

3D プリンティングによる樹脂蹄鉄の製造と特性評価

中川佑貴^{1,2,*}, 池田慎一³, 高澤幸治³,
吉野雅彦²

¹ 旭川工業高等専門学校システム制御情報工学科

² 東京工業大学工学院

³ 苫小牧工業高等専門学校創造工学科

(*nakagawa@asahikawa-nct.ac.jp)



中川佑貴 (なかがわ ゆうき)

北海道札幌市出身の30歳。苫小牧工業高等専門学校機械工学科卒業後、豊橋技術科学大学に編入学、また学位を取得。東京工業大学工学院助教を経て、2022年4月より旭川工業高等専門学校システム制御情報工学科助教。学生時代より10年に渡り3Dプリンティングに関する研究に取り組む。博士(工学)。

要約

本研究は3Dプリンターによって製造された熱可塑性樹脂製蹄鉄の特性評価を行い、その適用範囲を明らかにすることが目的である。市販の蹄鉄は規格品であり決められた形状から蹄に合わせて修整する必要があるが、ポリウレタン製樹脂蹄鉄の修整は難しい。一方3Dプリンターでは金型が不要であり、自由な寸法で樹脂蹄鉄を製造することができる。試験の結果、3Dプリンティングされた樹脂試験片の圧縮強度は蹄鉄として十分であり、蹄の水平方向のヤング率に近い値を持つことから、3Dプリンティングされた樹脂蹄鉄は接着装蹄においても蹄機作用への影響が小さい可能性が示された。複雑形状の特殊蹄鉄においても寸法精度は高かったが、耐摩耗性はポリウレタン製と同等もしくはそれ以下であったため、3Dプリンティング中に金属補強材を包埋したハイブリッド蹄鉄を製造し鉄頭部を高強度化した。ただし実使用環境では水分や紫外線の影響で耐摩耗性が低下する恐れがある。以上の結果より3Dプリンティングされた樹脂蹄鉄は、運動量が少なく特殊な形状の蹄鉄が用いられる装蹄療法への応用が適していると考えられる。

キーワード: 3Dプリンティング, 樹脂蹄鉄, 装蹄療法,
熱可塑性樹脂

(受付日 2021年8月26日 受理日 2021年11月28日)

1. 緒言

造鉄においては鉄桿を加熱し、工具で打撃し、鍛伸、曲げ、孔開けを行い蹄鉄を製造する。造鉄には高い技

術と経験が要求されるため装蹄師の育成には期間を要し、今後の人材不足が懸念される。現代ではプレス加工および機械加工によって工業的に製造された蹄鉄を用いる場合が多いが、市販の既製品蹄鉄は標準蹄鉄の形状であり、装蹄する蹄の形状に合わせて修整する必要がある¹⁾。装蹄において接蹄面と蹄負面に隙間が生じると、荷重が集中し蹄壁を損傷する可能性があるため、両面は完全に接触する必要がある。また各種蹄形に合わせた修整は必須である。その他にも鉄唇、上弯の設置、鉄頭部の下狭加工など様々な追加工が行われる。さらに多様な特殊蹄鉄は装蹄師自らで造鉄する必要がある。既製品の蹄鉄はコストを抑えるために少品種で大量生産されているが、実際には馬ごとに適した蹄鉄が必要であり多品種少量生産のニーズが高い。

蹄鉄の素材は一般的にアルミニウム合金もしくは銅が用いられるが、衝撃吸収性に優れた合成樹脂蹄鉄が使用されることがある。樹脂蹄鉄は軽量であり脚元への負担が小さいが、軟質であるため蹄釘のゆるみが起こりやすく落鉄の可能性が高まる点や、樹脂蹄鉄の素材として一般的なポリウレタンは後加工が難しく、蹄形に合わせた調整が困難であり、樹脂蹄鉄に合わせて蹄の形状を整える必要がある点が問題である。さらに樹脂蹄鉄の価格はアルミニウム合金製と比較して数倍高くコストが増加する。また耐摩耗性は金属に劣るため、市販品においては鋼のプレートやワイヤーを樹脂蹄鉄内に埋込み耐摩耗性を向上させている。Mischler and Hofmann²⁾は2種類の硬さのポリウレタンから成る樹脂製蹄鉄の摩耗を調査し、転がりおよび滑り摩耗に

よって摩滅することを示した。またアスファルトやコンクリートのような硬い地面を歩行した距離が摩耗量に大きく影響することを示した。

釘付け装蹄のほかにアクリル系の接着剤を用いた接着装蹄法がある。主に樹脂蹄鉄の装蹄や蹄の保護のために用いられるが、落鉄防止の観点から蹄負面全体に接着剤を塗布するため、金属蹄鉄を用いた場合は蹄踵部の動きが拘束され蹄機作用への悪影響がある³⁾。蹄機作用とは踏行時における蹄の変形であり、着地における衝撃の緩和やポンプのように血流を促進させる効果があり、馬体にとって重要な機能である。装蹄が蹄機作用に及ぼす影響は蹄の変位測定実験や有限要素シミュレーションによって検討されている。Bellenzaniら⁴⁾は様々な走行速度における未装蹄の蹄のひずみを測定した。Reillyら⁵⁾は長期間接着装蹄された蹄壁は、釘打ち装蹄と比較して形状のゆがみが小さいことを示した。Hinterhoferら⁶⁾は蹄にマーカーを取り付け、歩行を模したサイクル垂直荷重を負荷し、蹄鉄の有無が蹄の変形に及ぼす影響を画像解析で検討し、釘付け装蹄によって蹄壁および蹄底ともに変形が阻害されることを示した。Brunstingら⁷⁾は先端が分割された蹄鉄を装蹄した状態で踵の変位を測定し、跣蹄時と有意差がないことから、分割された蹄鉄が蹄機作用を阻害しないことを示した。

馬の肢蹄に働く高い荷重、衝撃力、あるいは小さな繰返し荷重は怪我の大きな要因である。これらの緩和や怪我の治療を目的とする装蹄を装蹄療法と呼ぶ⁸⁾。蹄の角度を調節する厚尾蹄鉄や、蹄の反回を促す揺籠型蹄鉄やレール蹄鉄、蹄負面の荷重分散および蹄踵の沈み込みを抑制する連尾蹄鉄など、疾患の種類によって適切な特殊蹄鉄を選択する。装蹄が肢蹄に及ぼす影響について力学的に検討がなされており、Panagiotopoulouら⁹⁾は常歩における前肢の指骨における相当応力を有限要素解析で計算し、装蹄された場合において高い応力となることを示した。Tanakaら¹⁰⁾はクラブフットに伴う狭窄蹄のサラブレッドに、ヒンジのついたアルミニウム製蹄鉄を装蹄して、蹄の大きさを増加させて矯正した。O'Grady¹¹⁾は装蹄療法に関する研究をレビューした。特殊蹄鉄は疾患の治療に有効であるが、形状が複雑であり造鉄の手間が大きくコストが高い点が問題である。

形状自由度の高い樹脂製品の製造方法として3Dプ

リントニングの適用が工業的に拡大している。溶融積層造形法の3Dプリンターはヒーターによって溶融させた樹脂を押し出し積層することで部材を製造する。装置は特許切れを契機に価格が大幅に低下し数万円程度で購入できる。3Dプリンティングは3次元形状モデルから金型なしで部材を製造できるため、形状の制限が少なく、かつ多品種少量生産に適している¹²⁾。Soodら¹³⁾は引張強さおよび衝撃強さに及ぼす積層厚さ、方向および幅など成形パラメーターの影響を調査した。Dawoudら¹⁴⁾は引張、衝撃および曲げ強度に及ぼすラスター角度の影響を評価した。またTurnerら¹⁵⁾は押出された樹脂の接合挙動に関してのレビューを行った。3Dプリンティングを活用した蹄の治療法として、Leonardiら¹⁶⁾は角壁腫の治療のために外科的切除された蹄に対して、蹄の欠損部を補うように3DプリンティングされたPLA製のスキヤフォールドを装着させた。3Dプリンティングされた蹄鉄は一部で実用化されているが、蹄鉄として要求される機械的特性の検討は不十分である。

本研究では3Dプリンターによって製造された樹脂蹄鉄の適用範囲の検討のために、部材を製造し強度および耐摩耗性を評価した。得られた結果より3Dプリンター製樹脂蹄鉄が蹄機作用に及ぼす影響を力学的に検討した。その後標準およびタブ付き揺籠型蹄鉄を3Dプリンティングし、寸法精度を評価した。また樹脂と金属を組み合わせたハイブリッド蹄鉄によって鉄頭部の高強度化を図った。

2. 3Dプリンターによる樹脂蹄鉄の製造

通常の造鉄法および3Dプリンターによる樹脂蹄鉄の製造プロセスを図1に示す。通常の造鉄法では、鉄桿を加熱し、工具により整形することで造鉄する。もしくは既製品蹄鉄を購入し、修整、焼付け、釘付けを行うが、整形には高い技術と経験が必要である。一方樹脂蹄鉄の3Dプリンティングでは、あらかじめ標準蹄鉄や連尾蹄鉄など代表的な形状を3次元モデルとして用意し、対象となる馬に適するようにモデルの寸法を微調整し製造する。3Dプリンターによる製造では、樹脂の加熱と整形の工程が自動化でき、特殊な技術は必要がなく、3次元形状モデルがあればよい。装蹄時に修整した場合、その情報を記録することで馬ごとの蹄鉄形状モデルを蓄積し、次回以降に活用することが

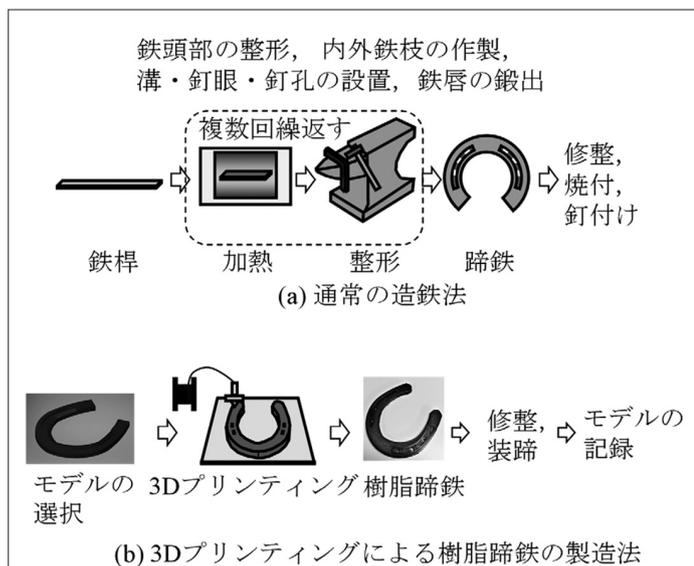


図1. 通常の造鉄法および3Dプリンターによる樹脂蹄鉄の製造プロセス

できる。このように3Dプリンティングされた樹脂蹄鉄の適用範囲を検討するために、蹄鉄として要求される機械的特性の評価を行った。

3. 3Dプリンティングされた樹脂部材の強度および耐摩耗性評価方法

3.1. 3Dプリンティング条件

蹄鉄に作用する荷重は主に垂直分力であることから、樹脂蹄鉄の圧縮強度は重要である。そこで円柱部材を3Dプリンティングし、静的圧縮試験によってその強度を評価した。樹脂部材の3Dプリンティング条件を図2に示す。3DプリンターはUltimaker社製S3であり、樹脂は寸法精度の高い部材が製造できるPolylactic Acid (PLA)と耐摩耗性に優れたPolyamide 6 (PA6)を用いた。直径2.85 mmの樹脂フィラメントを先端径0.4 mmのノズルから押し出しプラットフォーム上に積層することで、直径25 mm、高さ30 mmの円柱試験片を製造した。外壁の厚さは約1 mmであり、内部は格子状になっており、その密度は $\delta=20, 50, 100\%$ とした。密度が高いほど強度は大きくなるが、製造にかかる時間が長くなり、多くの材料が必要となる。樹脂1層あたりのレイヤー厚さは0.2, 0.4 mmとした。

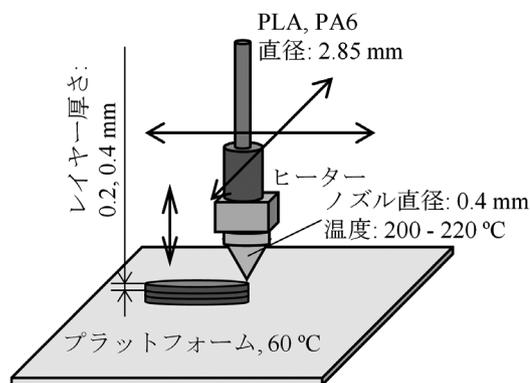


図2. 樹脂部材の3Dプリンティング条件

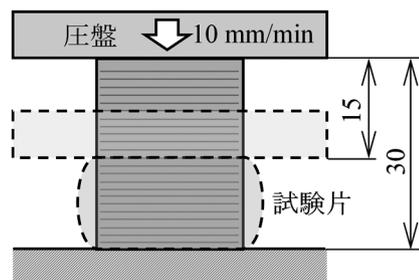


図3. 円柱試験片の圧縮試験条件および3Dプリンティングされた試験片

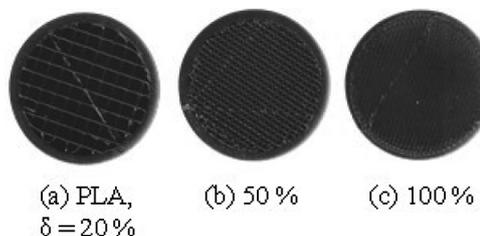


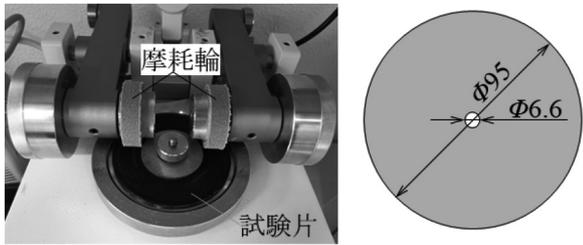
図4. 円柱試験片の内部構造

3.2. 圧縮試験条件

3Dプリンティングされた円柱試験片の圧縮試験条件を図3に示す。圧縮試験には万能試験機 (UH-500kNI, 島津製作所) を用い、平板を速度10 mm/minで15 mm程度降下させて試験片を圧縮した。途中で試験片が破壊した場合はその時点で試験を終了した。円柱試験片の内部構造を図4に示す。交差した樹脂線で内部が埋められており、線の本数で密度を変えることができる。

3.3. テーパー摩耗試験条件

樹脂蹄鉄の耐摩耗性を評価するために図5に示すテーパー摩耗試験を行った。3Dプリンティングされた



(a) テーバー摩耗試験機 (b) 円盤状試験片寸法

図5. テーバー摩耗試験機と円盤状試験片の寸法

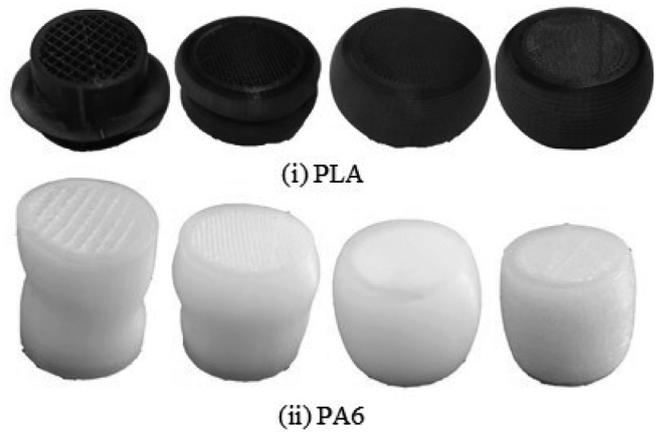
円盤状試験片を分速60回転で5000回転させ、1 kgのおもりを乗せた二つの摩耗輪によって試験片を摩耗させて、試験前後の試験片の重量および板厚を比較した。板厚は1.75 mmで密度は $\delta=100\%$ とした。3Dプリンティング後の試験片の表面処理は行わず、樹脂線の跡が見える状態である。摩耗輪には樹脂用の物を用いた。各試験の前にエメリー紙を用いて摩耗輪に残留する樹脂粉を除去した。また市販の樹脂蹄鉄の耐摩耗性と比較するために、Mischler and Hofmann²⁰⁾やMooreら¹⁷⁾の研究で用いられた樹脂蹄鉄を参考に、シヨア硬さa90のポリウレタン(PU)シートを厚さ1 mmの円盤状に切断し、同様の方法で耐摩耗性を評価した。

4. 樹脂部材の強度および耐摩耗試験結果

4.1. 圧縮試験結果

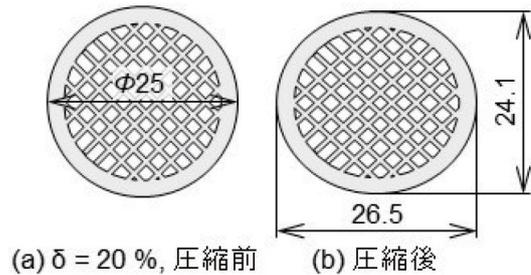
圧縮された円柱試験片を図6に示す。材質に関わらず $\delta=100\%$ は樽型の変形となった。20%では半径方向の変形に異方性があり、図7に示すように変形後の上面はPLA, PA6ともに楕円となった。またいずれの条件においても試験片の飛散はなかったことから、想定以上の荷重が使用中に負荷され大きく変形した場合も破片の飛散の危険性は低い。

圧縮荷重ストローク線図を図8に、圧縮降伏応力およびヤング率に及ぼす成形条件の影響を図9に示す。密度の増加と共に圧縮降伏荷重も増加した。またレイヤー厚さ0.2 mmのほうが高い強度を得られた。降伏応力もヤング率も同一の成形条件ではPLAの方がPA6より高かった。蹄鉄が塑性変形しないためには高い降伏応力が求められる一方、高いヤング率は蹄機作用を阻害する可能性がある。サラブレッドの成馬においては、襲歩中の接地時に最大垂直荷重約10000 Nが1本の肢に作用すると推定される¹⁸⁾。この時に蹄鉄に作用



(a) $\delta=20\%$, (b) 50%, (c) 100%, (d) 100%,
レイヤー厚さ: 0.2 mm 0.2 mm 0.4 mm
0.2 mm

図6. 圧縮された円柱試験片



(a) $\delta=20\%$, 圧縮前 (b) 圧縮後

図7. $\delta=20\%$ における圧縮されたPA6試験片の上面

する垂直応力 σ は以下の式で求められる。

$$\sigma = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

ここでAは蹄鉄の接地面積である。接地面積は馬によって異なるが、蹄鉄を外周円直径120 mm、幅20 mmの3/4円筒と仮定すると、接地面積は2590 mm²となり、(1)式より蹄鉄の応力は約4 MPaとなる。この場合は図9より $\delta=20\%$ のような低い密度の場合でも降伏しない。鉄頭部のみで支持すると仮定すると接地面積は約1/3となり、応力は3倍の約12 MPaとなりPA6では $\delta=20\%$ において降伏する恐れがある。許容される応力 σ_y は(1)式に安全率Yを掛けて以下の式で計算できる。

$$\sigma_y = \frac{P_{max}}{A} \times Y \quad (2)$$

$\delta=100\%$ のPLAの降伏応力は約65 MPaであり、この

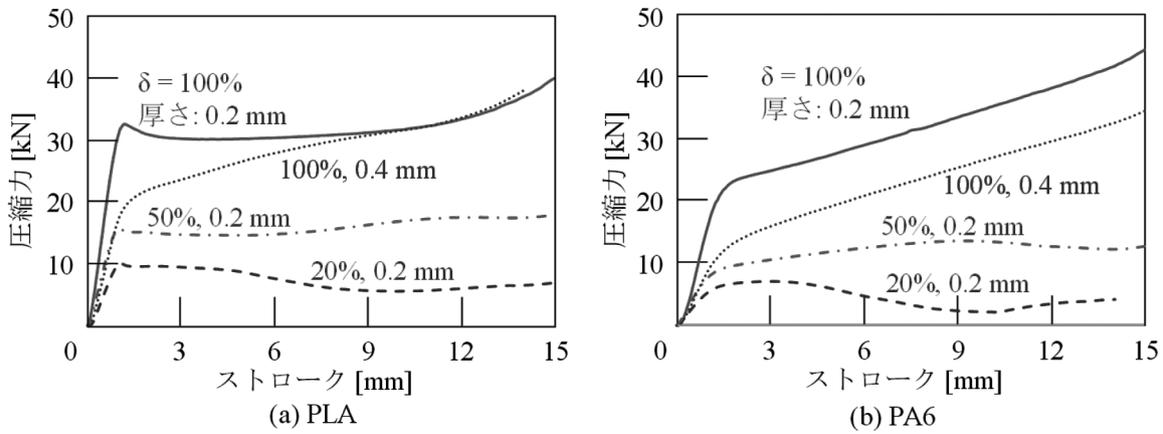


図8. (a) PLA および (b) PA6 試験片における圧縮荷重ストローク線図

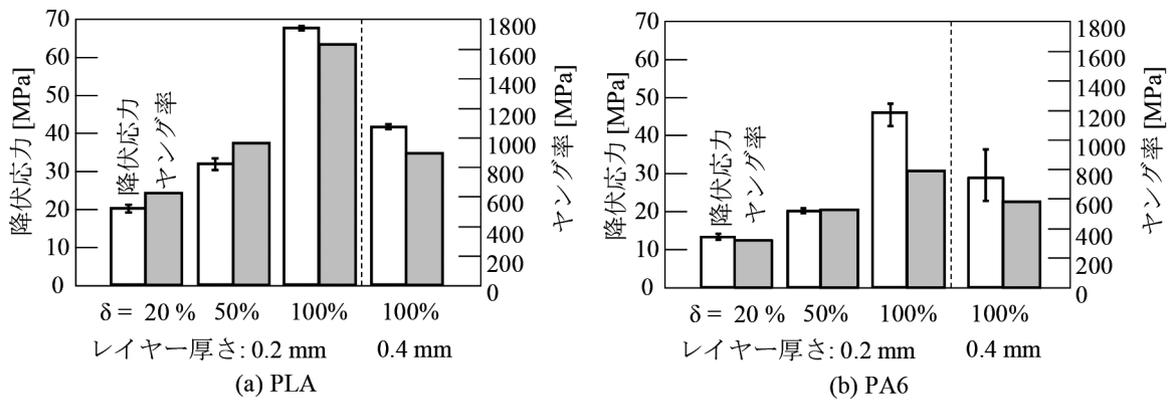


図9. 圧縮降伏応力およびヤング率に及ぼす成形条件の影響

場合の安全率はおよそ5.4であり、不意に高い荷重が作用した場合においても十分安全と言える。以降の実験では $\delta=100\%$ 、一層の厚さ0.2 mmで試験を行った。

4.2. 摩耗試験結果

テーパー摩耗試験結果を表1に示す。同一の試験を材料ごとに二回行った。PLAと比較してPA6の方が摩耗量は少なく、PUと同程度の摩耗量であった。ただし摩耗は荷重の大きさのみならず、接触面の状態や速度の影響を大きく受けるため、実際に装蹄して摩耗量を測定し運動の内容や時間などの影響を実験的に調査する必要がある。

5. 3D プリンティングされた樹脂蹄鉄の評価

5.1. 蹄鉄のモデル寸法

3D プリンティングされた樹脂蹄鉄のモデル寸法を図10に示す。標準蹄鉄およびタブ付き揺籠型蹄鉄を模

した形状を3D プリンティングした。標準蹄鉄はPLA、タブ付き揺籠型蹄鉄はPA6でそれぞれ製造した。3D プリンティング条件は3章と同様であり、密度は $\delta=100\%$ である。揺籠型蹄鉄においてはサポート材としてポリビニルアルコールを用いた。図内の寸法が記入された位置において、製造された蹄鉄の寸法をノギスおよびマイクロメーターで測定し、設計値と比較した。

5.2. 寸法精度

製造された樹脂蹄鉄を図11に、モデルと製造された樹脂蹄鉄との寸法差を表2および3に示す。測定は各箇所3回行い平均値を算出した。標準蹄鉄においては、釘孔および溝部において最大6.7%の誤差が生じた。プラットフォームと接しない部分は誤差が大きくなる傾向があるため、サポート材を利用するか、誤差を見込んだ設計が必要である。ただし金属と異なり、孔は蹄釘を打ち込むことで広がるため、釘径より小

表 1. テーパー摩耗試験結果

	試験前重量 g	試験後重量 g	重量差 g	試験前板厚 mm	試験後板厚 mm	板厚差 mm
PLA- i	16.3033	16.2436	0.0597	1.85	1.75	0.10
PLA- ii	16.5759	16.5247	0.0512	1.86	1.77	0.09
PA6- i	13.4451	13.4433	0.0018	1.66	1.62	0.04
PA6- ii	13.2013	13.1956	0.0057	1.65	1.63	0.02
PU, a90- i	8.6611	8.6480	0.0129	1.01	0.97	0.04
PU, a90- ii	8.6339	8.6315	0.0024	1.01	0.98	0.03

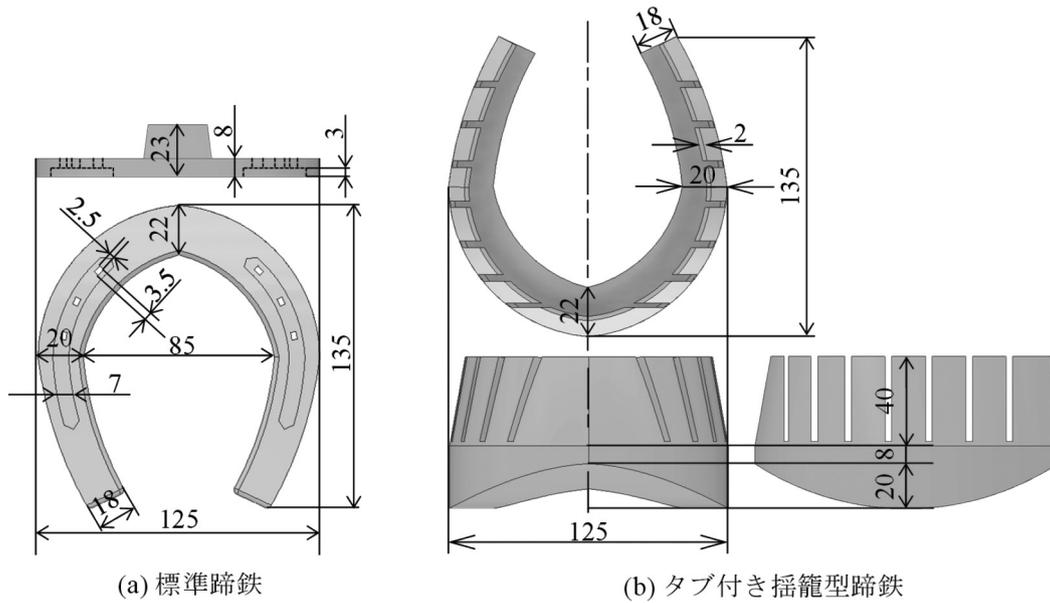


図 10. (a) 標準蹄鉄 (PLA) および (b) タブ付き揺籠型蹄鉄 (PA6) のモデル寸法

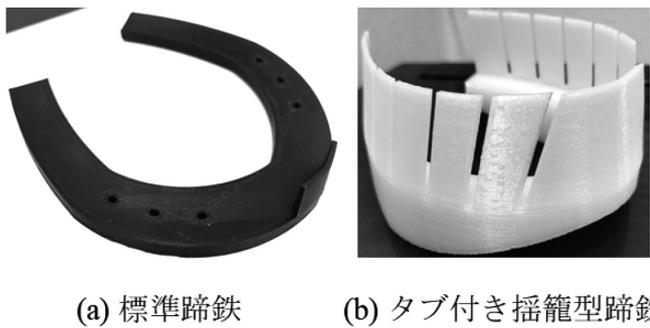


図 11. 3D プリンティングによって製造された樹脂蹄鉄

表 2. 標準蹄鉄におけるモデル寸法と測定値

	モデル mm	測定値 mm	誤差 %
厚さ	8	8.05	0.63
縦径	135	135.22	0.16
横径	125	124.66	-0.27
鉄頭部幅	22	22.30	1.4
鉄側部幅	20	20.29	1.5
鉄尾部幅	18	18.19	1.1
鉄頭鉄唇高さ	15	15.00	0
釘孔	3.5×2.5	3.35×2.45	-4.4×-2.0
溝幅	7	6.78	-3.15
溝深さ	3	2.8	-6.7

くても許容できると考えられる。その他の箇所における誤差は 1.5% 以下となった。タブ付き揺籠型蹄鉄においては最大 2.5% 程度の誤差がタブ厚さで生じており、絶対値ではタブ高さの 0.36 mm の誤差が最大であった。

5.3. 樹脂蹄鉄が蹄機作用に及ぼす影響の力学的検討

蹄機における蹄の変位は最大横径部よりも後方で発生し、拡張および収縮量は駢歩において約 10 mm 程度である。釘付け装蹄において蹄踵部分は拘束されておらず、蹄機を妨げる力は蹄鉄と蹄負面における摩擦力

表3. タブ付き揺籠型蹄鉄におけるモデル寸法と測定値

	モデル mm	測定値 mm	誤差 %
縦径	135	135.10	0.0
横径	125	125.03	0.02
鉄頭部幅	22	22.18	0.82
鉄側部幅	20	20.15	0.75
鉄尾部幅	18	17.90	-0.56
揺籠高さ	28	28.16	0.57
タブ高さ	40	39.64	-0.90
タブ厚さ	2	2.05	2.5

が主であるが、接着装蹄の場合は落鉄防止のため蹄踵部まで接着するため蹄機作用を阻害する。しかしながら樹脂蹄鉄は金属製の蹄鉄と比較してヤング率が低いこと変形しやすく、蹄機作用への影響は小さいと考えられる。倉ヶ崎ら¹⁹⁾はウレタン製蹄鉄を接着装蹄した場合とアルミ製蹄鉄を釘付けした場合における蹄踵の変位を比較して、ウレタン製蹄鉄の接着装蹄が蹄機作用に及ぼす影響が小さいことを明らかにした。ここでは蹄鉄の材質および形状が蹄機作用に及ぼす影響を力学および実験的に検討する。

蹄機作用による蹄鉄の変形モデルを図12に示す。蹄鉄をC型として、接着装蹄を想定して蹄踵部の拡張・収縮による半径方向の荷重Fが鉄尾(点A)に作用すると仮定する。点Aから角度 α における点Cに生じる曲げモーメントは

$$M = FR \sin \alpha \quad (3)$$

ここでRは蹄鉄の中立線半径である。また曲げモーメントによって蹄鉄に生じるひずみエネルギーは以下の式で表される。

$$U = \int \frac{M^2}{2EI} R d\alpha \quad (4)$$

Eは蹄鉄のヤング率、Iは断面二次モーメントである。(3)式を代入し θ まで定積分を行うと蹄鉄全体におけるひずみエネルギーが求められる。

$$U = \frac{F^2 R^3}{2EI} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \quad (5)$$

上式を半径方向荷重Fで微分すると、点Aにおける半径方向変位dRが与えられ、蹄機作用を阻害する荷重を見積もることができる。

$$dR = \frac{dU}{dF} = \frac{FR^3}{4EI} \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right) \quad (6)$$

$$F = \frac{4EI dR}{R^3 \left(\frac{\theta}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\theta \right)} \quad (7)$$

すなわち同一馬において、形状が同様の金属製蹄鉄および樹脂蹄鉄で比較すると、蹄機作用を阻害する荷重はヤング率に比例する。鋼およびアルミニウム合金のヤング率はそれぞれ210 GPa、70 GPa程度であるのに対して、3DプリンティングされたPLAおよびPA6のヤング率は図9より最大で約1.6、0.8 GPaと非常に小さい。蹄壁の水平方向のヤング率は約0.6~1.0 GPaであり²⁰⁾、図9よりPA6の $\delta=100\%$ およびPLAの $\delta=50\%$ におけるヤング率がそれぞれ0.8 GPa、0.9 GPa程度と非常に近い値である。この条件で3Dプリンティングされた樹脂蹄鉄を接着装蹄した場合、蹄機作用への影響は非常に小さいと考えられる。

5.4. 実験的検討

3Dプリンティングされた樹脂蹄鉄が蹄機作用に及ぼす影響を実験的に評価した。引張試験機を用いた蹄鉄の拡張実験方法を図13に示す。材質はPLAであり、円筒幅22 mm、板厚8 mmの前肢用の標準蹄鉄を模した形状であり、密度は $\delta=100\%$ である。鉄尾部を挟み、蹄鉄の対称軸に対して垂直方向に9.5 mmの変位を与えた。

実験から得られた引張荷重-ストローク曲線を図14に示す。また試験機の弾性変形を無視しストロークを変位と同値とした仮定した際に、(7)式から求められる

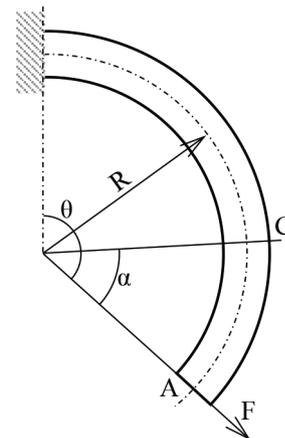


図12. 蹄機作用による蹄鉄の変形モデル

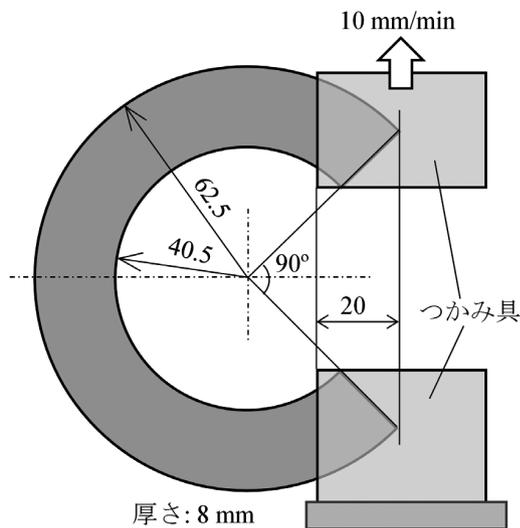


図 13. 引張試験機を用いた樹脂蹄鉄の拡張実験方法

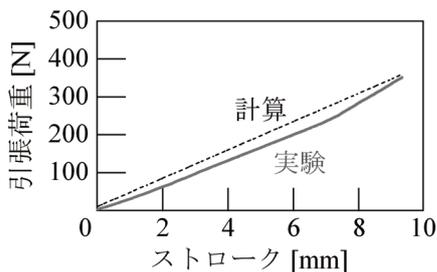


図 14. 実験から得られた引張荷重 - 軸方向の変位曲線

計算値も参考に示す。変位 9.5 mm において実験と計算の値がよく一致している。

6. 樹脂と金属を組み合わせたハイブリッド蹄鉄

6.1. ハイブリッド蹄鉄の 3D プリンティング方法および条件

アルミニウム合金製蹄鉄の場合、鉄頭部の耐摩耗性を向上させるために鋼片が埋め込まれている。またウレタン製蹄鉄においては、射出成型時に金属プレートを包埋することで補強と形状精度を向上させている。3D プリンティングにおいても、金属部品を包埋することで樹脂製金型の強度を向上させた研究が行われている²¹⁾。地面や砂など硬い粒子によって樹脂のような軟らかいものが削られる摩耗形態では、摩耗体積は軟らかい材料側の硬度に逆比例することから、3D プリンティングされた樹脂蹄鉄の鉄頭部に金属を包埋することで見かけの硬さを向上させた。樹脂と金属を組み合わせたハイブリッド

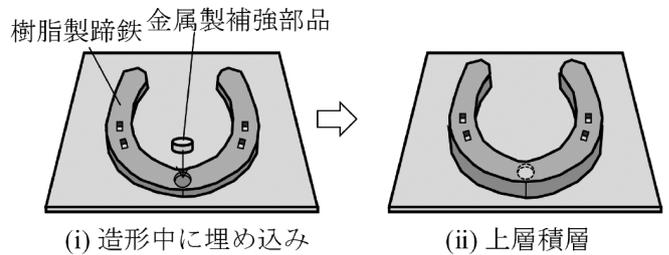


図 15. 金属と樹脂を組み合わせたハイブリッド蹄鉄の 3D プリンティング方法

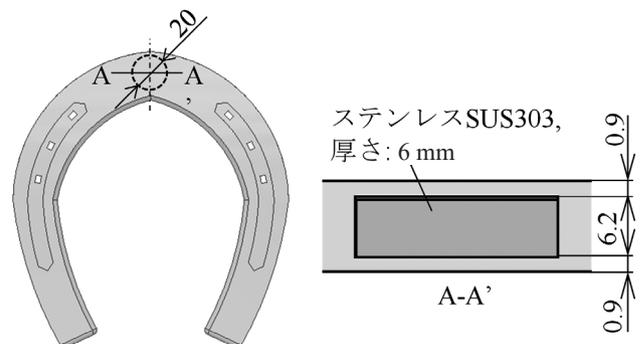


図 16. 鉄頭部を金属で補強したハイブリッド蹄鉄寸法

蹄鉄の 3D プリンティング方法を図 15 に示す。鉄頭部に金属部品配置用の穴を設け、3D プリンティング中に金属部品を設置し、その上に樹脂を積層することで蹄鉄内に金属部品を包埋する。補強が必要な部分のみに金属を用いることで高強度かつ軽量の蹄鉄となる。一般的に硬さが増加すると強度も増加することから、圧縮強度試験で補強の効果を確認する。

鉄頭部を金属で補強したハイブリッド蹄鉄寸法を図 16 に示す。図 10(a) に示す標準蹄鉄の鉄頭部に直径 20.5 mm、深さ 6.2 mm の穴を設け、その中に補強材として直径 20 mm のステンレス鋼 SUS303 円形プレートを設置し、その上に 3D プリンティングを継続し、蹄鉄内にプレートを包埋した。補強材は入手が容易であることから円形とした。樹脂は PA6 であり、3D プリンティング条件は 3 章と同様であり、密度は $\delta=100\%$ 、形状は図 10(a) から鉄唇を除いたものである。

6.2. 圧縮試験結果

補強されたハイブリッド蹄鉄の圧縮試験結果を図 17 に示す。直径 20 mm の丸棒で公称圧縮ひずみが 0.1 になるように鉄頭部を圧縮した。ステンレスで補強され

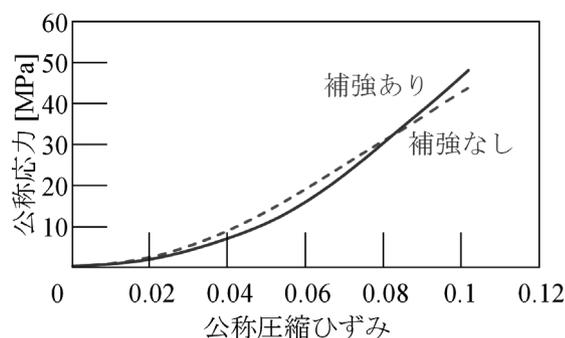


図 17. 補強されたハイブリッド蹄鉄の圧縮試験結果

た蹄鉄は、初めは補強材と樹脂との間に隙間があるため、小さな荷重で変形しているが、樹脂と補強材が接触すると補強なしよりも大きなヤング率となった。またひずみ 0.1 における公称応力は補強なしと比較して約 15% 程度大きくなった。3D プリンティングにおいては補強も容易であり、鉄頭部のみならず摩滅が大きい鉄尾の接蹄面側の補強にも適用が考えられる。

7. 3D プリンター製樹脂蹄鉄の適用範囲

3D プリンター製樹脂蹄鉄と市販の金属、樹脂蹄鉄の比較を表 4 に示す。静的強度は樹脂でも必要十分であると考えられるが、耐摩耗性はポリウレタンと比較して PLA は低く、PA6 は同程度であった。PLA を用いれば使用時のすり減りは早く改装期間が短くなりコストが増加し、PA6 を用いると PLA より材料コストが高くなる。また今回は摩耗試験機での実験であったが、実使用環境では紫外線や水分の影響によって特に PA6 において耐摩耗性が低下する恐れがある。樹脂蹄鉄の重量は金属の数分の 1 であり、低いヤング率から変形もしやすいため蹄機作用に及ぼす影響は小さく、肢や蹄への悪影響が小さいと考えられる。市販の樹脂蹄鉄と比較するとコストはかなり低く修整も可能である。3D プリンティングでは形状自由度の高い複雑な形状の蹄鉄の製造が容易である。以上の特徴から、運動量が少ない休養馬や体重の軽い仔馬用の特殊蹄鉄への応用が適していると考えられる。例えば図 18 に示すような厚尾蹄鉄であれば、高さや角度を左右で自由に指定でき、稜線は曲線でも製造できる。体重が軽く、運動量が少なければ摩耗量も抑制される。今後は実際に装蹄した状態で、金属の補強の効果について特に耐摩耗性に着目して特性評価を行いたい。

表 4. 3D プリンター製樹脂蹄鉄と市販の金属、樹脂蹄鉄の比較

	3D プリンター	市販金属	市販樹脂
重量	約 100 g	200~700 g	約 100 g
耐摩耗性	低~中	高	中
コスト	200~1000 円	1000~2000 円	6000 円
形状自由度	高	低	低
修整	○	○	×
蹄機作用への影響	小	大	小

・高さ、幅、角度を自由に指定できる

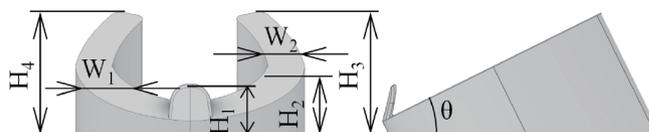


図 18. 3D プリンター製樹脂蹄鉄の装蹄療法への活用

8. 結言

3D プリンティングされた樹脂部材および蹄鉄を用いて、蹄鉄に要求される強度、耐摩耗性、変形特性などを実験的に評価した。また樹脂の低い強度および耐摩耗性を補うために、3D プリンティング中に金属を包埋したハイブリッド蹄鉄を製造した。これらの実験より以下の知見を得た。

- 1) 3D プリンティングされた樹脂部材の圧縮降伏強度は、レイヤー厚さおよび内部密度の影響を大きく受け、密度が 100% であれば蹄鉄として必要十分な強度があった。
- 2) 樹脂部材のヤング率は蹄壁のそれと非常に近い値であり、蹄機作用への影響は小さいと考えられる。
- 3) 3D プリンターによって装蹄療法で用いられる複雑な形状の樹脂蹄鉄を製造できた。
- 4) 3D プリンティング中に金属を包埋することで鉄頭部の強度を向上したハイブリッド蹄鉄を製造できた。

謝辞

本研究は一般社団法人日本競走馬協会の 2020 年度競走馬生産育成研究助成事業の助成によって行われた。また蹄鉄に関する知見を有限会社クローバーファーム福島一治氏より頂戴した。一部の実験の遂行にあたり東京工業大学工学院学部 4 年田島郁哉氏にご協力いただいた。ここに深く謝意を表する。

引用文献

- 1) 青木修 2020. 新・装蹄学, 日本装蹄協会 .
- 2) Mischler, S., Hofmann, M. 2003. Wear of polymer horseshoes: a field investigation. *Wear* 255: 1300-1305.
- 3) Yoshihara, E., Takahashi, T., Otsuka, N., Isayama, T., Tomiyama, T., Hiraga, A., Wada, S. 2010. Heel movement in horses: comparison between glued and nailed horse shoes at different speeds. *Equine Vet. J.* 42: 431-435.
- 4) Bellenzani, M.C.R., Merritt, J.S., Clarke, S., Davies, H.M.S. 2012. Investigation of forelimb hoof wall strains and hoof shape in unshod horses exercised on a treadmill at various speeds and gaits. *Am. J. Vet. Res.* 73-11: 1735-1741.
- 5) Reilly, P.T., Reilly, D.A., Orsini, J. 2009. The long-term results of glue-on shoes on dorsal hoof wall distortion. *J. Equine Vet. Sci.* 29-2: 115-117.
- 6) Hinterhofer, C., Weißbacher, N., Buchner, H.H.F., Peham, C., Stanek, C. 2006. Motion analysis of hoof wall, sole and frog under cyclic load in vitro: Deformation of the equine hoof shod with regular horse shoe, straight bar shoe and bare hoof. *Pferdeheilkunde* 22: 314-319.
- 7) Brunsting, J., Dumoulin, M., Oosterlinck, M., Haspelslagh, M., Lefère, L., Pille, F. 2019. Can the hoof be shod without limiting the heel movement? A comparative study between barefoot, shoeing with conventional shoes and a split-toe shoe. *Vet. J.* 246: 7-11.
- 8) Werner, H.W. 2012. The importance of therapeutic farriery in equine practice. pp. 263-281. In: *Therapeutic Farriery, An Issue of Veterinary Clinics: Equine Practice*, Vol. 28-2, 1st ed. (O'Grady, S.E. and Parks, A.H. ed.), Saunders, Philadelphia.
- 9) Panagiotopoulou, O., Rankin, J.W., Gatesy S.M., Hutchinson, J.R. 2016. A preliminary case study of the effect of shoe-wearing on the biomechanics of a horse's foot. *PeerJ* 4: e2164.
- 10) Tanaka, K., Hiraga, A., Takahashi, T., Kuwano, A., Morrison, S.E. 2015. Effects of aluminum hinged shoes on the structure of contracted feet in Thoroughbred yearlings. *J. Equine Sci.* 26-2: 67-71.
- 11) O'Grady, S.E. 2020. Farriery for the foal: A review part 2: Therapeutic farriery. *Equine Vet. Educ.*, 32-11: 580-589.
- 12) Schubert, C., van Langeveld, M.C., Donoso, L.A. 2014. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *Br. J. Ophthalmol.* 98 159-161.
- 13) Sood, A.K., Ohdar, A.K., Mahapatra, S.S. 2009. Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. *Mater. Des.* 31: 287-295.
- 14) Dawoud, M., Taha, I., Ebeid, S.J. 2016. Behaviour of ABS: An experimental study using FDM and injection moulding techniques. *J. Manuf. Proc.* 21: 39-45.
- 15) Turner, B.N., Strong, R., Gold, S.A. 2014. A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modelling. *Rapid Prototyp. J* 20-3: 192-204.
- 16) Leonardi, F., Angelone, M., Biacca, C., Battaglia, B., Pecorari, L., Conti, V., Costa, G.L., Ramoni, R., Grolli S. 2020. Platelet-rich plasma combined with a sterile 3D polylactic acid scaffold for postoperative management of complete hoof wall resection for keratoma in four horses, *J. Equine Vet. Sci.* 92: 103178.
- 17) Moore, L.V., Zsoldos, RR., Licka, T.F. 2019. Trot accelerations of equine front and hind hooves shod with polyurethane composite shoes and steel shoes on asphalt, *Anim.* 9: 1119.
- 18) 高橋敏之, 2017. 競走馬の蹄にかかる力. 日獣会誌 70: 194-197.
- 19) 倉ヶ崎明, 大塚尚人, 立野大樹, 高橋佑治, 高橋敏之 2019. ウレタン製蹄鉄の接着装蹄が蹄機作用に及ぼす影響について. 馬の科学 56-2: 130-131.
- 20) Douglas, J.E., Mittal, C., Thomason, J.J., Jofriet, J.C. 1996. The modulus of elasticity of equine hoof wall: Implications for the mechanical function of the hoof. *J. Exp. Biol.* 199: 1829-1836.
- 21) Nakamura, N., Mori, K., Abe, Y. 2020. Applicability of plastic tools additively manufactured by fused deposition modelling for sheet metal forming. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 108: 975-985.

第34回学術集会 シンポジウム

東京五輪大会馬術競技での馬のウェルフェア！ 一馬の安全と安心を確保するために

コーディネーター：青木 修（日本ウマ科学会会長）

Part1：座談会

「東京2020オリンピック：戦い終えて今、思うこと」

司会・進行 北野あづさ（日本馬術連盟）
出席者 佐渡一毅（JRA 馬事公苑）
 戸本一真（JRA 馬事公苑）
 福島大輔（STAR HORSES）

【青木会長】 それでは早速 Part1 のミニ座談会を始めたいと思います。「東京2020オリンピック－戦い終えて今、思うこと」というタイトルです。ここから先の司会は日本馬術連盟広報担当の北野あづささんをお願いしたいと思います。どうぞよろしくをお願いします。

【北野】 それでは、選手を紹介してまいります。

馬場馬術の日本中央競馬会佐渡一毅選手、総合馬術の日本中央競馬会戸本一真選手、障害馬術の STAR HORSES 福島大輔選手です。よろしくお願いいたします。

【全員】 よろしくをお願いします。

【北野】 皆さんにはオレンジのユニフォームを着てきていただきました。オリンピックが終わって3カ月半が経ちました。戸本さん、振り返っていかがですか。

【戸本】 もうかなり前のことのようにも感じますが、オリンピックで起こったことや、自分がやったことというのは結構鮮明に残っているので、それを思い返すと、ついこの間だったなという思いもありますね。

【北野】 4位になって、胴上げされた瞬間は覚えていらっしゃるでしょうか。

【戸本】 覚えています。そういう出来事をひとつひとつ思い出すと、近く感じますね。

【北野】 福島選手は6位でした。暑い中でしたが、いかがでしたか。

【福島】 障害馬術と馬場馬術はナイターでやらせていただきました。あの時だけだったのかもしれないのですが、結構涼しい風が吹いてくれて、馬にとっても人にとっても楽なオリンピックができたかなと思います。

【北野】 確かに思っていたよりは暑さがそこまで過酷ではなかったですね。



写真1. 座談会出席者。左から北野あづさ氏（日本馬術連盟）、日本代表ユニフォームを着た佐渡一毅選手、戸本一真選手、福島大輔選手。

【福島】 クロスカントリーは昼にやるしかないので、大変だったと思いますけれども。

【北野】 そうですね。皆さんヨーロッパを拠点にしているので暑さ対策は考えてきたと思います。馬場馬術の馬が一番はじめに入厩しましたね。向こうから連れてくるとき、そして日本に入ってからとはどんな感じだったのですか。

【佐渡】 連れてきてからみんなが一番にやっていたのはやはり馬の体温を測ることでした。体温を測って体調を確認し、熱が上がった馬は、体を冷やすことをとにかく徹底してやっていましたね。

【北野】 暑さもあるし、輸送の疲れもあって、体調が思わしくなかった馬たちもいたのでしょうか。

【佐渡】 そうですね。いたと思います。聞いた話ですと、やはり何頭か体調を崩したり、熱発したり。日本チームの馬も、4頭中3頭は輸送熱で、体温が上がっていました。

【北野】 輸送は非常に難しいものがあると思いますが、戸本さん、輸送するときには、グルームと一緒に飛行



写真2. 佐渡一毅選手（写真提供：日本馬術連盟）

機に乗りますね。戸本さんのグルームさんがその役を担ったと聞いているのですが、飛行機の中ではどんなことをしているのですか。

【戸本】各国、各種目1人というように決められていて、総合チームで話し合った結果、私のグルームをやってくださっている方が総合チームのグルームとして対応することになりました。

輸送中の細かい対応、たとえば馬がどれだけ水を飲んでいのかということもそうですし、あとは狭いスペースでずっと立たされた状態になってしまうので、あえて床に水や草を置いて、それを飲ませたり食べさせたりすることで、少しでも背中中の筋肉を伸ばして馬体にかかるストレスを緩和させるということに気を付けて、東京まで運んできてくれました。

【北野】何十時間かかる中で、グルームさんはもちろん自分の席があって、行ったり来たりしているということですよ。

【戸本】そのようですね。とても興味があるのですが限られた人しか入れないので、私も話を聞いただけなのですが、人用の席があって、馬が積んである別のスペース

に何回か確認に行くということを繰り返すようですね。

【北野】責任重大なお仕事ですね。

【戸本】そこから馬の体調管理は始まっているので、本当にとっても重要なポジションですね。

【北野】福島さんたちは先回りをして、馬たちを会場で迎えたのでしょうか。

【福島】私は馬を見送ってから日本に来ました。馬とグルームが先に到着していて、1日後に到着しました。

【北野】先に馬が着いて、福島さんを迎えてくれたのですね。馬事公苑で馬と再会したときの気持ちはいかがでしたか。

【福島】やはりうれしいですね。ずっと長く何年も一緒にトレーニングしてきて、最後に出国検疫があって、日本に到着したら馬事公苑で再会。馬事公苑は慣れ親しんだ場所なので、そこにドイツで乗っていた自分の馬がいるというのは、少し不思議な気持ちですけどもうれしかったです。

【北野】馬事公苑の厩舎は冷房も完備されていたので、馬にはとても快適だったのではないかなと思います、その辺りはいかがでしたか。



写真3. 戸本一真選手 (写真提供：日本馬術連盟)

【福島】それはまさしくその通りで、プロの方が馬の体調に合わせて、強弱をちゃんとコントロールしてくれていました。少し寒いときもあったくらいです。

【北野】何のプロの方ですか。

【福島】空調専門の担当の方がいて、寒いとか暑いとかを言えば、ちゃんと調整してくれました。

【北野】いろいろな専門家の方がいたと聞いていましたが、空調のプロまでいたことは初めて聞きました。

それでは、競技のことも伺います。まず佐渡選手、馬場馬術からオリンピックがスタートしました。競技の前に、到着してからファミリアライゼーション、馬場に入るといいますが、これは選手と馬にとっては重要なものですか。

【佐渡】競技本番とまったく同じシチュエーションでのトレーニングができるということで、ヨーロッパの国際大会なども競技の前日にそういう時間が設けられています。競技によっても違うのですが、国ごとに10分だったり30分だったり時間が取られて、そこで練習ができます。馬にとっては、いきなり競技本番でパフォー

マンスするよりも、同じ場所で雰囲気を知るのはいちばん重要なことですね。

【北野】今回はナイトターだったので照明があって、影がどう出るのだろうかということが私も少し気になっていたのですが、その辺り実際はどうだったのですか。

【佐渡】私が乗っていた馬が、そういうことにあまり動じる馬ではなかったのですが、私自身は、通常通りにトレーニングができましたが、チームの中にはそういうものに物見をしてしまう馬もいました。光だけでなく音楽だったり、電光掲示板、飾り付けだったり、いろいろなものが馬にとっては初めて見るもので刺激的なものだったので、そういう馬にとってはやはり重要な時間だったなと思います。

【北野】戸本さん、総合馬はそういう環境には比較的強いのではないかと勝手に思っているのですが、いかがですか。

【戸本】それはただのイメージです(笑)。そんなことはないです。

【北野】馬場馬のほうが神経質で、総合馬はいつも堂々としているかなと思ったけれども、そんなことはない



写真4. 福島大輔選手（写真提供：日本馬術連盟）

ですか。

【戸本】 ないですね。馬次第ですね。総合馬といえどもやはり敏感な馬は敏感ですし、馬場馬でもドシッとしている馬はしているという感じです。ですから、総合馬術もファミリーライゼーションがあったのですけれども、やはり重要ですね。

【北野】 福島さん、障害馬術ですと障害物が置かれますが、その影などはパフォーマンスに影響があったのでしょうか。

【福島】 実際、日中に試合をやるときは、影がはっきり地面に映りますね。しかし、今回は無影灯というのでしょうか、影ができづらいとても良いもので、要はいろいろな角度から照らされているので、薄い影がちょっと伸びているような感じです。むしろ昼間よりもあまり見えないというか、どの出番の人にとってもフェアな状況だったのかなと思います。

【北野】 ナイターに慣れていないと大変かなと思っていましたが、逆に良かったのですね。

【福島】 ただ、影による影響はあまり受けなかったのですけれども、やはり太陽とライトの光は多少違うので、

横木の光り方や、あとは水濠とかそういう水物の光り方が少し違うのです。それだけ少し気にするかもしれないですけれども、慣れてしまえばさほど問題はないのではないかと。

【北野】 光り方が違うというのは、やはり分かるものなのですね。

【福島】 分かります。乗っていても分かります。

【北野】 そんなファミリーライゼーションを経ていよいよ本番だったのですが、佐渡選手は1日目でしたね。

【佐渡】 そうですね。

【北野】 予選のグランプリ競技が2日間あって、その中で佐渡さんが1日目、あとの2人が2日目だったのですが、1日目になったときにはどのような感じだったのですか。「佐渡、1日目に行きます」と、もう腹は決まりましたか。

【佐渡】 私自身は、1日目でも2日目でもやることは変わらないと思っていたので、気持ちや精神状態というのは変わらなかったです。

少し出番が早くて、5時半くらいだったと思います。涼くなる前の時間帯で、やはりまだ少し暑さがあっ

たので、それが一番ネックだったというか、「暑い中でやるのか」というのが少し心配でしたね。

【北野】早めの時間と、8時、9時という夜の時間では、温度や環境が結構違いましたか。

【佐渡】違いましたね。日が沈んで6時半、7時くらいから暗くなって、風が吹いてきてという感じだったと思うので、私が出場した時間はまだ少し暑いなという感じでした。

【北野】入厩してから1週間から10日くらいあったと思うのですが、その間も、それから本番も、皆さんが馬のベストのパフォーマンスを出そうと思ってピークを作ってくると思うのです。オリンピックのあの場でピークにももってくるというのは大変難しいと思うのですが、皆さんはどのように準備したのでしょうか。

【佐渡】選手、馬によって対策の仕方だったりピークのもっていき方だったりというのは、やはりそれぞれ違ったと思います。私自身はコーチとトレーナーとよく相談して、どのようにもっていくかのプランを立てました。普段だったらこのようにすればピークにもっていきける、でも今回は東京で暑いから少し運動を制限する、でもこの日はしっかりやるとか、そういうプランを立ててやりました。

【北野】うまくはまりましたか。

【佐渡】それが少しはまらなかったのです。でも、私自身はそれも失敗とは捉えていなくて、やはりこういう大舞台や、違う環境での経験だったと思うので、この経験ができたことを次につなげていきたいと思いました。

【北野】戸本さん、総合馬術は一番大変な競技で、3日間ありますし、昼間クロスカントリーを走らなくてはならない部分もありました。また、クロスカントリーのときだけ、馬事公苑から海の森のコースに輸送ということもありましたが、その辺りは、皆さんどのよう事前の準備をしてきたのでしょうか。

【戸本】暑さ対策という点では、ヨーロッパは夏だとしてもかなり涼しいので、私は夏なのにあえて少し分厚い馬着を着せておいたり、本当は冬に使用する腰にかけられるような馬着を着せて運動したりということは、暑さ対策でやってきました。ただ、正直を言えば、日本の夏を知っている私としては、それでどれほど効果があるのかなというのは疑問でした。ヨーロッパでそれだけのことをやったとしてもやはりまったく違う暑さなので、暑さに対するトレーニングをすることよりも

輸送後のケアや、何時にどれぐらいの運動するのかとか、比較的激しい運動をいつ行って、軽めの運動はいつ行うという、東京に着いてからやることのほうが大切なかなと考えていました。

【北野】そういうものを着せて暑さを体感させると。そういうことを馬場の馬たちもやるのですか。

【佐渡】うちの厩舎ではやっていなかったです（笑）。

【北野】やっていた人もいるかもしれない。

【佐渡】やっていた人もいるかもしれないですね。

【北野】そんな中でのクロスカントリーだったのですが、2019年にテストイベントがあって、海外からも選手と馬が来て走ってくれました。本来はオリンピックのコースは大体6 km くらいですが、おそらくテストイベントを踏まえて、暑さ対策で少し距離を短縮しようということになって、4.5 km 弱になりました。距離の短縮は大きかったですか。

【戸本】かなり大きかったですね。このレベルの国際大会ですと、最低10分は走っていなければいけないのですが、今回はかなり短いコースでした。それぐらい短くしてはじめていつもの10分以上のコースと同じくらいなのかなという疲労具合でした。これが本来の距離や規定タイムでやっていたら、馬はかなり消耗してしまっただけではないかなと思っています。

【北野】何頭かの馬がクロスカントリーをゴールするところを見たのですが、やはり結構汗をかいているし、かなり走ってきたなという様子でした。ゴール後の回復を、皆さんはチームでやっていらっしゃると思いますが、具体的にはどのような作業をしているのですか。

【戸本】まずはとにかく馬を冷やします。ゴールを切った先にクーリングオフエリアがもともと作られていて、そこに氷が入ったかなり冷たい水が、いろいろなポイントに用意されています。バケツですくって馬の体温が下がるまでかけ続ける、冷やし続けるということを行います。そのときは日本チームの手が空いている人総出で1頭にかけ続けて、また次の人が水を運んでくるということを繰り返します。

日本チームに帯同していたチーム獣医さんに、まず脈拍や体温などを調べてもらって、それからまた冷やし続けて、状態が落ち着いてきたら初めてオフィシャルの獣医さんに見せて、体温が下がっていてOKの指示が出れば厩舎に戻れるという流れです。

【北野】ひたすら冷やすという作業ですね。

【戸本】 そうです。次の日に障害が控えているので、一刻も早く回復させるために、とにかく冷やすという作業ですね。

【北野】 大体何分くらいで、厩舎に戻っていいよという状態になるのですか。

【戸本】 私の馬は驚くほど早くて、息が入るのも早かったですし、おそらく10分もかからなかったです。もう1人の選手はかなり時間がかかって、20分くらい冷やし続けていたかなというくらいだったので、馬によるというところですよ。

【北野】 そういえば馬を冷やすという話ですと、佐渡さんが先ほどのファミリーライゼーションの時に、ちょっと運動したら、グルームさんやみんなで馬を冷やしていたのですが、普段からやっていることなのですか。

【佐渡】 そうですね。少し気温が高い日とかの競技などは、準備運動馬場でこまめに水をかけます。首筋や股の内側などにかかなり水をかけて体を少しでも冷やすということをしていますね。

【北野】 総合馬術では見るのですが、馬場馬術でやっているのはあまり見たことがなかったので、あんなにやるんだと思って見ていました。

福島さん、馬のケアというところではいろいろと気を遣うところもあったと思いますが、障害馬はどんな感じでしたか。

【福島】 やはり暑いということが一番大きな課題だったので、競技前の運動はできるだけ短く、障害を飛越する回数も少なくというのを絶対条件にしました。

そのためには、一度朝の涼しい時間に乗って馬の状態をチェックして、問題点があればちょっとストレッチなどでバランス修正します。それで休ませて、夜の競技の本番前の準備運動はできるだけ短く終わらせるという工夫をしました。

ただ、朝の涼しい時間というところかなり早い時間になりますよね。ですから、まだ薄暗い時間にもう選手村を出て、薄暗い時間に乗って運動を始めなければいけない。本番が夜なので、一度選手村へ戻るのですが緊張して眠れないですね。朝は非常に早くて、競技が終わるのがとても遅いので、昼間は緊張してしまって寝られないです。ですから、自分の体のコントロールも結構難しかったです。

【北野】 昼間の時間帯は、オフの時間帯だけれども、

ゆっくりできないというところですね。

【福島】 友だちなどはみんな「ゆっくり休んで寝なよ」と言うのですけれども、絶対無理ですよ。

【北野】 それは戸本さんと佐渡さんも同じでしたか。

【福島】 2人は大丈夫。私はノミの心臓だから(笑)。

【佐渡】 私は朝乗って、また夕方乗ってというようなことはありませんでした。自分の馬の場合は、朝乗ることも少し制限していた感じでした。ですから、乗るのは大体基本的に1回だったので、昼に選手村に帰って休まなければいけないという時間はなかったです。

【北野】 戸本さんはどうですか。

【戸本】 私は寝ていましたね。

【福島】 だから4位になったんです。

【北野】 朝乗って、選手村に帰って寝て、また夕方会場に行っているという感じですか。

【戸本】 毎日ではないですよ。いま福島さんがおっしゃったように、総合馬も朝乗って一度確かめてということをして繰り返していたので、必ず朝早い段階で乗って、必要なら夜にも乗ってました。

昼間は選手村に帰って、競技が始まる前は選手村のジムで走ったりして、自分のフィットネスも落ちないようにしていました。それもあってわりと寝ていました(笑)。

【北野】 福島さんも走ったらよかったのではないですか。

【福島】 もっと体力を消耗してしまうじゃないですか(笑)。

【北野】 人それぞれということですね。馬のコンディション作りもそうですし、夜の競技ということがあって、ご自身のコンディション作りも大変なことがあったのですね。

福島さんは、リオデジャネイロオリンピックに出られて、今回も出られました。今回、馬術のフォーマットが大きく変わって、リオまではチームの場合は4人馬が出て、そのうち上位3人馬の成績を合計する形でしたが、今回から3人馬中の3人馬で、1頭のドロップオフがなくなりました。そこは全ての種目で大きく変わったところでした。

特に障害馬術の場合はそれだけではなくて、団体戦と個人戦の順番が入れ替わったりと、とても大きな変化があったと思うのです。その辺りはいかがでしたか。

【福島】 今回初めての試みだったと思うのですけれど

も、団体に関してはやはり失敗は許されないという気持ちでした。そして個人からスタートするので、その後には団体戦に出ることも考えながら走っていかないといけないですね。ですから、逆算して、できるだけ馬の体力と集中力を切らさないように走り続けていかないといけない。それでもし何かあれば、団体戦ではリザーブの馬とチェンジすることが可能なので、それで団体戦3人のルールで行われたわけです。

実際、ほかの国の走行を見ていても、暑かったということもあり、体調があまりよくなかった馬も中にはいたと思います。しかし、それでもやはりゴールまで走り抜かなければいけないという責務が当然あったと思うので、そういう意味では、馬のウェルフェア的にならざるを得なかったのかなというところもあります。どうしても無理をさせてしまうことになったかもしれません。

団体戦では大きなミスをする選手も結構いて、4人中3人の成績ではなくて3人中3人なので、最終的には各選手が2落下くらいしても決勝に進めてしまうような、少しグダグダな予選になってしまいました。ですから、強い国はタイム減点は全然気にしないで、とにかく1個1個大事に飛んで、それで決勝に駒を進めたという感じです。

【北野】 戸本さん、総合馬術も今回特別なルールが適用されました。

たとえば、今までならチームで失権したら、もうその人馬は出られなかったのですが、今回は3人馬で3

人馬の成績がカウントされる形だったので、失権しても減点を背負ってその人が次の種目に進んでもよかったし、あるいはリザーブの人と途中で交代することもできるルールでしたね。

日本も、結局それを適用したのですが、その辺りは総合馬術としては、皆さんはどのように受け止めたのですか。

【戸本】 このルールを採用すると聞いた時は、正直びっくりしました。総合馬術というのは、やはり1頭で3種目をやる競技ですし、それが難しさであり魅力でありというところです。

このルールは途中で馬を入れ替えてもよくて、それが1つの成績になるということで、総合馬術の根本を覆すようなルールでした。

私のトレーナーは、イギリスでもう何十年と代表になってきた選手で、長く総合馬術をやっている選手ですが、このルールはこのスポーツにとって良いことではないということをはっきり言っていました。

【北野】 日本も含め、結局それを適用した国が3、4カ国くらいありましたね。

【戸本】 日本チームも、クロスカントリーで1頭が失権してしまいました。そこでルールを適用してその馬がそのまま競技を続けるか、リザーブを使うのかというチームの話し合いになりました。リザーブの馬が、ジャンプがとても得意な馬だったので交代することになり、結果リザーブの選手が減点0で帰ってきてくれました。



写真5. ファミリアライゼーション (明るい時間帯)
(写真提供: 日本馬術連盟)

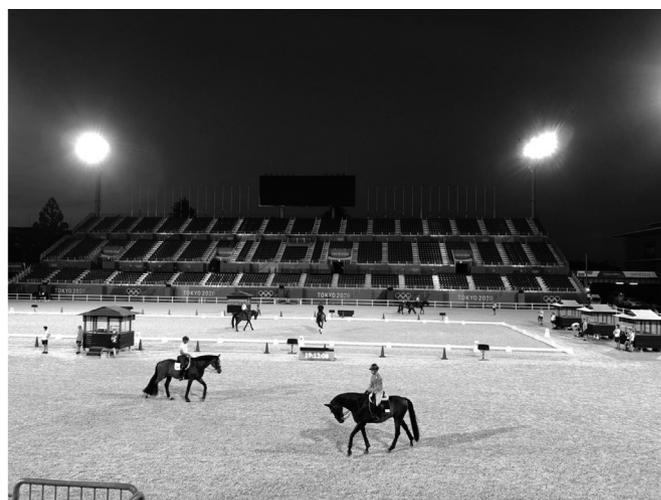


写真6. ファミリアライゼーション (暗い時間帯)
(写真提供: 日本馬術連盟)

最後までチームで走り切ったという意味では、このルールがあってよかった側の国ですね。

【北野】 そうになりましたね。でも、先ほどの障害の件もそうですが、このルールに関してはやはり課題があって、きっとまたいろいろなところで話し合いが続けられていくことになるのでしょうかね。

【戸本】 そうなると思います。

【北野】 そういえば馬場馬術も、予選1日目と2日目の分け方が今までとは少し違ったり、あるいは勝ち上がりのシステムが、今までは個人戦は全体の18位までが決勝に進むルールだったのが、全体を6つのグループに分けて、グループのうち2人ずつ上がって、それ以外の中から全体の6人が上がるというような、少し難しい方法になりましたね。

【佐渡】 少し複雑な形にはなりましたね。ただ、時間帯によってグループAは初日の早い時間帯、次がグループB、グループCと、同グループの中では比較的同じ環境で演技をすることができ、その点はフェアでした。見ている側からすれば、常にグループの中で世界トップクラスの人馬が見られます。今までだったら、1日目は少し弱い馬というか、2日目に有名な馬がドカッと出てくるというパターンでしたので、見る側にとっては定期的に良い演技が見られるので、飽きがなくなっているのかなとは思いました。

ただ、今回はグランプリが個人決勝の予選だったので、個人で参加の場合は直接決勝のキューに進むという人がいる一方で、強い国は団体の決勝が2日目にあるので、グランプリ、グランプリスペシャル、キューと3回やらなければならないシステムでした。人によってはグランプリとキューだけで、ここでキューが得意な馬がいれば体力が残っていたりとかそういう利があって、少しアンフェアになるルールではありました。トップの国、トップライダーの中ではそのように言われていましたね。

【北野】 いまおっしゃった見る側の興味の持ち方と、実際に演技をする側、参加する側ではちょっと違う部分がありますよね。皆さんいろいろな経験をされたと思いますが、今後に向けてとか、今回のオリンピックで得たものを改めてお聞かせいただけますか。

【佐渡】 オリンピックという大舞台を経験させてもらったというのは、やはりもう何よりの財産だなと思います。ここで自分が思い描いていたような演技ができな

かったり、結果を出せなかったことはもちろん残念なのですが、そういうことを今までも繰り返してやってきたという経験があるので、この経験を自分の技術にも還元したいですし、下の世代にも伝えたいです。

【北野】 今後もヨーロッパで活動を続けられるご予定ですか。

【佐渡】 2022年の世界選手権を目指す方針で、また年明けからヨーロッパには戻る予定です。

【北野】 楽しみですね。ありがとうございます。

戸本選手、この4位という成績はうれしい4位、悔しい4位と両方のお気持ちがあると思いますが、その辺りも含めてお聞かせください。

【戸本】 いまは悔しい思いというのはあまりなくて、自分が思っていた以上の結果を出すことができました。障害の2ラウンド目でタイム減点こそしましたが、1本も落とさず帰ってきた中でのこの順位なので。最終ラウンドで1本落としてこの順位だと、「メダルを逃した」という思いしかないかなと思うのですが、最後にクリアして、できることはやったという思いでのこの順位なので、いますごく悔いが残っているということはないです。

オリンピックを通して、当日のオリンピックの競技あるいは東京に入ってきてから学んだこともそうですが、それよりも私の場合は専門の種目を障害から総合に転向して東京を目指すと決めた人間なので、そこからスタートしたという気持ちがとてもあります。

オリンピックに向かって自分がやってきたこと全てが学びになりました。東京オリンピックを最終目標と決め、そこまでの全過程は、あくまでも東京に向けての経験なのだということを常々教わりながらやってきました。自分が本当に目標としているものに向かって、どう計画して、どう実行していけるのかというマネジメントというのでしょうか、プランニングを学んだような気がしています。

【北野】 障害馬術から総合馬術に転向したのが2016年のシーズンでしたね。2015年の秋にイギリスに行かれて2016年から実際に競技をスタート。それから5年半ですけれども、その中で低いクラスから始めて、オリンピックや世界選手権というトップレベルのクラスまで走るようになりました。どのようにステップアップしてきたのか興味があります。教えてください。

【戸本】 国際大会に出る前、2016年のイギリスのナショ

ナルの試合で100 cmというところから始めたのですが、100 cmといえどとてもテクニカルでボリュームがあって、これで100 cmなのだろうかと思える障害ばかりでした。そこからファイブスターに到達しなければいけないという目標と、最終の期限だけが決まっている状態だったので、本当にここからたどり着けるのだろうかという思いでスタートしました。

いまでもはっきり覚えているのが、かなりボリュームがあって大丈夫かなと思っていたのですが、私と同じクラスに本当に小さいポニーと子どもが出てきて私より前にスタートして、いとも簡単そうに走って行ったのです。それを見て、もう弱音を吐いていられないなと思いながらスタートを切ったことをすごく覚えています。

【北野】 そこからオリンピックまでたどり着いたのですね。

いまの話と絡んで、福島さんは障害馬術を専門にしていますが、クロスカントリーを走ってきてくださいと言われたら、どうなりますか。

【福島】 怖いですね（笑）

【北野】 学生の時には総合馬術をやった経験はありますよね。

【福島】 あります。

【北野】 100 cmのクラスを走ってきてくださいとなったら。

【福島】 コースと馬によるかもしれないですね。

【北野】 確かにコースは重要です（笑）。

【福島】 本当に先生のような馬に乗っていれば、たぶんそこまで怖くないのかもしれないですけども、基本的には怖いんです。

【北野】 それだけ種目によって違うということですね。福島選手、今回特にお話をお聞かせいただきかったのが個人戦の決勝のことで、6人がジャンプオフに残って6人全員減点0でしたよね。あれは本当にすごいことだなと思いました。もちろん福島さんも減点0だったのですが、その辺りはその場においてどのように感じられましたか。

【福島】 まず、総合馬術の戸本君の4位という好成績を目の前で見て、私的には「うわー、日本人すごいな」というような感じになったのです。障害がいちばん最後だったので、障害チームも負けていられないという気持ちになったのはもう間違いなくて、本当に良い風

が来たという感じでした。

それで初日から集中して1個1個大事にやった結果、個人の決勝まで進むことができ、クリアラウンドすることができて、結果的にジャンプオフの6人に入ることができました。正直、自分でも「いいのかな。こんなところに自分がいて」みたいな気持ちだったのは覚えています。

ただ出番が1番だったというのもありますし、先ほども言った通り、団体戦のことも考えていなければいけないということもあったので、どのくらい思い切り行ってしまっているのかが、よく分からないところがありました。

さすがに全員クリアラウンドではないという部分も当然あったので、どこまで安全策で行って、どのくらい攻めて行かなければいけないのかという駆け引きが、1番だとできないですね。ですから、やりすぎず確実に帰って来られるペースで走ったのですが、終わってみたら、みんなクリアラウンドでズバズバ抜かれて、最終的にはその中のいちばん下だったという結果でした。

あそこのメンバーで走れたということは、自分にとっての本当に一生の思い出になりましたし、あのクラスでメダルをとりにくる人たちの走行というのは、同じ選手として本当にしびれました。

【北野】 戸本さんはあのジャンプオフはどのように見ていましたか。

【戸本】 福島さんに聞いたかったですけれども、あの走行自体は決して遅くない。安全策というほど安全策ではなかったですね。無駄なところも全くないし、本当に計算されたところを走っていました。

見ているほうは、これはかなり良いところに来たと思ったのです。あのジャンプオフに残ったメンバーを私は覚えていませんが、この選手は落とすだろうか、この選手よりは少し早そうだなとか、大体どれくらいの目安があったのですか。

【福島】 いやな質問ですね（笑）。まだ1番なので、やはり全開でばかみたいに走って、1個落としてしまったら一気に下にいってしまう。メダルは逃すというのは分かっていたのです。ですから、ぎりぎりのラインを攻めて、これはあまりちんたら走ってられないなというプレッシャーを、後続の選手たちにかかけられればいいなという思いで走ったのです。



写真7. 障害物（だるま）（写真提供：日本馬術連盟）

しかし、彼らには関係なかったですね。普段、大舞台で勝ちに行つて実際に勝てるような選手があそこにいたわけなので、タイムはもうどんどん抜かれていったし、すごいなと思いました。

【北野】ご自身の予想としては、何位くらいだなと思っていたのですか。

【福島】メダルは欲しいなどは思っていましたけれども、ちょっと棚ぼたを期待していた自分がいたので、まだ甘いです。

【戸本】でも、見ている側はやはり「これはあるぞ」と思っていました。結果を見て、本当に甘くないんだなと思いましたね。

【北野】まさか全員減点0なんて思いもよらないですよね。

【佐渡】福島さんが0で帰ってきたときに「ああ、メダルはあるんじゃないかな」と、あの場の人たちはみんな期待しましたよね。

【北野】そう思いましたね。ジャンプオフが全員減点0だなんて、そんなにあることではないでしょう。良いものを見せていただきました。見ていて興奮しましたよね。お疲れ様でした（笑）。

【福島】ありがとうございます（笑）。

【北野】本当に盛り上がりました。日本がメダルをとれるかもしれないと、あの場にいた人、テレビを観ていた人に思わせてくれたことは本当にすごかったです。

1つ、思い出しました。戸本さん、話題になっただるま障害の話はぜひしたいと思っていました。これはぜひお二人の意見をお聞きしたいのですが、総合馬術の



写真8. 障害物（力士）（写真提供：日本馬術連盟）

障害馬術の1回目の走行でだるまが周りに並んでいる障害物がありました。ダブル障害の周りにいっぱいだるまがいて、戸本さんも含め半分くらいの選手がそこで落下してしまったので、いろいろな媒体やSNSで「馬を驚かせてどうするんだ」、「あんな怖いものを置いてどうするんだ」という話が一部起きてしまいました。福島さんはどう思いますか。あのだるまは、馬は本当に怖いのですか。

【福島】これは私の意見です。あそこは落としやすいシチュエーションの流れになっていたというのがまず1つ。

【北野】そこのところを、ぜひもう少し詳しく。

【福島】あそこは、手前が何でしたか。

【戸本】三段オクサーから。

【福島】三段のオクサーからベンディングライン、少しカーブを描きながら真横に向いた赤いダブルでした。三段オクサーを飛んだ後のベンディングラインの先の障害は、入るのがとても難しいのです。

【北野】三段オクサーというのは、手前から奥に向かってバーが徐々に高くなっている、階段状のような障害物で、幅が2mとか、それ以上のこともありますね。

【福島】非常に幅があるのです。幅がある障害を飛ぶと、着地した後に馬のバランスが前にいってしまうのです。ですから、それを立て直して次の障害に向かって行かなければいけないのです。これが直線だと戻しやすいのですが、ベンディングラインに向かって行くと、馬のバランスが開いたまま吸い込まれていきやすいのです。

それから「赤い障害」は、それこそ獣医師の皆さんのほうが詳しいかもしれないですが、障害の選手は遠近感がつかみづらい障害という認識を持っています。「赤い障害」は馬が怖がったり、逆に全然注意しなかったりというような、ちょっと遠近感がつかみづらい障害と言われているのです。ですから、だるまに関わらず、私は普段の試合でも「赤い障害」は非常に注意しています。そこにたまたま、だるまさんがジロッとこちらを向いていたので。

【北野】たくさんいました。すごかったです。

【福島】何だか、だるまさんが悪者みたいに思われてしまっている感じですけども、あれはだるまでなくても、そこに何か物があったら同じ結果になったのではないかなと私は思っているのですが、どうでしょう。

【戸本】おっしゃる通りですね。ただ、三段オクサーからベンディングラインはバランスを戻しづらいとか、「赤の障害」は見づらいという話は初めて聞いたので。先に言ってくださいよ（笑）。先に言ってもらえればもう少し気を付けたのに……。

【福島】でも、注意していてもあそこは難しいと思います。

【北野】だるまさんは悪くない。

【戸本】そうですね。だるまさんは悪いことをしてないのですね。

【福島】相撲は悪いですよ（笑）。

【北野】力士の障害物ですか。

【福島】グルームの人とかトレーナーの人は、待機馬場では障害物に触ってはいけないと言われるのです。けれども、中に入ったらお相撲さんは障害物を持っていましたからね（笑）。

幸い表ではなくてお尻側でしたのでまだ良いのかもしれないですけど。障害を思い切り握りしめていました。

【北野】あの障害物も迫力がありました。

【福島】あれは物見しました。

【北野】佐渡さんはいろいろな障害物を見て、どのように思いましたか。

【佐渡】日本独特のものがずいぶん並べられたなど。選手として飛ぶ側の目線ではないので、「あ、こんな障害ができたんだ」と見て、楽しませてもらいました。

【北野】インパクトが強かったのはどれでしたか。

【佐渡】やはりだるまでですね。SNS とかここまで騒がれ

るんだと。馬術競技でそういう話題ができたのがすごいなど、単純に思いました。話題性があったなと思いますね。

【戸本】どんな取り上げられ方にせよ、馬術を取り上げてもらったので、落としかいがあったかなと（笑）。

【北野】いえいえ（笑）、戸本さんが落とさなくてもたぶん話題になったのですよ。

【戸本】そうですね。ただ、いま福島さんがおっしゃった通り、あの障害に向かうまでのアプローチがとにかく難しく、障害よりもそこに難しさがあったのは間違いない。そもそも7完歩で行くのか8完歩で行くのかという選択、なおかつ7完歩で行くのであればどういった7完歩、どういった8完歩で行かなければならないのかという、その緻密さが問われました。

それ以外に私が落下した理由が何かあるとすればと考えていたのですが、2つ連続してA・B障害とあって、A障害はだるまが障害物の手前側に置いてあったのです。そのような置き方が普通です。でも、B障害だけだるまがあえて着地する側に置いてあったのです。

【北野】障害物の後ろ側ですね。

【戸本】はい。装飾物が奥のほうに置いてあったので、馬にとっては遠近感が非常につかみづらい状況になっていました。それもあって、このアプローチが難しく、なおかつこのだるまが奥にあって障害が手前にあるから、奥行がつかみづらくて落としかというのがあり得るかもしれないということは少し考えました。

【北野】たとえば後ろ側に置いてあるなどというのは、歩いて下見をしたときに、選手は気が付くものなのですか。

【戸本】気が付きました。ただ、あえて後ろ側に置いてあるというのは、写真を撮ったときに映えるようにですね。

【北野】そうですね。着地側からカメラを構えた時、馬が飛んでくる側にだるまがあると、確かに写真的にはいいですよ。

【戸本】ですから、写真のためにこちら側なのだなどというのはすぐに分かったのですけれども、何か奥行が分かりづらくなるようなシチュエーションがあるのは嫌だなとは思っていました。ただ、半数もの選手がそこで落とすというのは予想がつかなかったですし、奥行きよりも私は障害の前のこと、先ほどの7歩なのか8歩なのかを意識していたので、奥行に対する何かを特別にして臨んだということは、正直しなかったですね。

【福島】障害馬術競技では、障害物の下にだるまが置かれていました。だるま障害を飛び越える形でしたが、ほとんどの選手が落下もしないし、止まったりもしませんでした。

【北野】だるまのせいではないということですね。

【福島】だるまをあまり悪く言わないでください。

【北野】置かれた場所や周りの環境、シチュエーションの問題だったということですね。

先ほど赤い障害物は注意するという話があったのですが、地面と同化してしまいそうな色であったり、いろいろな障害物がセッティングされていました。あれはコースデザイナーがそういうところまで意識して作って、皆さんは下見のときに「コースデザイナーは、こういうのをちょっと狙っているな」ということを読み取って、競技に挑んでいるのですか。福島さん。

【福島】そうです。特に団体の1回目走行の最後のラインが、出口方向に向かって行く直線のラインですが、プランクという板状のバーがかかっているダブル障害でした。そのプランクがもうまさしく赤で、トップの1 cm か 2 cm くらいだけ黒く塗ってあるのです。いちばん上の所だけです。

コースの後半は馬も疲れてくるので、無駄に飛びたくないのです。出口方向を向いているので、早く飛んで早く帰りたいという心理状態になっています。そのシチュエーションで、トップの部分を黒くして見えづらいうように塗られていたので、これはみんなが落としやすいと思って、私は1歩増やして大事に入りましたが、それでもバンと落としてしまいました。コースデザイナーがそういったことまで考えてつくっているということはあると思います。

【北野】すごいですね。コースデザイナーもいろいろなことを考えて、緻密に作ってきているということですね。興味深いお話をありがとうございます。

今後の日本の馬術について、皆さんが今回思われたこと、このように馬術が進んでいってほしいなとか、今後に期待することがありましたら、一言ずつお願いします。

【佐渡】今回の東京オリンピックを機に、たくさんの選手が海外に進出して、大会期間中は日本国内でも馬術に注目してくださる人が増えたと思いますし、お二人の活躍によってメディアに取り上げられて、大変盛り上がった大会だったと思います。

やはりこの灯を消さないというか、今後も日本から世界に向けて挑戦していく選手が増えていけばいいなと思いますし、この盛り上がりを次のパリ大会につなげていけるように、選手としても、JRAの職員としても、いろいろ貢献していければいいなと思います。

【北野】ありがとうございます。戸本さん、お願いします。

【戸本】私もオリンピックに向けてイギリスで活動を続けてきて、馬術の本場でいろいろなものを見させてもらっている身です。イギリスの総合チームを見ると、メダルをとるために非常にシステムティックなチーム作りをしています。今回、イギリスは団体が金メダルをとりましたが、やはりとるべくしてとっているなという印象です。イギリスチームの活動を自分の目で見て、いろいろなことを聞いたりしているので、それを少しずつ日本に持ち帰るのが使命だと思っています。

これだけの経験をさせてもらったので、総合選手に限らずこれから海外を目指して若い選手が出てきたときに、我々も含めてそういった選手をサポートできるシステムが、どんどん出来上がっていけば良いということをとっても感じています。

【北野】ありがとうございます。福島さん、お願いします。

【福島】私はリオデジャネイロオリンピックから東京に向けて、JRA様と日本馬術連盟様のサポートの中でトレーニングをさせていただいていた立場でした。オリンピック本番の結果も大事かもしれませんが、そこに向かっていく過程で得た知識や技術、あとはどうやって東京オリンピックに向けて強化をしていったら良いかということを考えながら、いろいろな方のサポートの中でやれたことがとても大きな財産になりました。

私は日本に戻ってきていますが、これからこの知識や技術をできるだけたくさんの方の日本の人たちに伝えて、また同じように世界を目指せる選手がどんどん誕生してくれればと思っています。

【北野】ありがとうございます。東京オリンピックの馬術競技を終えて、皆さんがいま思うことをいろいろお伺いいたしました。

馬場馬術の佐渡一毅選手、総合馬術の戸本一真選手、そして障害馬術の福島大輔選手でした。

ありがとうございました。(拍手)

Journal of Equine Science

Vol. 33, No. 2, June 2022

和文要約

原著

BMP12とKY02111の組み合わせは、骨髄由来のウマ間葉系幹細胞 (BM-eMSC) の腱分化を促進する——Aungkura SUPOKAWAJ¹, Wasamon KORCHUNJIT^{1,4} and Tuempong WONGTAWAN²⁻⁴ (1Department of Clinical Microscopy, Faculty of Medical Technology, Mahidol University, Salaya, Nakhon Pathom, 73170, Thailand, 2Akkhararatchakumari Veterinary College, Walailak University, Thai Buri, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat, 80160, Thailand, 3Centre for One Health, Walailak University, Thai Buri, Tha Sala, Nakhon Si Thammarat, 80160, Thailand, 4Laboratory of Cellular Biomedicine, Faculty of Veterinary Science, Mahidol University, Salaya, Nakhon Pathom, 73170, Thailand) …………… 19

Wingless and Int-1 (WNT) および骨形成タンパク質/成長分化因子 (BMP/GDF) シグナル伝達経路は、筋骨格系の発達に関与している。BMP/GDFシグナル伝達は通常腱の分化を促進し、WNTシグナル伝達はそれを阻害する。そこで、本研究ではWNTを阻害し、BMPシグナル伝達を刺激すると幹細胞の腱細胞への分化が促進されるという仮説を立て、WNT阻害剤 (KY02111) とBMP12/GDF7タンパク質の組み合わせが、骨髄由来のウマ間葉系幹細胞 (BM-eMSC) の腱細胞への分化を促進するかを検証した。結果は、WNT阻害剤 (KY02111) 添加による1日間の培養後にBMP12添加による13日間の培養で最大の腱細胞への分化促進が認められた。WNT阻害剤 (KY02111) の効果は暴露 (培養) 時間に依存し、1日間の添加培養は3日または5日よりも良い結果をもたらした。また、この組み合わせにより、SCX, TNMD, DCN, TNCなどの腱特異遺伝子マーカーの発現とCOL1タンパク質の発現が増加した。結論として、BMP12とKY02111の組み合わせは、BMP12単独よりもウマ間葉系幹細胞の*in vitro*での腱分化を促進することが明らかとなった。

短報

野間馬における年齢と体尺測定結果および臨床検査結果の関係——井上陽一¹, 小野哲嗣¹, 久枝啓一¹, 山田裕¹, 畑明寿¹, 下川孝子¹, 芝野健一¹, 大澤恵美², 北川均¹, 岩田恵理¹ (1岡山理科大学獣医学部, 2野間馬ハイランド) …………… 27

公共牧場で飼育されている50頭の野間馬について、2019年10月に実施した健康診断結果をもとに加齢に伴う血液検査および身体測定結果の変化についての調査を行った。測定した45項目のうち、14項目において加齢に伴う統計学的に有意な相関が認められた。赤血球数 (RBC), アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST), アルカリフォスファターゼ (ALP), クレアチンキナーゼ (CK), カルシウム (Ca) および無機リン (IP) は加齢に伴って減少したが、反対に平均赤血球容積 (MCV), 平均赤血球血色素量 (MCH), リパーゼ (LIPA), ガンマグロブリン (γ), 塩素 (Cl), 体高 (BH), 胸囲 (CC) 及び菅囲 (Cannon) は増加した。これらの加齢に伴う変化の多くは、ウマ科に共通したものであると考えられた。

臨床委員会 DVD 販売のお知らせ

日本ウマ科学会臨床委員会では、過去に開催された臨床委員会主催の招待講演ならびに実習のDVDを販売しています。

<お申し込み方法>

以下の申込用紙をご利用いただくか、メールで事務局までお申し込みください。

<価格および代金のお支払い方法>

価格は1セット**3,000円**（税込）です。

お申し込み後、折り返し合計代金をご連絡いたしますので、ご確認の上、下記口座まで代金をお振込みください。納金確認後、宅配便にてお送りいたします。なお、お手数ですが送料は受取人様払いでお願いいたします。

郵便振替口座 記号番号：00130-3-539393

または

ゆうちょ銀行（9900）〇一九（ゼロイチキュウ）店 当座預金口座 539393

口座名：日本ウマ科学会（ニホンウマカカクカイ）

----- キリトリセン -----

申込用紙

ご希望のDVDと枚数	(1) 2009年（第22回学術集会）	Dr. Brooks	眼科	() セット
	(2) 2010年（第23回学術集会）	Dr. Richardson	整形外科	() セット
	(3) 2011年（第24回学術集会）	Dr. LeBlanc	繁殖	() セット
	(4) 2012年（第25回学術集会）	Dr. Dyson	跛行診断	() セット
	(5) 2013年（第26回学術集会）	Dr. White	急性腹症	() セット
	(6) 2014年（第27回学術集会）	Dr. Scott	装蹄	() セット
	(7) 2015年	Dr. Mama & Steffey	麻酔	() セット
	(8) 2016年（第29回学術集会）	Dr. Ducharme	呼吸器	() セット
	(9) 2017年（第30回学術集会）	Dr. Hyde	歯科	() セット
お名前				
ご送付先住所				
ご所属				
電話番号				
メールアドレス				

連絡先： 日本ウマ科学会事務局

FAX：0285-44-5676

e-mail： e-office@equinst.go.jp

住所：〒329-0412 栃木県下野市柴1400-4 JRA競走馬総合研究所

協賛団体名

団体名	〒	住所
日本中央競馬会	105-0003	東京都港区西新橋 1-1-1
地方競馬全国協会	106-8639	東京都港区麻布台 2-2-1 麻布台ビル

賛助会員名簿

(五十音順)

会員名	〒	住所
(株)アイベック	170-0002	東京都豊島区巢鴨 1-24-12 アーバンポイント巢鴨 4F
公益財団法人 軽種馬育成調教センター	057-0171	北海道浦河郡浦河町西舎 528
公益財団法人 競走馬理化学研究所	320-0851	栃木県宇都宮市鶴田町 1731-2
JRA システムサービス(株)	135-0034	東京都江東区永代 1-14-5 永代ダイヤビル 7F
JRA ファシリティーズ(株)	104-0032	東京都中央区八丁堀 3-19-9 ジオ八丁堀
公益財団法人 ジャパン・スタッドブック・インターナショナル	105-0004	東京都港区新橋 4-5-4 日本中央競馬会新橋分館 6F
公益財団法人 全国競馬・畜産振興会	105-0004	東京都港区新橋 4-5-4 日本中央競馬会新橋分館 3F
公益社団法人 全国乗馬倶楽部振興協会	105-0004	東京都港区新橋 4-5-4 日本中央競馬会新橋分館 5F
ゾエティス・ジャパン(株)	151-0053	東京都渋谷区代々木 3-22-7 新宿文化クイントビル 14 階
中央競馬馬主相互会	105-0004	東京都港区新橋 4-7-26 東洋海事ビル 3F
DS ファーマアニマルヘルス(株)	541-0053	大阪府大阪市中央区本町二丁目 5-7 大阪丸紅ビル 10 階
一般社団法人 日本競走馬協会	106-0041	東京都港区麻布台 2-2-1 麻布台ビル
公益社団法人 日本軽種馬協会	105-0004	東京都港区新橋 4-5-4 日本中央競馬会新橋分館 3F
一般財団法人 日本生物科学研究所	198-0024	東京都青梅市新町 9-2221-1
公益社団法人 日本装削蹄協会	105-0004	東京都港区新橋 4-5-4 日本中央競馬会新橋分館 7F
一般財団法人 日本中央競馬会弘済会	105-0003	東京都港区西新橋 1-1-1
公益社団法人 日本馬事協会	104-0033	東京都中央区新川 2-6-16 馬事畜産会館 7F
公益社団法人 日本馬術連盟	104-0033	東京都中央区新川 2-6-16 馬事畜産会館 6F
一般財団法人 馬事畜産会館	104-0033	東京都中央区新川 2-6-16
文永堂出版(株)	113-0033	東京都文京区本郷 2-27-18

Hippophile 投稿に関する基準

(2013年4月1日一部改定)

- ① 本誌の投稿は、Hippophile 投稿規程（以下「規程」という。）に基づくことを基本とする。
- ② この基準は、投稿者が投稿しやすいよう投稿分野ごとに細目を定めたものである。
- ③ 原稿を本誌の目的に沿ったものにするため、1～3名の審査員により審査を行い、事務局（(株)アイベック）を通じて投稿者と調整を行う。審査員の指摘を受けた投稿者は速やかに事務局に回答するものとする。その目的は、多種多様な本学会会員に対し、解りやすく美しい文章で、かつ投稿者の真意が正確に伝わる記事にすることにある。
編集委員（長）および審査員は、掲載の可否にあたっては、内容が特に営利目的でないもの、あるいは偏った個人批判、地域批判、団体批判を含まないものであることに留意する。
- ④ 本誌は、図表のカラー化を取り入れていることから、良好なピントや色彩を求める。
- ⑤ 本誌は、各号のページ数を刷上り約40ページとするため、投稿ページ数に制限を設ける。ただし、やむを得ない場合は、投稿者と協議のうえ、編集委員長がページ数を決定する。
- ⑥ 図は、写真を含めて図と称し、番号を付け、タイトルと説明文を付記することとする。その大きさは縦6.0 cm × 横8.5 cm とするが、説明文のスペースの関係から図1枚につき縦約7 cm 取ることにする。ページ数の調整の関係で編集委員（長）の一任により図のサイズを決定することがある。
- ⑦ 投稿者は顔写真（カラー）と略歴（150字程度）を添付することとする。
- ⑧ 刷上り最大24字×42行×2段＝2,016字の字数が1ページに印刷可能であり、これを目安に投稿することとする。
- ⑨ 図1枚の占めるスペースの字数は約168字となる。
- ⑩ 表にはタイトルと説明文のほか、必要に応じて注釈・解説文を添付することとし、表の大きさは、ページ数を考慮し、審査員と編集委員（長）が協議のうえ決定する。
- ⑪ 投稿者に原稿料（1ページにつき3千円）を支払う。ただし、原則として研究論文や施設紹介には支払わない。原稿料は、刷上りのページ数により算出し、ページ半分に満たない部分は切捨てとする。ただし、5ページ相当の原稿料（1万5千円）を上限とする。
- ⑫ 投稿者は、原稿内容により、以下の各コーナーの分類について要望又は指定することができる。

総説：

【ウマの科学的分野における研究の総括と展望】

- ① 文献展望を主体とし、刷上りは図表を含めて10ページ以内程度とする。

科学論文・一般学術論文：

【ウマ科学に貢献する未発表・他の学術誌に未掲載の和文論文】

- ① オリジナリティーの高いもの。

- ② 科学論文は、研究目的、材料・方法、成績・結果、考察、纏めが適切に記述されている自然科学の論文とする。
- ③ 一般学術論文は、自然科学に準ずるが、馬の文化、経済学、芸術、歴史などの人文科学の論文とする。
- ④ 刷上りのページ数は図表を含めて10～12ページ以内程度とする。
- ⑤ 引用文献の書き方はJESの投稿規程に準ずる。本文中のナンバーリングは上付きとし、引用文献順に掲載する。但し、著者名の記載は1名あるいは2名までとし、3名以上の場合は代表者1名を記載し「その他、あるいは et al.」として記載する。

馬事往来：

【馬との関わりについての提言、レポート、エッセイなど】

- ① 馬の文化や科学の実態を会員が相互に理解しておく必要性のあるもの。
- ② 刷上りのページ数は図表を含めて3ページ程度とする。

馬事資料：

【馬に関連する資料の掲載】

- ① 日本の馬事資料として保存しておく必要性のある内容のものを掲載。
- ② 刷上りのページ数は図表を含めて3ページ程度とする。

特別記事：

【馬に関連する競技会やイベント、利用実態などの記事】

- ① 馬に関係する各種催し物や活動状況などを紹介。
- ② 刷上りのページ数は図表を含めて3ページ以内とする。

馬事施設紹介：

【馬の文化・科学に関わる施設の紹介】

- ① 日本の馬事文化、研究、教育、乗馬等に関わりのある施設などの紹介記事。
- ② 刷上りのページ数は図表を含めて3ページ以内とする。

学術集会記事：

【馬に関する学術集会における講演内容等の掲載】

- ① 本学会の学術集会等を主体に掲載。
- ② 刷上りのページ数は図表を含めて3ページ程度とする。

関連研究会記事、その他：

- ① 規程に準じて取り扱う。
- ② 刷上りのページ数は1～2ページとする。
- ③ いずれのコーナーにも該当しないものにあつては、編集委員長が新たにコーナーを設けることができる。

投稿原稿送付先

Hippophile 編集事務局宛に e-mail もしくは郵送でデータを送付のこと。（投稿された原稿は返却しませんので予めご了承ください。）

e-mail: hippo@ipecc-pub.co.jp

〒170-0002 東京都豊島区巣鴨1-24-12

(株)アイベック内 Hippophile 編集事務局

編集後記

コロナウイルスの感染者数はまだ多いのですが、なんとなく沈静化しているように見え、他人との交流も増え気分は少し上向きになりつつあるような気がします。ウクライナの戦争は続いており、瓦礫と化した数々の街の映像から戦争の悲惨さが日々実感されますが、この感覚は SNS の普及が多いに関係していると感じます。一方でコロナ禍における他者とのリアルな断絶とその復活は、感情の起伏における他者との絆の重要性を体感させます。

本号では【学术论文】として中川佑貴さんたちによる「3D プリンティングによる樹脂蹄鉄の製造と特性評価」が投稿されました。本論文は個体に見合った樹脂製の蹄鉄製造のための一步目の論文と位置づけられます。

シンポジウム記事の Part1 として東京 2000 オリンピックに参加した 3 人の馬術競技選手たちの座談会を再録しました。オリンピック 3 人の準備の状況や競技中の感情を是非ご実感ください。

(編集委員長 楠瀬 良)

入会申し込み方法

下記宛にお申し込み下さい。年会費は 5,000 円 (国内) です。

日本ウマ科学会事務局

〒 329-0412 栃木県下野市柴 1400-4

JRA 競走馬総合研究所内

電話 0285-39-7398 FAX 0285-44-5676

E-mail : e-office@equinst.go.jp

Hippophile, No. 89, 2022

2022 年 6 月発行

<https://jses.jp>

編集委員長：楠瀬 良

発行者：青木 修

〒 329-0412 栃木県下野市柴 1400-4

JRA 競走馬総合研究所内

電話 0285-39-7398 FAX 0285-44-5676

郵便振替口座番号 00130-3-539393

または

ゆうちょ銀行(9900) 〇一九 (ゼロイチキュウ) 店

当座預金口座 539393

口座名：日本ウマ科学会 (ニホンウマカガクカイ)

印刷者：株式会社 アイベック

〒 170-0002 豊島区巣鴨 1-24-12

電話 03-5978-4067