



トランポリンの跳躍の高さは女子で6m、男子で8mに達する。ベッドへの着床時にかかる衝撃は体重の10倍以上といわれる。

写真：アフロ

アスリートたちを支える 競技用具の 材料技術

オリンピックやパラリンピックなど世界の檻舞台では、
アスリートたちが最高の状態でパフォーマンスを発揮できる環境が欠かせない。
使用される競技用具もその一つだ。

日本のアスリートたちの活躍が期待されているトランポリンと
車いすバスケットボールの競技用具の材料技術に迫る。



© 株式会社松永製作所

わずか20秒の華麗な空中芸術

2019年12月、有明体操競技場で開催された第34回世界トランポリン競技選手権大会の女子個人で、日本人選手が初めて金メダルを獲得した。決勝では縦回転の前方3回宙返りに横回転の半ひねりを加えた高難度の大技トリフィスを武器に、トランポリンの強い反発力を受けて跳ぶジャンプと、空中で頭から爪先まで一直線になる空中姿勢の美しさで観客を魅了した。

トランポリン競技は、2000年シドニー大会から男女個人が実施されている。演技は予備跳躍としてストレートジャンプ（伸身姿勢によるジャンプ）を行い、ある程度の高さまで上昇した後、異なる10種類のジャンプを続けて跳ぶ。いかに難しい技を美しく、高く、中心から外れることなく演技できるかを競う。わずか20秒という演技時間に凝縮された空中芸術なのだ。

選手は1回のジャンプで体重の10倍以上の衝撃を受けると言われ、見た目以上にハードだ。着地の瞬間から一番沈み込むまでの間に、太ももの後ろの筋肉に力を入れて体を固定することで、押し込む力を分散させることなくトランポリンに伝え、そのトランポリンから強い反発力を得て、動物のキリンの背の高さを超える高さ7~8mの跳躍を行っている。

金属と繊維が生み出す弾性力

競技専用トランポリンの構造は縦520cm、横305cm、高さ115cmの鋼製フレームに、ナイロンテープまたは細い紐で編まれた縦426cm、横213cmの弾力性に富んだ繊維製ベッドを、約120本のスプリングで固定している（図1）。

トランポリンの反発力を生んでいるスプリングには、高炭素鋼製のコイルばねとゴムケーブルの2種類の材料が用いられている。金属とゴムには共に、弾性限界がある。金属は本来、弾性限界を超なければ塑性変形しないが、繰り返し力が加わることで金属疲労が生じて、破断することがある。一方、ゴムにおいては、長期的に荷重が加わると変形が残るクリープ現象が生じやすい。クリープ現象によりゴムは伸びてしまい、金属ばねよりも早く劣化してしまう。また、弾性係数を比べてみると、ゴムの方が低い。

写真：Vladimir Vasiltvich/
Shutterstock.com

トランポリン 反発力を高める

金属が塑性変形して元に戻らなくなるのに対し、ゴムは破断することが多い。ゴムケーブルは長持ちしないため、国際競技では剛性に富んだ金属ばねが用いられている。

ベッドはスプリングに比べて、さらに柔らかい弾性体だ。ベッドにはメッシュ、ストリングス、テープの3種類がある。メッシュベッドは繊維と繊維の隙間が小さく、一体成型されている。ストリングスベッドは隙間が大きく、繊維と繊維の交差部は固定されていない。一方、国際競技で使われているテープベッドは、隙間が大きいものの、交差部は縫製により固定されている。そのため、メッシュとストリングスの中間的な性質を持っている。隙間が大きいため、それだけメッシュベッドよりも空気抵抗が少なくなる。また、1本1本の繊維が細く長くできているストリングスベッドに比べ、テープベッドは太く短い繊維が並んで、それぞれの伸びを足し合わせたものがフレームからフレームへの1本分の線の伸びとなるため、ベッド自体は硬くなる。

スプリング、ベッド、フレームの3性能を全体最適化

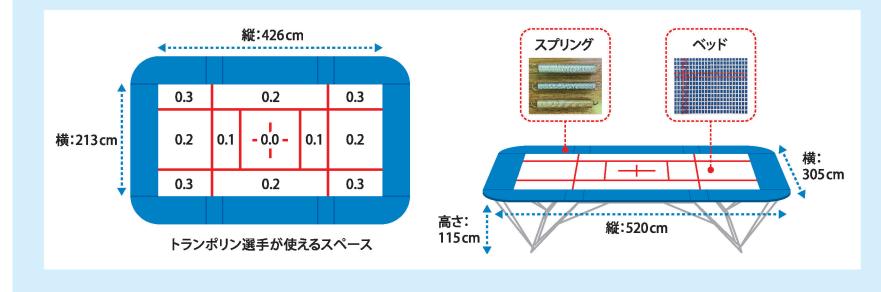
トランポリンは一見、スプリングとベッドの弾性力を利用した跳躍運動のように思われるが、フレームも大きな役割を果たしている。フレームはスプリングと同じく、金属で作られている。したがって、力が加われば変形し、弾力を持つ。従来、日本製トランポリンは柔らかいストリングスベッドを用いていたため、フレームは硬く頑丈に作られていた。一方、国際体操連盟公式競技認定品となっている海外製は、硬いテープベッドを用いているため、フレーム全体をしなるようにして、全体的に剛性を小さくし、高く跳べるように作られている。フレームの変形量を含めて設計されている。ばねの本数は116本または112本の日本製と異なり、海外製は約120本で構成されている。

また、フレームの強度を高めると、しなりが少なくなる。しなりが少なくなると、剛性が高くなり、撓みは少なくなる。撓みが少なくなると、ベッドに乗っている時間が短くなり、選手は今まで対応できていた身体の調整を

トランポリンの構造(図1)

2021年東京オリンピックで使われる予定のドイツ製トランポリンは、鋼製フレーム（縦520cm×横305cm×高さ115cm）に、118本のスプリングでテープベッドが繋がれている。選手が使えるのは、ベッド上の縦426×横213cmのスペースである。目印としてジャンピングゾーン（中心部に描かれた赤い十字マーク付近）にきちんと降りられるか、また、外れてしまった場合には次の跳躍でうまく体勢を持ち直すことができるかも見どころとなる。

移動点は着床位置によって決められた減点を合計し、10.0点満点より減点される。なお、採点は「演技点得点+難度点得点+跳躍時間点得点+移動点得点ペナルティ」の5項目に関して行われている。





© 株式会社松永製作所

より瞬時に行わなければならず、ブレやすくなる。そこで近年、フレームのコーナーに固定されているスプリングの径の太さなどを調整することで、選手がジャンピングゾーン（図1：赤い十字マーク付近）と呼ばれる範囲を出でベッドに着地しても、その後、トランポリンから外れることなくジャンピングゾーンに戻れるような反発力を持つ製品も開発されている。

スプリング、ベッド、フレームの部分最適だけでなく、全体最適な視点での設計思想の下に作られたトランポリンを、トップアスリートたちは使いこなし、晴れの舞台で最高のパフォーマンスを發揮している。

スピードイーな攻防を支える バスケットボール競技用車いす

体の一部のように 車いすを操る

車いすバスケットボールは1チーム5人で構成され、下肢などに障がいのある選手が競技用車いすを巧みに操作しながらプレーする。使用するコートやリングの高さなどは一般のバスケットボールと同じで、激しい攻防、スピードイーなパスワーク、美しい放物線を描くショット、車いすで走るスピード感、勢い余って転倒もある選手同士の激しいぶつかり合いなど、多彩な魅力が人気の競技だ。また、巧みな車いす操作（チエスキル）も見逃せない。車いすにはブレーキが無く、ダッシュ、ストップ、ターンなど、選手はすべて自身の手で行う。ショットには微妙なボールタッチが欠かせないため、ほとんどの選手は素手で車いすを操作する。体幹や腰を使って体の一部のように車いすを操る選手もいて、その身体能力の高さに驚かされる。

車いすバスケットボールは1960年にローマで開催されたパラリンピック第1回大会から実施され、現在では100カ国以上で行われている最も人気のある競技の一つだ。日本は男子が1976年トロント大会から11回連続出場を果たし、メダル獲得を目指している。



© 株式会社松永製作所

SCIENCE & INNOVATION

フレームの剛性と柔軟性を高い次元で両立

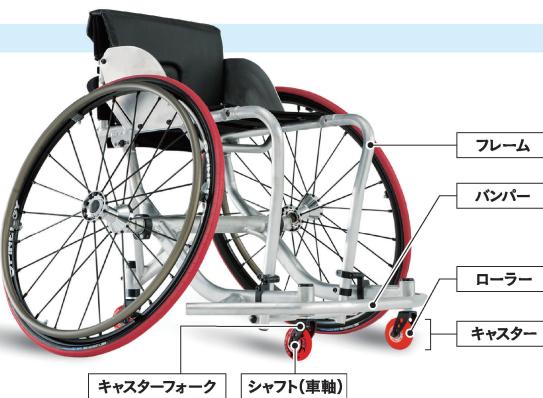
バスケットボール用車いすには、衝突時に足を保護するバンパーと、転倒防止用のキャスターが付いている（図2）。最大の特徴は、タイヤがハの字になっていること（キャンバ）である。このキャンバにより旋回性が高まり、高速でターンしても転倒しづらく、細かな動きが可能になる。軽量かつ高剛性な仕様が求められ、材料には鋼材のほか、軽くて丈夫なアルミニウム合金が使われている（図3）。

車いすの構造は、これまでリジッドと呼ばれるフレームすべてが溶接で固定されたものが主流であったが、近年は多少の調整ができるセミアジャスタブルと呼ばれる構造の採用が増えている。セミアジャスタブルは分割フレームで、ボルトとナットで座面やステップの位置、角度などを微調整できる。分割フレームは部品点数が多くなる分、若干重量増となるデメリットがあるものの、選手の体調や細かい要求に対応してmm単位での調整が可能となる。破損時に、独立した各々のフレームを容易に交換することもできる。

フレームを溶接で固めたリジッドは、剛性が高いものの、衝撃により生じるエネルギーのほとんどすべてを受け止めることになり、力の逃げ場が無いため、実はパーツが折れやすい。軽量化できるものの、すぐにクラックが入る。一方、セミアジャスタブルはフレームに適度なしなりをもたらすことで、剛性と柔軟性という本来相反する特性を高い次元で実現している。フレームにしなりが生まれると、リジッドよりも操作性が柔らかくしなやかになるだけでなく、衝撃力をうまく逃がすことでパーツが折れにくくなり、耐久性も高くなるという。また、コートの中を曲がるとき、リジッドでは剛性が高い分だけ直線方向にエネルギーが向かうのに対して、セミアジャスタブルはしなりによって滑らかなターンが可能になり、コーナリングやクイックなターンも断然しやすい。柔らかさゆえにフレームが歪むことが多いが、歪みの取り方などを工夫している。そのため、華麗なプレーをしたいと望む選手の乗り換えが増えている。

バスケットボール用車いすの構造（図2）

車いすのタイヤはハの字になっており（キャンバ）、これにより旋回性を高め、転倒しにくくなっている。車いすの重量は概ね10kgである。



日本のものづくり力がアスリートの活躍を支える

日本の競技用車いすの大手メーカーと東京都大田区の中小製造業が、町工場が中心となって競技用そりを開発した「下町ボブスレー」に続くプロジェクトとして、バスケットボール用車いすを開発した。車いすバスケットボールでは片輪を上げるプレーや車椅子が飛ぶなどの接触もあることから、車体の強度が重要になる。そこで、町工場の技術力によって、キャスターの転がり抵抗の軽減と軽量化、そしてクランプのフレームの剛性の向上を図った。

具体的には、炭素鋼からアルミニウム合金にシャフトの材料を変更するとともに、キャスターフォークの幅寸法を狭くし、肉抜き穴も改良した。加えて、ローラーの材料には超高分子ポリエチレンと適度な振動吸収が特徴のウレタンの2種類を採用した結果、キャスター4つを擁する1台につき、合計300g以上の軽量化に成功した。さらに、剛性感を求める選手のために、金属フレームを締結するための簡単に付け替え可能なクランプを、NCマシンと金属3Dプリンターによりそれぞれ製作した。

株式会社松永製作所と大田区の中小企業が共同開発したバスケットボール用車いすは、2018年度天皇杯準優勝チームで使用され、軽くて転がりが良く、扱いやすいと高い評価を得た。マシンの性能が上がると、競技のレベルも上がる。その意味で、車いすは重要な武器である。スポーツと融合した日本のものづくりが、トップアスリートたちの活躍を支えている。

（取材協力：セノ一株式会社、株式会社松永製作所）

競技用車いすができるまで（図3）



高速切断機でパイプを切り出し、曲げ加工やプレス加工などを施して、車いすの骨格に当たるフレームの部品を作成する。



一つひとつの部品を溶接で繋ぎ合わせる。ろう付やTIG溶接で、アルミニウム合金や鋼材を接合していく。細かな作業が求められるため、熟練の職人がすべて手作業で対応している。



溶接が完了したフレームに対して、ショットブラスト（表面を均一化したり、塗装やコーティングなどの密着性を向上させる加工方法）やアルマイト処理を行って、ショットブラスト加工によって、溶接部分の強度が向上する。



ホイールの組み立てには機械を使うが、タイヤやチューブの組み立ては手作業で行われている。ボルトの締め具合などで、乗り心地が大きく変わる。