

連携記事

NIMSにおけるスポーツ材料研究

—スピードスケートブレード解析を例として—

Sports Materials Research Activities in NIMS

-Analysis of Speed Skate Blades as an Example-

国立研究開発法人物質・材料研究機構
構造材料研究拠点
表面界面キネティクスグループ
グループリーダー

村上秀之
Hideyuki Murakami

国立研究開発法人物質・材料研究機構
構造材料研究拠点
表面界面キネティクスグループ
研究員

下田一哉
Kazuya Shimoda

1 はじめに

昨年のワールドカップラグビーで日本代表が南アフリカ代表を破るという世紀のアップセットを演じたのは記憶に新しい。2019年にはそのワールドカップが日本にやってくる。その翌年には周知の東京オリンピック、パラリンピックが開催されるのであるが、隣国を眺めると2018年韓国平昌、2022年中国北京の冬季オリンピックも予定されており、今後数年、東アジアで世界規模の大きなスポーツイベントを立て続けに楽しめる機会に恵まれる。このような状況でスポーツへの注目度も年々高まっていくであろう。

さて、スポーツにおいて好成績を挙げるためには、もちろん選手本人の努力が最も大切であるのだが、いかに効率良い努力を見いだすか、強化すべきポイントの順位付けをどうするかといった課題を解決することも非常に効果的である。スポーツ科学がその問題解決に果たす役割も大きい。さらに道具を使うスポーツでは、その道具をいかに使いやすく高性能にできるかが肝要である。軽量化、高強度化、高靱化といった部材の高性能化、高機能化ができれば、選手の自己記録更新にも大いに貢献できそうである。そこで物質・材料研究機構 (NIMS) でも、この「スポーツ材料科学」といった新分野を立ち上げるべく、種々の研究トピックに取り組んでいるところである。

本稿ではその一例として、スピードスケート用ブレードの解析例について紹介する。

2 スピードスケートブレードの構造

スピードスケート競技に用いられる靴は、足を包み込むブーツ部と、その下部のブレード部に分けられる。ブレード部の全体写真を図1に示す。上部がスラップアーム付きのもの、下部

はそれを取り外したものである。ブーツはスラップアームにボルトによって固定され、簡単に着脱可能である。スラップアームは前部ブラケットが固定軸となり、かかとの部分が離れるようになっているが、通常の状態ではかかと部がチューブブレードに戻ってくるようスプリングが挿入されている。スラップアームとチューブブレードも簡単に着脱が可能である。

チューブブレードは文字通り、チューブ部とブレード部に分けられ、これらはスポット溶接、半田付け、あるいは接着剤によりしっかりと固着されている。チューブは鋼材が一般的であるが、新規材料も提案されている。

ブレード自体には高速度鋼¹⁾や、バイメタル²⁾が用いられているという情報はカタログ等から得られた。そこでブレードの一部を切断し樹脂に埋め込み、研磨、エッチングすると、図2に示すように接氷部 (左側)、ボディー部で光沢の度合いが全く異なってくることから、ブレードが異種金属を接合させたバイメタルであることが確認された。この試料のビッカース硬さは接氷部で約900Hv、ボディーで約700Hvであり、接氷部の方が格段に硬い。また接氷部の幅は5~6mmであった。このよ

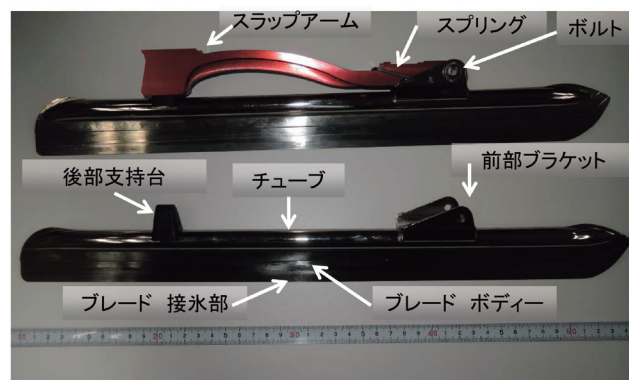


図1 スケートブレードの構成

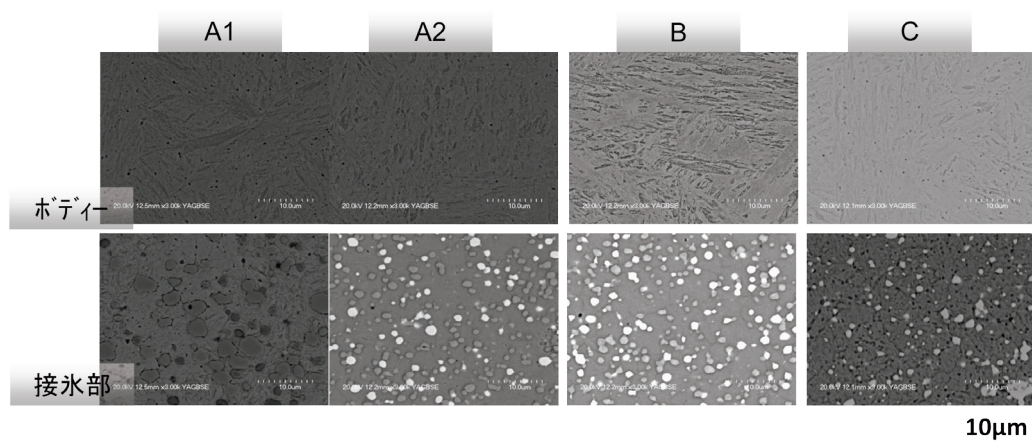


図3 各種スケートブレードの微細組織

うなブレードを4種類取り寄せ、同じような観察を行ったところ、全てのブレードにおいて同様のバイメタル構造であることが確認された。そこでこの4種の材料からボディ部、接氷部を抽出し、金属材料学的に比較検証することとした。以下その結果について紹介する。

3 解析手法

A、B、C 3社から4種のブレードを入手した。便宜上、それぞれのブレード名をA-1、A-2、B、Cとした。SEM-EDXを用い4種それぞれの部位の組織、簡単な組成を確認した後、ブレードからボディ部、接氷部を単独に切り出し、それぞれの領域における組成を詳細に調べるとともに、曲げ強度を評価した。

4 ブレード各部の組織

図3に、各ブレードのボディ部、接氷部における微細組織について示す。ボディ部については非常に似通った組織で大きな差異は認められない。A-2とCにおける粒径が、A-1とBのそれよりも若干細かい程度である。

他方、接氷部に関しては、A-1の粒径が最も大きく、A-2、Bがほぼ同様、Cについては分散粒子の粒径は細かいものの、粒子の割合が比較的低いといった特徴がある。また、組織からA-1は溶製材、それ以外は粉末冶金法によって作製されたいわゆる粉末ハイス鋼³⁾だと推定される。なお、溶接部の組織に関しては、今後詳細な解析を検討中である。

5 ブレードの成分分析

4種ブレードのそれぞれの部位について成分分析を行った。特に炭素含有量の解析には非分散型赤外線吸収法による

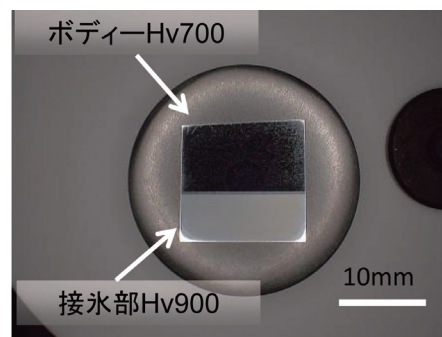


図2 スケートブレード表面の研磨像

炭素・硫黄分析装置を用いた。その他の元素解析に波長分散型蛍光X線装置を用いた。以下その結果について表1、2に示す。表中Siについては、ステンレス鋼などの分析でやや高値を示すことが確認されている⁴⁾。そのため実際のSi量については更なる調査を検討している。A-2のブレードに関しては、ボディ部表面にコーティングが施されており、解析の結果Niめっきだと推定された。これを完全に除去できなかったためにNi含有量が高めに検出されている。Niがめっきされた理由としては、ブレードとチューブ（数カ所スポット溶接が施されている）の溶接性を向上させるためか、或いはブレードの耐腐食性を上げるためだと予想されるが、詳細は不明である。このNiが0.25wt%だと仮定して他の合金成分を再計算した値をA-2'として表1に加えてあるが、A-1、A-2'、B 3種の成分がほとんど同一である。他方、Cに関しては他のブレードと成分が異なり、炭素とNiの含有量が若干多いがCr、Mn、Wの添加量が少ないことが明らかである。

表2に接氷部の組成を示す。A-2、Bの組成がほぼ一致しており、ボディ部の組成も鑑みるとA-2とBのブレード原材料は同じ仕入れ先から入手した可能性が非常に高い。詳細は示さないが、ICP分析結果でもほぼ同一の組成が示されている。

表1 ボディー部の組成 (wt%)

試料名	Fe	Cr	Mn	V	W	Mo	Ni	Si	C
A-1	Bal.	6.8	1.1		1.6	1.8	0.25	0.81	0.3
A-2	Bal.	6.3	0.85		1.3	1.4	8.6	0.54	0.32
A-2'	Bal.	6.9	0.93		1.4	1.5	0.25	0.61	0.33
B	Bal.	6.6	0.95		1.4	1.6	0.24	0.80	0.34
C	Bal.	1.2	0.67	0.16	0.09	1.2	0.68	0.61	0.51

表2 接氷部の組成 (wt%)

試料名	Fe	Cr	Mn	V	W	Co	Mo	Ni	Si	C
A-1	Bal.	12.2	0.41	4.1	0.04	0.02	1.1	0.25	0.81	2.2
A-2	Bal.	4.8	0.34	4.0	8.6	7.8	1.8	0.32	0.43	1.58
B	Bal.	4.7	0.23	5.1	9.2	7.6	1.9	0.19	0.60	1.63
C	Bal.	2.7	0.5	1.1	3.2	0.01	3.2	0.32	0.58	0.87

A-2とBは異なるスケートメーカーのブレードであるが、ブレード用のバイメタル入手先は限られているのかもしれない。他方、溶製材と考えられるA-1に関してはCrと炭素の含有量が高くW、Coが低いこと、CについてはMo以外の添加量がA-2或いはBに加えて少ないことが判明した。

本結果からある程度鋼種の同定が可能で、例えばCの接氷部にはJIS SKH51相当の材料が使われているようであるが⁵⁾、詳細の検討は読者にお任せしたい。

6 ブレードの曲げ特性

選手にとっては組織がどんなものであろうが、滑りやすい、また良く滑るブレードを選択する。よってブレード自体の力学特性を示すことは選手にとってもわかりやすい情報である。そこでブレードの曲げ特性を評価してみた。ブレード接氷部とボディー部から、長手方向に約50mm、幅約4mmの短冊状試験片を切り出し、図4に示すように試料表面に歪みゲージを取り付け、評点間距離30mm、曲げ速度1mm/minの条件で三点曲げ試験を行った。ボディー部、接氷部で得られた加重歪み曲線についてそれぞれ図5、図6に示す。ボディー部の弾性域における直線の傾きに大きな差異は認められなかった。A-2に関しては試験途中でNiのめっき膜が歪みゲージとともに剥離してしまったため、塑性域に到達した付近でカーブが急に変化した。接氷部に関してはCの傾きが小さいことが明確である。これは前項でCの接氷部における炭素含有量、合金元素添加量が低いことと相関している。また、A-2の試料についてはほとんど塑性変形せずに破断してしまった。

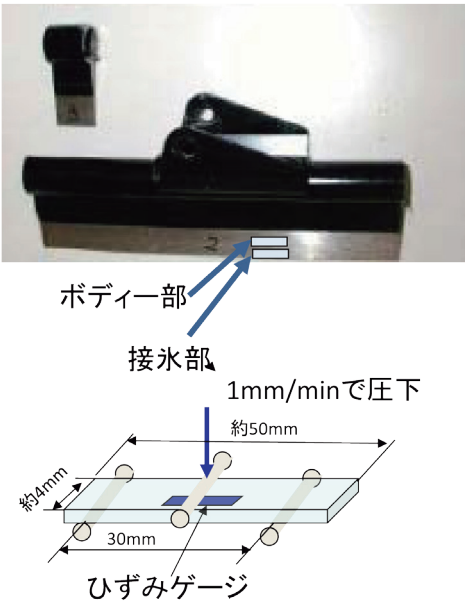


図4 3点曲げ試験片の切り出しと試験法

グラフにおける弾性域の傾きからヤング率を求め、表3にまとめた。ここで示した「みかけの曲げ剛性」は、試料の厚さを考慮しないで見積もったものであり、商品としてのブレードの曲げにくさを示す指標と見なすことができる。ここで材料自体のヤング率はボディー部ではA-1、C、B、A-2の順となった。A-2のボディー部は試料が基材+Ni膜の2層構造となっていることから低く見積もられたと考えている。みかけの曲げ剛性の観点からはA-2、Bが高く、C、Aの順に低くなっている。他方、接氷部ではヤング率、みかけの曲げ剛性ともにA-2、B、

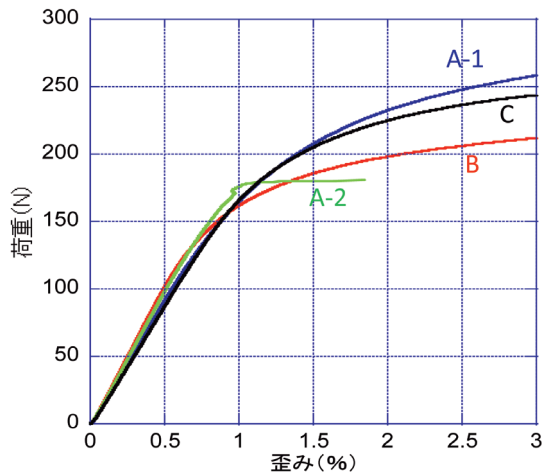


図5 3点曲げ試験におけるボディ部の荷重歪み曲線

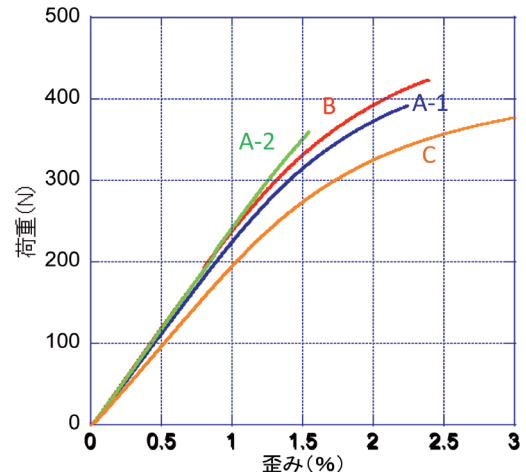


図6 3点曲げ試験における接氷部の荷重歪み曲線

表3 各部位のヤング率

試料名	ボディ部		接氷部	
	ヤング率(GPa)	見かけの曲げ剛性	ヤング率(GPa)	見かけの曲げ剛性
A-1	199	207	209	244
A-2	167	224	229	277
B	182	224	216	262
C	191	211	202	227

A-1、Cの順に低くなっていった。強度の順は成分分析の予想通りであったが、注目すべきは、組成がほぼ同じであったA-2とBに関して、特に接氷部における強度に差異が見られた点である。これは、原材料入手後、ブレード形状に加工するとき、或いはブレードとチューブを溶着させるときにブレードになんらかの熱履歴がかかったか、意図的に熱処理が施された可能性を示唆している。

7 解析のまとめと将来展望

以上、4種のブレードを解析した結果、A、B2社で用いられている仕入れ材は同一である可能性が高いものの、その後熱処理、或いは溶接等の加工履歴によってヤング率に若干の差異が認められること、C社のブレードはA、B社と比べて柔らかいことなどが明らかとなってきた。スキー板と同様、脚力の強い選手ほど硬めのブレードを好む傾向にあると伺っている⁶⁾。その観点からA-1やCのブレードは女子選手の方に人気が高い。他方、A-2とBを比べるとA-2のブレードは硬いのであるが、実際に滑った場合Bの方が硬く感じられるということをもったことがある⁶⁾。これはブレードだけではなく、ブレードを支えるチューブやスラップアームの特性も影響し

ているためであり、システムとしての総合評価が必要であることを示唆している。

NIMSではスラップアームやチューブの解析も並行して進めてきた。例えばスラップアームが6000系か7000系Al合金であることなどを確かめている。さらに、人的感覚も含めた定量評価手法の検討や接氷面における摩擦の評価等も行ってきた。

しかしながら、単なる材料解析だけでは研究の醍醐味にかけてしまう。スケート靴の進化のために積極的に関与するために、材料研究者とともにブレード用新材料や、ブレード表面処理に関する提案も行っている。システムとしてのスケート靴を考える場合、全重量が軽ければ軽いほど選手への負荷は軽減される。よってチューブやブレードの軽量化はますます進んで行くであろう。NIMSでも軽量チューブの試作など様々な試みを進めており、別機会で紹介できればと考えている。

8 おわりに

以上、スケートブレードの解析を例に、NIMSのスポーツ材料研究に関する取り組みを紹介した。構造材料の研究者にとってスポーツ材料の研究は、開発した材料が実用化されるまでの期間が比較的短い、効果が結果となって明確に示され

る。注目度も高い等、魅力的な点が多々存在する。他方、選手に使われるものである限り、その選手にとっての使いやすさという定量化が困難な要素が加わる。選手からの期待はその分研究者へ重い責任となつてのしかかる。

しかしながら、研究者の使命は研究開発を通して人類社会に貢献することであろう。新材料がスポーツ競技者の記録を伸ばすことに貢献できれば、それが競技人口を増やすことにもつながるであろうし、観戦者を勇気づけることも可能だと信じている。

著者らの研究グループでは、新材料に関するシーズと、スポーツ科学の知見、競技者からのニーズをうまくマッチングさせることによってスポーツ材料研究をさらに発展させるようなネットワークを構築中である。スポーツといえば、どうしても遊びといった先入観が抜けにくい材料研究者もいらっしゃるかもしれないが、材料研究における重要なテーマの一つとして是非取り組んで頂きたいと心から願う次第である。

謝辞

本稿における研究成果の一部は、文部科学省マルチサポート事業の受託先である筑波大学との共同研究によって行われました。筑波大学体育系の阿江通良教授、河合季信准教授には、研究を進める上で貴重な助言を頂きました。ブレードの成分解析は、NIMS材料分析ステーションによって実施された他、三点曲げ試験については、NIMS田中義久博士、試料作成にあたっては田中孝尚、田澤亜実、杉本敬子氏に協力頂きました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) エスクサンエス社ホームページ, <http://www.esc-sss.co.jp/product.html>
- 2) MAPLE社ホームページ, <http://www.mapleskate.com/long-track/>
- 3) 例えば、Sanyo Technical Report, 16, (2009), 79.
- 4) 伊藤真二：物質・材料研究機構, 私信, (2016)
- 5) 日本工業規格 JIS G 4403.
- 6) 河合季信：筑波大学, 私信, (2012)

(2016年4月20日受付)