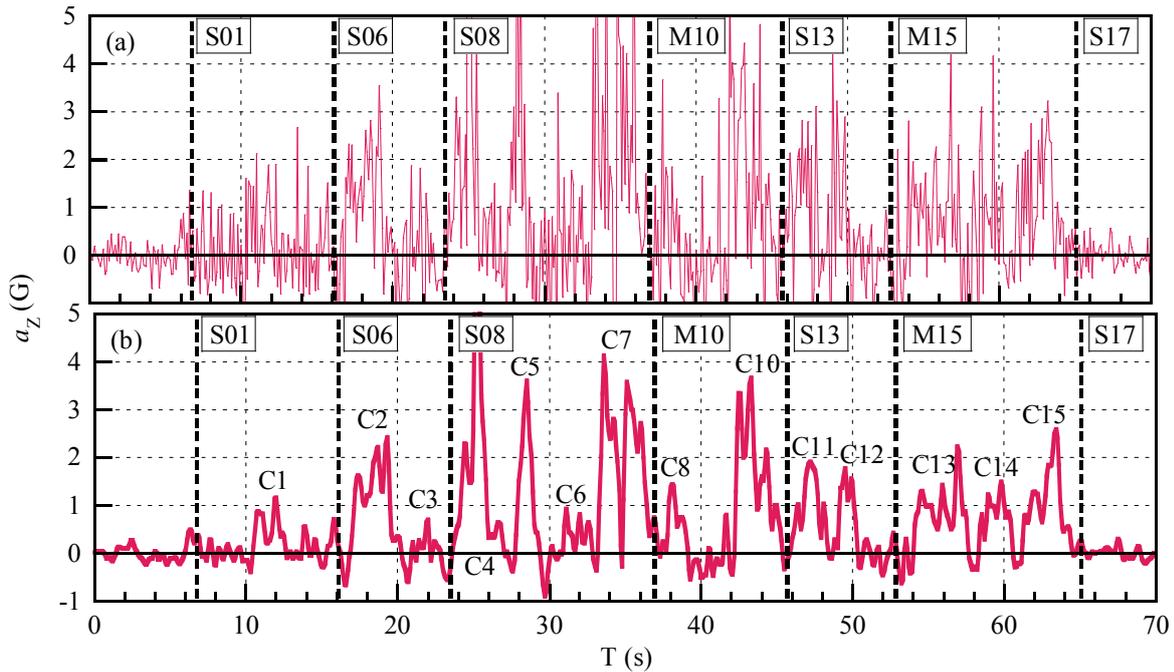


図 8 垂直方向加速度 a_z と時間 T の関係

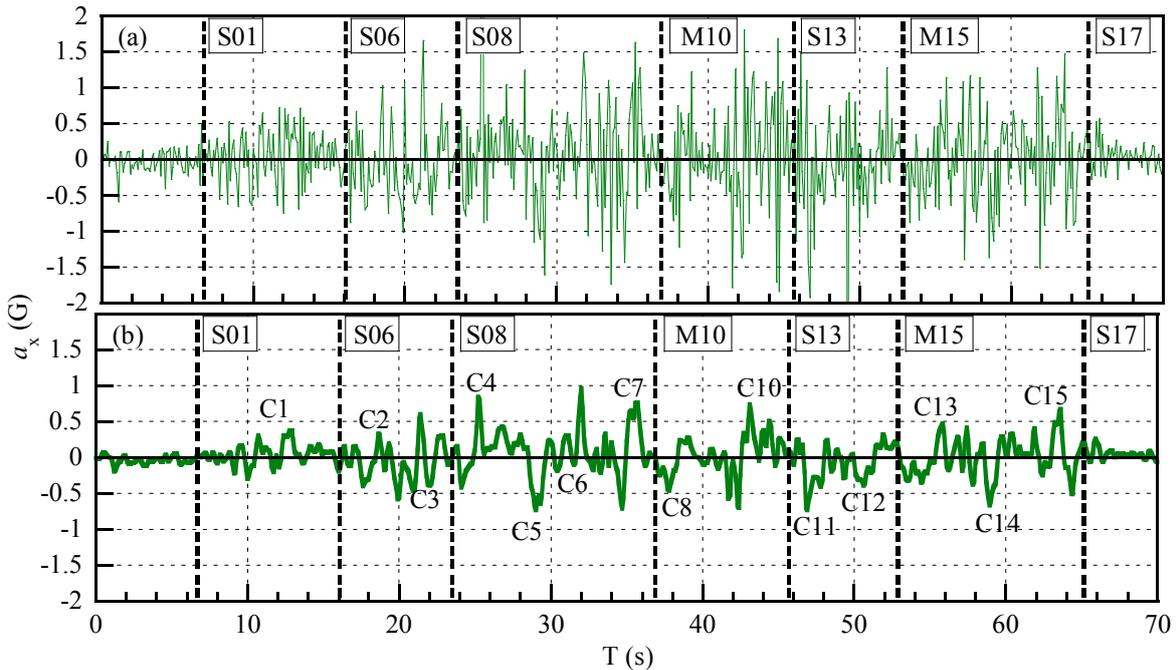


図 9 水平方向加速度 a_x と時間 T の関係

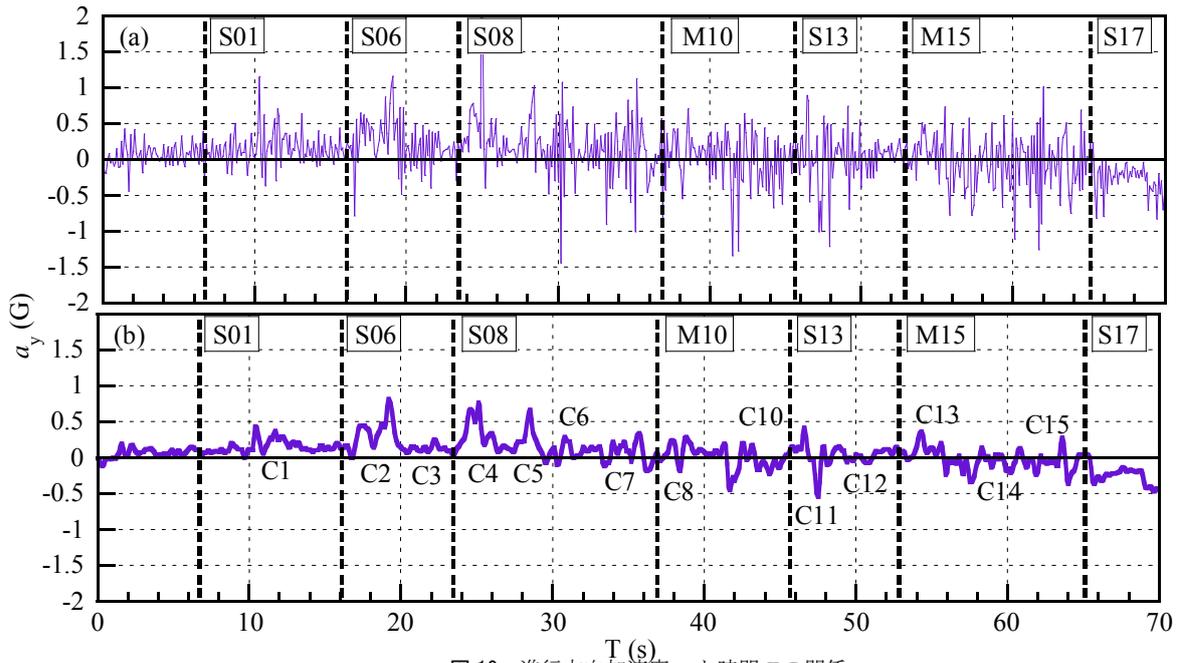


図 10 進行方向加速度 a_y と時間 T の関係

になる (図 9(b)) . 左カーブを通過するとプラス波形 (右方向の加速度) , 右カーブを通過するとマイナス波形 (左方向の加速度) が検出されたが, 垂直方向加速度 a_z に比較して, 水平方向加速度 a_x が最大約 1G 程度と小さいことがわかる (図 9(b)) .

図 10 に滑走中の進行方向加速度 a_y と時間 T の関係を示す. 図 10(a) が FLAT, (b) が 1Hz のローパスフィルタ処理した時系列表示である. コースは基本的に下り坂のため緩やかに上昇し, カーブに入ると値が上下していることがわかる. なお, C7 と C11 の後は上り坂となっているが, C11 通過後に加速度がマイナスとなり, 減速していることがわかる (図 10) .

図 11 に S08 から M10 における (a) ひずみ ϵ , (b) 垂直方向加速度 a_z , (c) 水平方向加速度 a_x および (d) 進行方向加速度 a_y と時間 T の関係を示す. S08 から M10 において, C7 に相当する部分で垂直方向加速度が約 3G まで上昇しているが, 水平方向加速度は右側の方へ約 1G のあたりまでで上下していることがわかる. カーブの中でソリが 2 度上がりするためこのような値が検出されたことが考えられる. 進行方向加速度は, カーブに入ると大きく増加し, その後減少していき, ストレートではほぼ一定の値を示した. ひずみは, カーブに入ると共にマイナスの値を示すが, カーブ中左右交互にわずかながら上下していることがわかる.

図 12 に S08 から M10 において, 右縦フレームのたわみ量 δ_R , 左縦フレームのたわみ量 δ_L , 垂直方向加速度 a_z , 水平方向加速度 a_x および進行方向加速度 a_y の時系列表示を示す. マイナス側に台形状に出力されたものがたわみ量 δ_R と δ_L , プラス側に台形状に出力されたものが垂直方向加速度 a_z , 中央で大きく上下

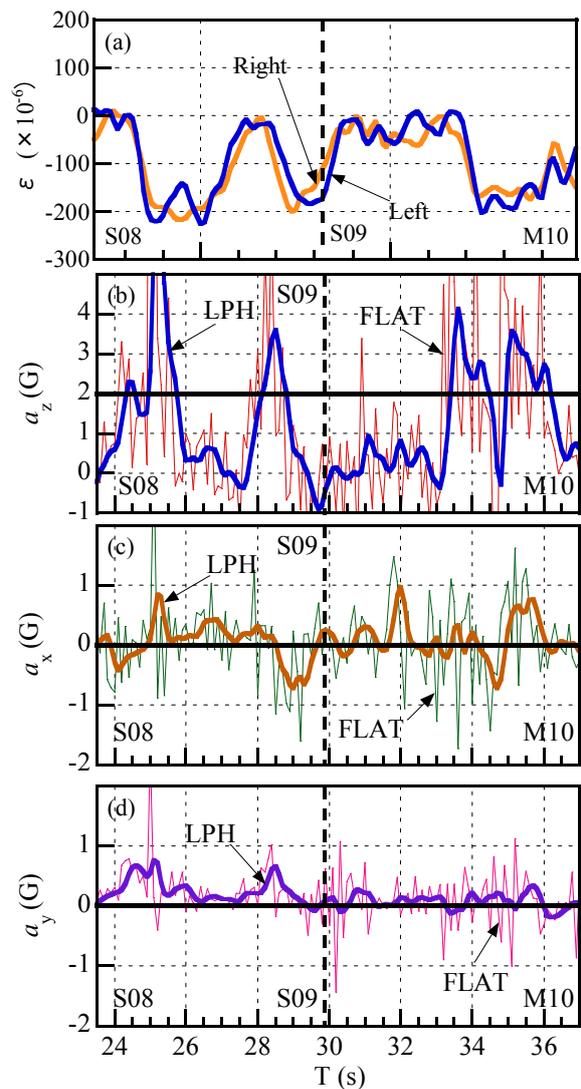


図 11 ひずみおよび加速度の時系列表示 (S08~M10 間)

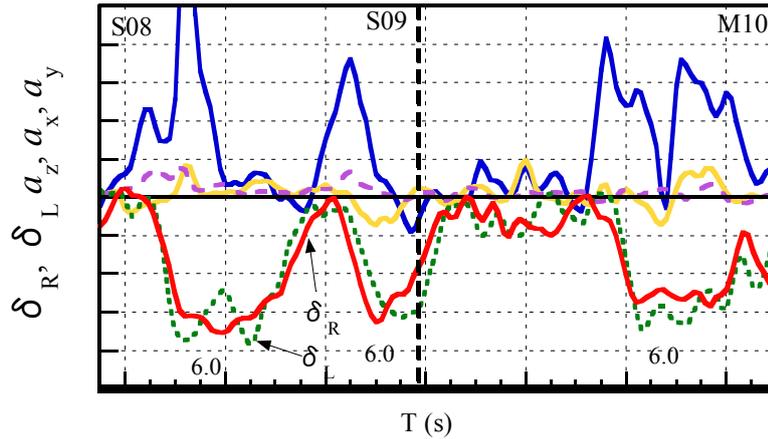


図 12 たわみおよび加速度の時系列表示

に値が出力されたものが水平方向加速度 a_x , ほぼ中央に出力された値が進行方向加速度 a_y である. 垂直方向加速度 a_z とたわみはともに上下していることが分かる. 水平方向加速度 a_x は, カーブに入るとカーブの方向とは反対方向の加速度 (右カーブの C4 では左, 左カーブの C5 では右) が表れ, その後カーブ中では左右交互に検出されていることが分かる (図 1). 垂直方向加速度 a_z およびたわみがほとんど検出されなかった C6 でも水平方向加速度 a_x は左右共に検出されているので, ソリの傾きをコントロールする必要性がわかる.

3.4 角度および筋電位測定

図 13 に, 滑走時のソリのバンク角 θ と時間 T の関係を示す. θ は, ソリの左右方向の傾き (バンク角) を意味する.

右カーブ C1 に入ると, 角度 θ がマイナス側に出力される. 直線になると, ソリは 0° の傾きに戻り, 左カーブ C2 では, プラス側に値が出力されることがわかる.

このことより, 選手がバンクでのライン取りを確認することができる.

図 14 に, 腰において, 筋電位 E_R およびその積分値 E_I と時間 T の関係を示す.

筋肉の動作による E_I の変化で, 選手がソリに与えた操作を確認できる.

以上のことより, 選手が計測器を背負うことによるタイムのロス, 全体で約 1~2 秒であり, センサの装着・脱着に要する時間はそれぞれ 10 分程度で, 測定データの表示を PC に出力し, 選手にフィードバックすることで, 選手がリザルトからソリ操作特性を確認することが可能となる.

4. 結言

スケルトンそりのフレーム特性について得られた主な結果は以下の通りである.

- 1) コース上のタイム (リザルト) からソリの縦フレーム中央部のひずみ, 垂直方向加速度, 水平方向加速度および進行方向加速度の大きさを測定し, 選手にフィードバックすることが可能となる.
- 2) 垂直方向加速度は 2~4G と水平方向加速度より相対的に大きく出力された. また, 水平方向加速度はカーブに伴い 1G 程度の加速度, 進行方向加速度は最大約 1G の加速度が作用した.
- 3) バンク角および筋電位の大きさを測定することにより, 選手のソリ操作によるライン取りが検証できる.

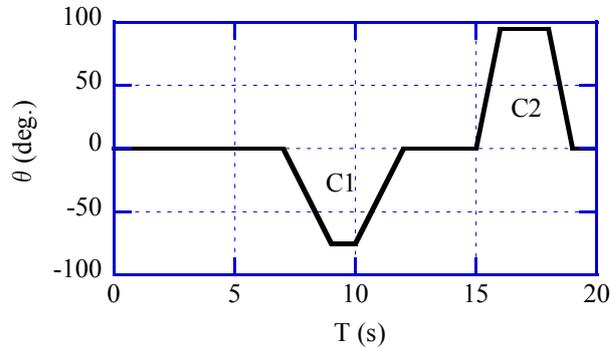


図 13 ソリのバンク角 θ と時間 T の関係

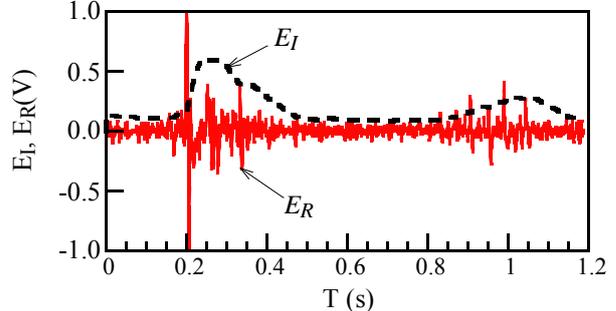


図 14 筋電位 E_R およびその積分値 E_I と時間の関係

参考文献

- 1) 長坂明彦, 掛川洋平, 平林喜明, 井上宏克, 土橋文行, 宮澤純一, 小松清視, 関 翼, 山本竜太: ス

ラップスケート靴ブレードの動ひずみ測定, スポーツ産業学研究, Vol. 18, No.1 (2008), pp.17-24

2)長坂明彦, 関翼, 内山了治, 渡辺誠一, 生駒良弘, 越和宏, 池田芳正, 松原達郎: スケルトンのソリフレーム変形特性, スポーツ産業学研究, Vol. 19, No. 2 (2009), pp. 113-118.

3) 青木博夫, 宮尾芳一, 芳賀 武, 浅川 司, 藤沢謙一郎: 長野冬季オリンピックのリュージュ競技結果に対する分析—上位者と下位者の比較—, 長野体育学研究, 10, (1999), pp.17-24

4)岡田拓真, 宮尾芳一, 内山了治, 長坂明彦: スケルトンソリの操作特性, 長野体育学研究, 第 17 回号, (2010), p29