

氏名	鈴木 功士
学位の種類	博士（体育学）
学位記番号	第62号
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位授与年月日	令和5年9月19日
学位論文題目	スピードスケートスーツの空力を考慮したニット生地 選択
論文審査委員	主査 前田 明 副査 横澤 俊治 副査 山下 大地

## 論文概要

スポーツにおける空気抵抗は、競技用具によっても低減される。その中でも、競技用低抵抗ウェアによる空気抵抗の低減については、多くの研究・開発が報告されている。例えば、スピードスケート競技において競技用低抵抗ウェアはスーツと呼ばれ1998年までのスーツ開発は摩擦抵抗の低減を意図して表面が滑らかな生地を用いる傾向にあった。1998年以降のスーツ開発は圧力抵抗の低減を意図して、スーツ表面の一部にトリップワイヤ（ワイヤなどの突起物）や表面粗さを適用し、近年では表面に溝やディンプルなどの特徴をもつニット生地などを適用している。しかし、溝やディンプルなどの特徴をもつニット生地の伸張や二次加工による微細な表面形状の違いと空力特性の関係についてスポーツに応用できる詳細な報告はみられない。

そこで本研究では、スピードスケート競技においてゴールタイムを短縮するために大腿部付近にどのような表面形状をもつニット生地を配置したらよいか明らかにすることを目的とした。その目的を達成するために3つの研究課題に取り組んだ。まず、研究課題1にて、競技用低抵抗ウェアのニット生地について、表面に溝やディンプルなどの高低差をとともなう、二次元平面方向にミリスケールの特徴をもつニット生地の伸張にとともなう表面形状の変化と空力特性の関係を検証した。その上で、研究課題2にて、競技用低抵抗ウェアのニット生地について、溝つきニット生地の二次加工による微細な表面形状の違いと空力特性の関係を検証した。さらに、研究課題3にて、スピードスケートスーツの空力を考慮した大腿部付近のニット生地選択について、滑走速度、会場環境、体格と空力特性の関係を検証した。

研究課題1では3種類の生地（溝つきニット生地、ディンプルニット生地、シンプルニット生地）の伸張にとともなう表面形状の変化と空力特性の関係を、

三次元表面性状測定と円柱模型を用いた風洞実験によって明らかにした。その結果、伸張率と算術平均高さ（表面粗さのパラメータ、以下「 $Sa$ 」と略す）の関係は、溝つきニット生地とディンプルニット生地で非常に高い負の相関関係が認められた。一方、シンプルニット生地では非常に高い正の相関関係が認められた。ディンプルニット生地とシンプルニット生地は  $Sa$  と最小抗力面積に対応した風速（以下「 $U_{SDmin}$ 」と略す）に非常に高い正の相関関係が認められた。一方、本研究で用いた谷幅/谷深さ  $\geq 10$  の溝つきニット生地は伸張にともなう表面形状の変化と  $U_{SDmin}$  に関係がみられなかった。したがって、選手の好みに合わせた着圧の調整や、選手の身体変化に合わせたサイズの再調整がおこなわれる場合は、生地伸張による空力変化がより小さい、谷幅/谷深さ  $\geq 10$  の溝つきニット生地が好ましい可能性がある。

研究課題 2 では研究課題 1 の知見から、伸張にともなう  $U_{SDmin}$ （ $\equiv$  臨界領域）の変化がみられなかった谷幅/谷深さ  $\geq 10$  の溝つきニット生地の臨界領域を調整するために二次加工による微細な表面形状の変化に着目した。そして、溝つきニット生地の二次加工による微細な表面形状の違い（Type A と Type B の 2 種類の生地）と空力特性の関係を、三次元表面性状測定と円柱模型を用いた風洞実験によって明らかにした。その結果、谷幅/谷深さ  $\geq 10$  の溝つきニット生地は、二次加工による微細な谷深さの違いが円柱実験における臨界領域に影響することがわかった。溝つきニット生地の谷深さがより大きい Type A の臨界領域が Type B より低速域であった。

研究課題 3 では研究課題 1 と研究課題 2 の円柱を用いた風洞実験の知見をスポーツに応用するためにスピードスケート競技を対象として人形模型を用いた風洞実験を実施した。研究課題 1 の円柱実験（大腿部を模した直径 150 mm）の結果から臨界領域がスピードスケート競技の主な滑走速度域（12 m/s から 16 m/s）である溝つきニット生地を大腿部付近に用いた。また、研究課題 2 の円柱実験の結果から二次加工による微細な谷深さの違いが人形実験の臨界領域にも影響を及ぼすか検証した。その結果、溝つきニット生地の微細な谷深さの違いが円柱実験の結果と同様に人形実験における臨界領域にも影響することがわかった。大腿部付近に用いた溝つきニット生地の谷深さがより大きい Suit A の臨界領域が Suit B より低速域であった。また、微細な谷深さの違いがある溝つきニット生地の使い分けには競技会場の環境、選手の体格、滑走速度を考慮する必要性が明らかになった。

以上より、トップアスリートに対して大腿部付近に最適な生地を選択するためには、各選手の体格およびターゲットとなる競技会場の滑走速度域を考

慮して、微細な谷深さの違いをもつ谷幅/谷深さ $\geq 10$ の溝つきニット生地を個別に使い分けることが望ましいことが示唆された。

また、本研究は模型を用いた静的な人形実験であり、三次元流れや身体の一部位による相互作用による影響を考慮することができた。しかし、実際の氷上滑走時においては、身体の一部位の角度や動きなどが、空力に影響を与える可能性がある。氷上滑走時の空力を適切にシミュレーションすることが今後の課題である。

## 論文審査の要旨

この研究の目的は、スピードスケート競技においてゴールタイムを短縮するために、大腿部付近にどのような表面形状をもつニット生地を配置したらよいか明らかにすることであった。

研究課題 1 では、3 種類の生地（溝つきニット生地、ディンプルニット生地、シンプルニット生地）の伸張にともなう表面形状の変化と空力特性の関係を、三次元表面性状測定と円柱模型を用いた風洞実験によって検証し、溝つきニット生地の有用性を確認している。

その上で、研究課題 2 では、伸張にともなう臨界領域の変化がみられなかった谷幅/谷深さ $\geq 10$  の溝つきニット生地の臨界領域を調整するために二次加工による微細な表面形状の変化に着目した。そして、溝つきニット生地の二次加工による微細な表面形状の違い（Type A と Type B の 2 種類の生地）と空力特性の関係を、三次元表面性状測定と円柱模型を用いた風洞実験によって明らかにした。その結果、谷幅/谷深さ $\geq 10$  の溝つきニット生地は、二次加工による微細な谷深さの違いが円柱実験における臨界領域に影響することがわかった。溝つきニット生地の谷深さがより大きい Type A の臨界領域が Type B より低速域であったことを明らかにしている。

研究課題 3 では、研究課題 1 と研究課題 2 の円柱を用いた風洞実験の知見をスポーツに応用するためにスピードスケート競技を対象として人形模型を用いた風洞実験を実施した。その結果、溝つきニット生地の微細な谷深さの違いが円柱実験の結果と同様に人形実験における臨界領域にも影響すること、大腿部付近に用いた溝つきニット生地の谷深さがより大きい Suit A の臨界領域が Suit B より低速域であったこと、さらに、微細な谷深さの違いがある溝つきニット生地の使い分けには競技会場の環境、選手の体格、滑走速度を考慮する必要があることを明らかにしている。

以上の結果を鑑みて、トップアスリートに対して大腿部付近に最適な生地を選択するためには、各選手の体格およびターゲットとなる競技会場の滑走速度域を考慮して、例えば微細な谷深さの違いをもつ谷幅/谷深さ $\geq 10$  の溝つきニット生地を個別に使い分けることが望ましい可能性が示唆されたと結論づけている。

論文審査では、国立スポーツ科学センターの風洞実験室を活用し、研究成果がオリンピック選手へ還元された貴重な研究であると高く評価された。しかしながら、総合論議において、研究成果の汎用性に関する内容を充実させる必要があると指摘があり、その部分を加筆することを条件に、本論文は審査基準を満たすものと認められた。