慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	SFCにおけるパラリンピック支援研究開発
Sub Title	Research and development for Paralympic Games in SFC
Author	仰木, 裕嗣(Ohgi, Yūji)
Publisher	慶應SFC学会
Publication year	2020
Jtitle	Keio SFC journal Vol.20, No.1 (2020.) ,p.50- 65
JaLC DOI	10.14991/003.00200001-0050
Abstract	パラリンピック競技に対してこれまで進められてきた官学連携および産学連携の研究開発事例を紹介する。官学連携では、パラ水泳における視覚障がい水泳選手をサポートする無線骨伝導スピーカーゴーグルおよび壁接近検知装置を開発した。またパラトライアスロンではウェットスーツを開発し、リオデジャネイロパラリンピック大会で実際に用いられた。産学連携では、パラ陸上における車イスマラソン選手が使う3Dプリンター製グローブの開発を進めてきており、きたる東京パラリンピックに向けて現在も進行している。
Notes	特集 オリパラ サイコウ 招待論文：研究論文
Genre	Journal Article
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=0402-2001-0050

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

［招待論文：研究論文］

SFC におけるパラリンピック支援研究開発

Research and Development for Paralympic Games in SFC

仰木 裕嗣
慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科教授
Yuji Ohgi
Professor, Graduate School of Media and Governance, Keio University

Abstract:　パラリンピック競技に対してこれまで進められてきた官学連携および産学連携の研究開発事例を紹介する。官学連携では、パラ水泳における視覚障がい水泳選手をサポートする無線骨伝導スピーカーゴーグルおよび壁接近検知装置を開発した。またパラトライアスロンではウェットスーツを開発し、リオデジャネイロパラリンピック大会で実際に用いられた。産学連携では、パラ陸上における車イスマラソン選手が使う 3D プリンター製グローブの開発を進めてきており、きたる東京パラリンピックに向けて現在も進行している。

This paper introduces R & D examples of government-academia and industry-academia collaborations that have been assisted for Paralympic athletes. The government-academia collaboration has developed a wireless bone-conductive speaker goggle and a wall approaching detection device to support visually impaired swimmers in para-swimming. At the Para-triathlon, a wetsuit was developed and used in the Rio de Janeiro Paralympic Games. In collaboration with industry and academia, the development of 3D printer gloves used by wheelchair marathon athletes has been developing, and it is still progressing toward the upcoming Tokyo Paralympic Games.

Keywords: パラリンピック、視覚障がい水泳、パラトライアスロン、車イスマラソン、3D プリンター
Paralympics, blind swimmer, Para-triathlon, wheelchair marathon, 3D printer

1　はじめに

この原稿の入稿間近に 2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの延期が決定され、関係者でもある筆者は本稿で紹介する複数の支援事業が少なくともあと 1 年延期されたことに対して複雑な思いを抱いている。今は新型コロ

ナウィルスを克服して 2021 年に両大会が開催されることを祈るばかりである。

筆者の研究領域のひとつはスポーツ工学である。これは工学の視点でスポーツ競技、用具、ウェア、シューズ、さらには競技を下支えする支援システムなどを考えアスリートやコーチのパフォーマンスを向上させることを目指していると言ってよい。

筆者は過去 15 年にわたって、パラリンピック競技の支援を研究テーマにしてきた。とりわけ注力してきた種目は、パラ水泳の視覚障がい水泳選手へのサポート技術の開発である。この視覚障がい水泳選手へのサポート技術の研究開発も本稿では紹介する。これは筆者の個人研究から始まり、現在ではスポーツ庁のもとで進められているハイパフォーマンスサポート事業として継続している。また、2016 年のリオデジャネイロパラリンピックを契機に始まった 3D プリンターを活用した、パラ陸上車イスマラソン選手が用いるグローブの開発にも取り組んでいる。これは、SFC において筆者が立ち上げた、スポーツ・アンド・ヘルスイノベーションコンソーシアムにおける研究活動であり、民間企業、競技団体、選手らと進めてきた活動である。

これら官学連携、産学連携の二つのスキームによる研究開発を通して、SFC におけるパラリンピック競技を支える技術開発の現状を紹介したい。

2　ハイパフォーマンスサポート事業におけるパラスポーツ支援

2.1　スポーツ庁が進めるパラリンピックスポーツ支援

2016 年に開催されたリオデジャネイロパラリンピックに照準を合わせ、スポーツ庁のもとで「ハイパフォーマンスサポート事業パラリンピック研究開発」が実施された (開始時は文部科学省管轄)。この研究開発プロジェクトは 2014 年度の調査研究から始まり、2015 ～ 2016 年度と 2 年余りにわたって実施され、様々な競技種目について競技用具の開発、トレーニング機器の開発、ならびにメディカルサポートの三つの柱を持った研究開発であった。延期されてしまったが東京オリンピック・パラリンピックに向かう現在でも研究開発はパラリンピック種目のみならず、オリンピック種目を含めて多くのスポーツ種目において進行している。筆者の研究室では本稿で紹介するパラ水泳にくわえて、オリンピック競技の卓球、7 人制ラグビーを支える支援事業にも関

わっており、異なるスポーツ種目の特性にあった研究開発を進めている。事業は日本チームがメダルを獲得することを目指した研究開発であり、「センターポールに日の丸を」というスローガンのもとで、ターゲット種目を擁する競技団体の要望をもとにして研究開発が進められている。

筆者が 2005 年以来研究テーマにしてきた視覚障がい水泳は、パラリンピック競技のなかでもメダル獲得の期待が高い種目であり、この事業の性格にあっていることから、日本身体障がい者水泳連盟との共同提案として 2014 年の事業開始から携わってきている。

2.2　視覚障がい水泳選手がかかえる課題

従来、視覚障がい水泳選手が試合やトレーニングで泳ぐ場合には、コーチや補助者がタッピング棒と呼ばれる、先端に軟質素材を取り付けた長い棒状の用具を用いて、ターン時あるいはゴール時に壁に接近してきた選手の身体の一部（頭部または胴体部）を叩くことで選手に対して壁の接近を伝えてきた（写真 1）。

写真 1　リオデジャネイロパラリンピックにおけるタッピング。4 レーンは銀メダル獲得の木村敬一選手、タッパーは当時政策・メディア研究科特任助教の谷川哲朗氏

従って、プールのスタートサイド、ターンサイドの両方にコーチが待機しておくか、またはコーチが選手に並走してトレーニング中プールサイドを走り回る、といったことが行われてきた。視覚障がい水泳選手の場合、安全を確保するため、コーチによるタッピング行為が最優先であるが、トレーニングにおいてコーチの役割はタッピング行為にとどまらない。インターバルトレーニングでは、ペースクロックを視認できない選手に対してスタート時刻を読み上げてやらなければならないし、泳記録の計測も必要である。もちろん、選手の泳ぎ、フォームの観察も重要である。しかしながら、一人のコーチがこうした複数の課題を実現することは大変難しい。健常者のトレーニング・コーチングにおいては、競技レベルが向上するにつれてコーチ、マネージャー、トレーナー、研究者がそれぞれの役割を担う分業化が進みつつあるが、人的支援が未だ乏しい障害者スポーツにおいては、まだまだこのようなオリンピック競技のような分業化がなされているとは言い難い。そのような実情を踏まえると、用具や設備での工学的なアプローチによって何らかの支援や現場の改善が可能であると考えられる。そこでスポーツ庁のもとで実施されたハイパフォーマンスサポート事業パラリンピック研究開発では、主として工学研究者らが各競技団体からの要望を踏まえて、リオデジャネイロ五輪に向けて競技力向上のための技術開発に取り組んだ[1)]。当初、筆者の個人研究として進めてきた研究は、この流れで 2014 年以降は文部科学省管轄、スポーツ庁のもとで進められている「ハイパフォーマンスサポート事業」の一つとして採択され、視覚障がい水泳選手の水泳トレーニングにおいて選手とコーチを支援する用具・設備開発を筆者は行ってきた。研究開発の目的は、視覚障がい水泳選手のトレーニングにおいて選手・コーチの双方を手助けし、より質の高いトレーニング環境を選手に提供し、メダル獲得に貢献することである。そしてこの研究開発は現在も継続中である。

2.3　無線骨伝導スピーカーゴーグル

コーチによるタッピングは、プールの両サイドの壁において必要な作業であるが、1 名のコーチでタッピングを行う場合、コーチは選手と同じ距離を歩いて選手をサポートしなければならない。その距離は 1 回の練習あたりで数

キロに及ぶ。また仮に選手が２名になればこの併走してのタッピングも能力の範囲を超える可能性が高い。そこでコーチの発話する声を無線によって選手が直接聞くことのできる一方向通信のトランシーバー機能をもつ無線通信ゴーグルを開発した[2),3),4)]。送信部はコーチがヘッドセットとともに保持し、発話する音声をマイク入力端子に入力する。受信部はゴーグルのゴムバンド後頭部にアンテナと制御回路ならびにリチウムイオンバッテリーを内蔵しており、ゴーグルレンズ（正式名称はアイカップ）には圧電素子が内挿されている（写真２）。

写真２　無線骨伝導スピーカーゴーグル。左上：全体像、右上：送信機、左下：非接触充電の様子、右下：選手が装着している様子

圧電素子がアイカップを振動させることで、密着する眼窩皮膚表面に振動を与え、眼窩における骨伝導によって泳者に音声が伝わる仕組みである。従って我々はこれを、「無線骨伝導スピーカーゴーグル」と呼んでいる。実際には眼の周囲が振動しているにもかかわらず、頭頂や頭の中から音が聞こえるという大変不思議なスピーカーである。圧電素子側のアイカップには圧電素子を埋め込むスリット部を設け、これを 3D プリンタによって製作した（圧電

素子が内挿されていない方のレンズ部は市販品水泳用ゴーグルのアイカップを利用)。圧電素子側アイカップは採用した 3D プリンタ樹脂フィラメントが白濁した色であるため視界は閉ざされる。しかしながら、視覚障がい水泳選手の場合、元来視覚を失っているために、レンズが白濁して視界が遮られることによる彼らにとっての不利はない。2020 年 3 月現在では、3D プリンタによる成型ではなく金型を使ったより精度の高いアイカップを利用しており、装着具合、音質も向上している。完全な防水を施すために充電には非接触充電を採用した。市販の非接触充電器 Qi (通称チー) の上にゴーグル本体を置くと充電が自動的に開始され、その後満充電になると充電は自動的に完了する。

2016 年のリオデジャネイロパラリンピックに向けた開発では、通信に Bluetooth Class1 を採用した。Bluetooth Class1 は見通し通信距離は 100m であるため、50m 屋内プール環境でも通信できる。現在ではこれを変更し 2.4GHz 帯の WiFi によって通信を行っている。受信アンテナ部は泳者の後頭部に位置することから、無線通信は泳者の頭部が水上に出ている時に限られることが課題である。したがって背泳ぎについては現在のところ、無線骨伝導スピーカーゴーグルが機能しない。これは 2.4GHz 帯の電波では水中通信が出来ないためであり、この周波数帯域を使う限りにおいてはこの問題を解決する方法は現在のところ存在しない。これが今後の課題でもある。

装置の検証には健常水泳経験者および視覚障がい水泳選手に無線骨伝導スピーカーゴーグルを使用して泳いでもらい、様々な泳法による基礎データを得た。平泳ぎや壁を蹴った後に潜った状態では頭部が水没してしまい、通信が途切れることから、音声発話のタイミングが重要であることも判明し、今のところ発話するコーチ側の配慮が必要とされる。

この無線骨伝導スピーカーゴーグルは、選手が泳ぎを矯正するドリル練習などに活用できる。例えば、視覚障がい水泳選手にとってレーン内をまっすぐに泳ぐことは極めて難しいが、コーチが無線骨伝導スピーカーゴーグルを用いて、適切な方向の指示を出しながら泳ぎを矯正するといった使い方が可能である。これはレーンラインにぶつかってからはじめて自分の進行方向が誤っていたことを確認するしか術がなかったこれまでの練習方法とは全く異なる大きな長所であると考えられる。

2.4　壁接近検知装置

壁接近検知装置は補助者がいなくとも視覚障がい水泳選手がプールでのトレーニングを実現するための装置である。すなわち、タッピングの代わりを実現する装置である[3),5)]。壁接近検知装置の実態は、公式ルールで認められたレーンライン（従来呼称はコースロープ）の最大直径 150mm の円筒状をした水中カメラである（写真 3、写真 4）。

写真３　壁接近検知装置（水上から見たところ）

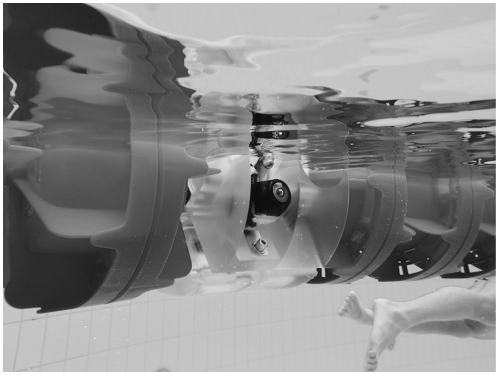

写真４　壁接近検知装置（水中から見たところ）

レーンラインのブイ間隔を拡げた上でワイヤー上部から、壁接近検知装置をはめ込むことでレーン上どの位置にでも装着できる。現在のところ、装着する位置として壁から 5m 地点および 2m 地点を想定している。国内では水泳選手は慣習的に、レーン内を右側通行でトレーニングするため、選手の進行方向右手のレーンラインに装着することを前提としている。壁接近検知装置は、水面下を監視する水中カメラに超広角レンズを採用し、レーンラインの方向とは直交する左右方向に光軸を設定している。カメラから見て選手が左から進入して壁に接近しカメラの直前を横切ると、水上スピーカーならびに水中スピーカーから警告音を発する。発せられる音声データは任意の音声データを外部から WiFi 経由で送り込むことが可能である。

壁接近検知装置の基本的なアルゴリズムは画像認識であるが、絶え間なく揺れ続けるレーンラインの揺れは単なる背景差分のみでは泳者をうまく抽出できない。また水上から差し込む光やプールサイドを歩いている人の影がプール底に映り込むことから、それらの輝度情報の変化も移動体である泳者のシルエットと同様に単純な背景差分では抽出することができない。そこで我々は、背景差分の前段処理として上下揺れの補正を施し、その後背景差分フィルタ、続いて移動体の検出フィルタを施すことで、移動してくる泳者の速度がトレーニング中の泳速度に相当し、且つ左側から接近して来る泳者である場合にのみ検知を行うようにフィルタ群を構成し、それらの変数を調整した。つまり、この装置はヒトが泳いで左から接近してきた時のみ反応する。このフィルタ変数の調整にあたっては、健常水泳選手によって様々な試泳時の基本映像の取得を事前に行った。さらに泳ぐ時の速度や方向、並びにコース内の位置も変化させ、目的とする泳者の動作、すなわち壁に向かって接近してくる場合にのみ反応するフィルタリングを行うための基礎実験データを得た(写真 5、写真 6)。

例えば、スタート直後にカメラから見て右方向から 2m 地点および 5m 地点に差し掛かった泳者は、カメラと泳者の距離が離れているために被写体として小さくなることから取り除くことが可能であり、カメラは無視する設定になっている (写真 6)。

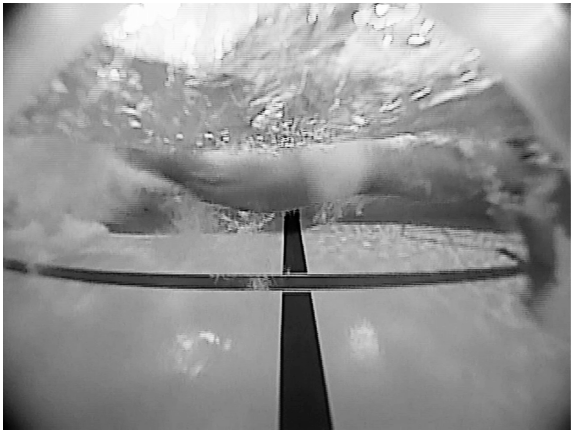

写真５　対象レーンを左から進入し壁に接近している泳者

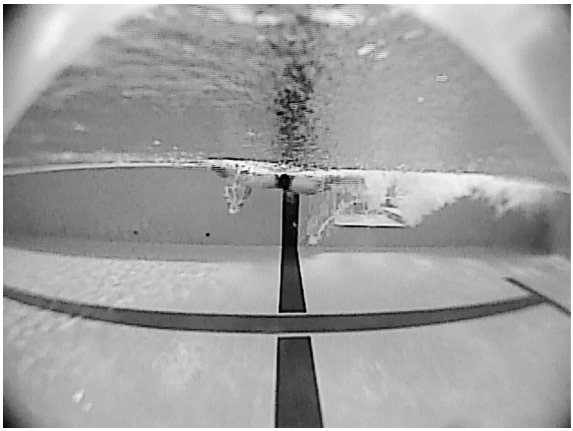

写真６　対象レーンを右から進入し壁から遠ざかっている泳者

壁接近検知装置は、入力画像を使って接近を判定するだけではなく、それを実時間で処理し選手が安全に泳ぐことまでを補助しなければならない。絶対に選手が壁にぶつかってはいけないのである。したがってハードウェアとしての頑健性、ソフトウェア・アルゴリズムの頑健性の双方が必要である。そのためハードウェアとしての防水技術は特に重要であり、現行では筐体はアクリルの削り出しによって製作し、充電には非接触充電を採用している。

また画像処理プロセスは壁接近検知装置内部の FPGA 上で走る組み込み Linux によって実時間で行われている。

音を発生する機能についても独自の工夫が凝らされている。実測によれば泳者が泳いでいる時に発生させている周波数成分は幅広く分布しているが、2kHz から 4kHz の区間において相対的に音圧レベルの若干低い領域が確認された。そこで、この範囲の周波数成分を中心にもつ警告音を作成して水上・水中スピーカーによって報知している。この時、発生させる音の周波数は、1kHz から 4kHz に尻上がりに変化する音、具体的には緊急地震速報で報知される形式を採用した。その結果、泳者にとってより認識されやすいことが健常者並びに視覚障がい水泳選手における実験で確認された。このような特徴を持つ壁接近検知装置は、視覚障がい水泳選手のみならず、高齢の健常者水泳選手等が壁にぶつかることを防ぐ目的でも使うことができると筆者らは考えている。

2.5　パラトライアスロン用ウェットスーツ

2016 年のリオデジャネイロパラリンピックでは、パラ水泳に加えて筆者はパラトライアスロン選手が着用するウェットスーツの開発を担当し、選手らは開発したウェットスーツを着用して試合に出場した。

パラトライアスロンはオリンピックにおける健常者のトライアスロンの距離を半分にした種目であり、障害の種類と程度によってクラス分けが行われている。筆者が担当したのは、異なるクラスにわたる複数の選手であるが、開発の重点はスイムからバイクへの速やかなトランジットに絞られ、且つ選手ごとの体型に合ったウェットスーツを開発することであった。そこで、選手の体型を 3D スキャンすることからスタートし (写真 7)、改良を重ね代表選手が最終的に着用するウェットスーツを完成させた。

このウェットスーツには、「瞬時に脱げる」という機能が備わっている。これには緊急脱着用に用いられる特殊ジッパーを採用した。通常は着用時にジッパーを上げ、脱着時には下げるジッパーが、このウェアの場合には強く引き上げることで一瞬で外れる (写真 8)。下肢機能障害をもつ選手がこれを下肢のパンツに採用し、リオデジャネイロではトランジット時間を大幅に短縮した [6)]。

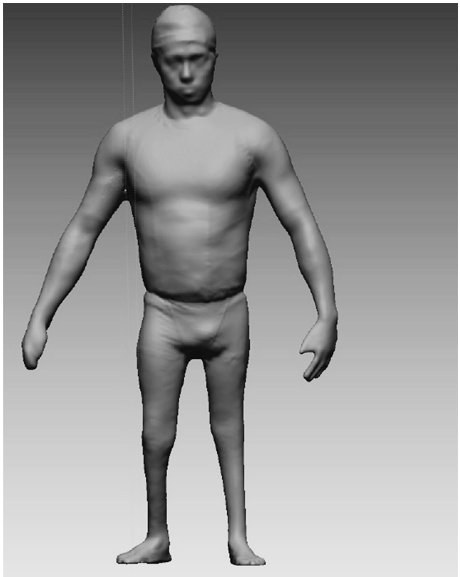

写真７　パラトライアスロン選手の 3D ボディスキャン

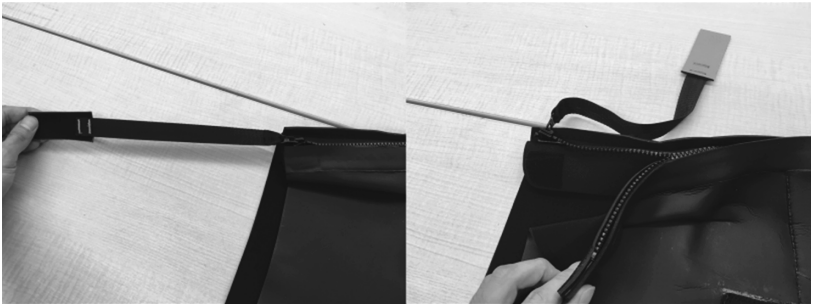

写真８　ジッパーを最上部まで強く引っ張ると一気に外れる機構を有する

３　スポーツ・アンド・ヘルスイノベーションコンソーシアムによるパラスポーツ支援

前項ではスポーツ庁が主導する国との共同研究開発プロジェクトであったが、SFC では、民間企業との連携によってパラスポーツを支援する研究開発も進めている。次に紹介する事例は産学共同研究であり、東京パラリンピッ

クを目指した活動、ならびにサステイナブルなモノづくりがパラアスリート自身によって達成できる方法を模索する活動の紹介である。

3.1　3D プリンターによる車イスマラソン用グローブ開発

これまで、車イスマラソン選手は主として革製グローブか樹脂製のグローブを使ってきたが、このうち樹脂製グローブは長年選手自身が手作りしてきた。この際用いられてきたのは義肢装具士が装具の造形に用いる熱可塑性樹脂であった。選手自身が自ら手型をとり造形することから左右のアンバランス、同一形状を作ることの難しさなどと共に、製造時間によるトレーニング時間の圧迫などの課題があった。そこで慶應義塾大学 SFC 研究所スポーツ・アンド・ヘルスイノベーションコンソーシアムは、3D プリンティング技術の応用のひとつとして 3D プリンターによって造形した車イス陸上競技用のグローブを開発し選手に提供してきた。2016 年のリオデジャネイロパラリンピックを経て、現在では 2020 年東京パラリンピックに向けての技術開発を進めている。

2016 年から取り組みをはじめたこのプロジェクトの初期段階では、過去にパラリンピック車イスマラソン競技に出場した経験をもつ選手で、グローブを自作することを常日頃行っている選手 1 名に協力してもらい、選手が自作したグローブの 3D スキャンを実施し、このデータをもとにして 3D プリンターによって造形することから取り組んだ (写真 9)。この 3D プリンターを用いた試作にはコンソーシアムメンバーである JSR 株式会社が協力している。同社は慶應義塾大学 SFC が牽引する、COI ファブ地球社会創造拠点に参画している企業でもあり、3D プリンター技術を四半世紀にわたって研究してきた企業でもある。

本来、用具の開発によってスポーツ選手のパフォーマンスを最大化しようとすれば、その選手に合った、最適な形状設計を目指すべきであるが、用具を変えることはフォームが変わると考えられ、選手が用いる用具の改変は慎重を期す必要がある。選手に対して行ったヒアリング結果からもグローブへの慣れは相当な期間を要するとの回答であったため、従前より用いていた自作グローブのうち、選手個人がヒアリング時点で最適と感じているグローブ

筐体の 3D スキャンを実施し、これを左右反転することによってグローブ一双を 3D プリンターで製作することからプロジェクトはスタートし (写真 9)、その後協力選手はリオデジャネイロパラリンピックに出場した。

写真 9　選手自作グローブの 3D スキャンデータから異なる方式で製作した車イスマラソン用グローブ。濃淡の違いは元グローブとの差を示している

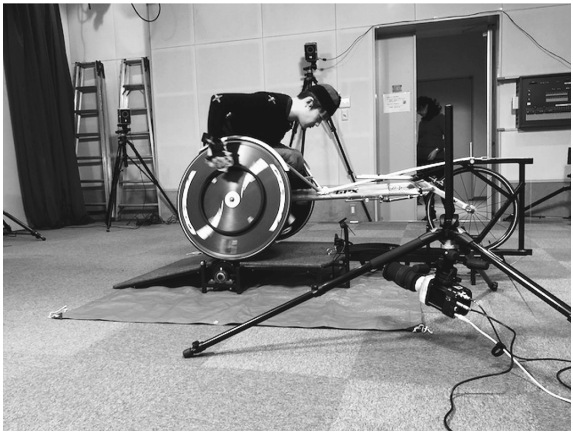

写真 10　SFC メディアセンターで実施した車イスマラソン用グローブ評価実験の様子。モーションキャプチャ装置を用いて性能評価を実施した

2016 年以降は、2020 年東京パラリンピックに向けてのグローブの再検討が行われることとなり、グローブシェルの改良ならびに表面に貼付するゴムの性能向上が課題として挙げられた。そこで 2017 年からは株式会社ブリヂストンがコンソーシアムメンバーとして参画し、車イス競技に特化したゴムの開発を担っている。そして我々慶應義塾大学は 3D プリンターによるシェル、および開発ゴムの性能評価を担ってきた [7)]。ここでは、筆者の研究室のもう一つの研究テーマである、スポーツバイオメカニクスの手法によって運動学的・運動力学的な視点から新規開発したグローブがパフォーマンスを向上させうるかを評価し (写真 10)、今までのところ良好な結果を得ている [8)]。

3.2　アスリート自身がモノづくりを担う時代に

国の資金源に依拠する官学共同研究や、企業との産学共同研究で取り組む大学の研究では通常、研究費によってその活動を行っている。したがって、研究費が途絶えた場合にはこれまでにやってきた研究開発を我々は放棄しなければならないという宿命にある。もちろん、ボランティア精神のもとで研究開発、用具開発が行われる分野もあるかもしれないが、研究推進の過程で必要とされる材料費や工賃など実際にかかるコストを捻出することを未来に渡って保証することはできない。これを「熱が冷めた」などと嘆くのは、こうした研究開発を誰かの資金援助によらなければ達成できないと決めつけている人たちの考え方である、というのが筆者の主張である。

筆者は深く考えた末の結論として、「自分の使う道具は自分で作れるようになる」ということがきっとパラアスリートの未来を拓くであろう、という想いを抱くようになった。そこで、「3D プリンターを使った車いす競技用のグローブ作り」を通して、3D 造形の手ほどきをパラ陸上競技選手たちに行う活動をコンソーシアム主導で実施した (写真 11)。自分が使うグローブを自分自身の手で作り出すというこの試みは成功したと感じている。選手各自が自身で使うグローブを熱心に造形し、そして 3D プリンターから打ち出されるグローブに魅入る。手を動かし、自身のための道具作りを通して、モノづくりのノウハウを学ぶことは、アスリートがセカンドキャリアを考えることにも貢献しうると筆者をはじめコンソーシアムメンバーは確信している。

写真 11　車イス陸上アスリートを対象にした 3D プリンター講習会の様子（長崎県諫早市にて実施）

昨今、研究成果を社会実装せよという声が高らかに叫ばれるが、果たして研究者自らが起業したり、あるいは研究協力企業が子会社化する、といったことだけが社会実装なのか？　と疑問に感じる。研究開発が達成された暁には、それは産業化しなければならない、という既成概念を打ち破って、研究開発品を提供されてきた側のひとたちが今度は自らの手でそれを作っていく、という新しい文化が我々のコンソーシアムから生まれようとしていると筆者は感じている。

4　おわりに

本稿で紹介した官学、産学連携によるパラリンピック競技支援に関する複数の事例を通じてパラリンピック競技支援における技術開発で気づいたことは、選手のために開発する用具は全て、「安全・安心」なものでなければならない、ということである。便利であるが怪我をする可能性がある、パフォーマンスを上げることが期待できるが怪我を誘発する可能性がある、などは受け入れられない。「安全・安心」の上にパフォーマンスを向上させる機能を持

たせるということが、どのような課題であっても望まれる。したがって、一連の研究によって得られた知見は今後健康科学分野での技術開発において大きな指針となると信じている。

また、研究の行き着く先を考えた場合に、やはり競技者自らが自分たちで用具開発に乗り出せることは、パラアスリートが競技生活を続けていくうえでサステイナブルな仕組みであると考えている。本稿で紹介した事例にとどまらず、今後もパラアスリートと共に用具開発を進める事例が増えることを願っている。その折には SFC で取り組んだ数々の事例が参考になるものと期待している。

注

1) スポーツ庁「高度なパフォーマンスを支えるために」https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop07/list/1372073.htm (2020 年 3 月 31 日アクセス)
2) 中島求 (2018)「総説：パラリンピック支援の研究開発事例にみるスポーツ工学の貢献」『日本機械学会誌』(特集「オリンピック・パラリンピックに貢献するスポーツ工学」) 121 (1193).
3) 仰木裕嗣ほか「視覚障がいスイマーのためのトレーニング支援装置の開発」『日本機械学会』〔No.16-40〕シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2016、USB 抄録集、2016
4) ゴーグル、特許 2005-314855
5) プール内撮影装置、警報音発生方法及び警報音発生用プログラム、特許公開 2018-061139
6) 仰木裕嗣、谷川哲朗、富川理充 (2017)「パラトライアスロン選手用ウェットスーツの開発事例」『日本繊維機械学会第 70 回年次大会講演論文集』pp. 268-269.
7) 慶應義塾大学プレスリリース「産学連携による車椅子陸上競技への支援」https://www.kri.sfc.keio.ac.jp/ja/press_file/20171122_sh.pdf (2020 年 6 月 30 日アクセス)
8) 仰木裕嗣、石塚辰郎、小島日佳里、佐野川怜、林田大造、上田雄一、中村和洋、小平美帆、吉澤健太郎、中澤一真「車イス陸上競技用グローブの開発と評価」『日本機械学会 Life2019 学会抄録集』https://life2019.secand.net/ (2020 年 6 月 30 日アクセス)

〔受付日　2020. 4. 1〕