作成：2016 年 9 月 17 日

協力隊を育てる会　帰国隊員支援プロジェクト
プロジェクト報告書

１　プロジェクト名

開発途上国用 3D プリント義足製作ソリューション開発のための調査・研究

２　実施期間

2015 年 11 月 1 日　～　2016 年 2 月 29 日

３　プロジェクトの概要

(1)　プロジェクト全体の概要

本プロジェクトは、日本国際協力機構(JICA)のフィリピン事務所より、「デジタル加工技術により、途上国用の安価な義足が制作できないか」という依頼より始まった。フィリピンの低開発地域における義足にまつわる現状はかなり深刻で、フィリピン国内には約35万人の足切断患者がいると言われているが、コストの問題や義肢装具士の不足などにより、義足の適用が十分になされていないというのが現状である。日本財団の調査によると、フィリピン国内では34.5万人が義足を必要としていると見られているが、それに対し、義肢装具士はフィリピン全国で47人である。１人の義肢装具士に対し、患者が7300人程度と圧倒的に義肢装具士が不足している現状となっている。

また、事前のリサーチによれば、これらフィリピンの膝下義足の適合患者に処方される義足の価格は、国内生産の廉価品でも8224,41ペソ(約2万円～)である。フィリピンの貧困層では年間の世帯あたりの貯蓄額が5000ペソ(約1万2000円) /年程度以下とされている(フィリピン中央銀行)ことから、価格的にも義足を購入する事は難しいと言える。リサーチで得た先行調査によれば、貧困層に属する膝下切断患者は、機会・価格の両面で義足の処方を受ける事が非常に難しく、よって、ただただ職を失い、更なる貧困に落ちるのみという現状の実態が浮き彫りとなっている。

また更に、同JICAフィリピン事務所によれば、これはフィリピン一国のみの現状というだけに留まらず、全世界の途上国およびルーラルエリアにて同様の状況を呈すものであり、また紛争地域や地雷原などでは、より深刻な状況であるとのことで、一刻も早い解決が望まれるとのことであった。

本プロジェクトではこの現状に鑑み、3D スキャン・プリント技術を用い、膝下義足適合患者の患部と健側の両足の 3D スキャンを行い、患部と合致する形状にソケット形状のフィッティングを行い、義足を作成するという、製作が非常に簡易で低価格の義足製作のソリューションを開発する事によって、この問題の解決を行おうとするものである。

⑵ プロジェクト全体の目標等

本プロジェクトでは上記スコープにて、３D プリンタ義足デザインの仕様の FIX を行い、それのデザインによる義足を制作可能とする義足用の３D モデリングソフトウェア、および３D プリンタからなる義足制作ソリューションの仕様 FIX を行うことを目的として、フィリピン・インド等の開発途上国ルーラルエリアでの義足製作ソリューションの実運用に関する調査・研究を行うことを目標とする。具体的には

・１本あたり 100US ドル以下(現行品の半額以下)の「膝下切断患者用義足」
・１セットあたり 2,000US ドル程度で販売可能な
　「義足製作環境(ソリューション)」

の開発のための調査として、実証実験を行った後、途上国現地におけるユーザーテストを行うものである。

４　プロジェクトの成果等

⑴　要約

3D プリント義足のデザインの商品化仕様 FIX に関して、実証試験の被験者確保が難航して事業中盤で一ヶ月半程度の遅延が発生したが、開発フローの変更等により遅延を挽回し、立位・歩行・階段昇降等の評価において、従来の義足と同等性能を達成。実用度の高い３D プリンタ義足デザインの商品化仕様を FIX する事ができた。

また、3D プリンタをインドにおける現地 CP である NGO、ヴィギャンアシュラムの協力のもと、実際にインドで調達可能なパーツを購入し、これらパーツを実際に用いて、この 3D プリンタのアセンブリ（製造組み立て）を現地で行って、現地 CP とともに仮出力を行うユーザーテストを行った。結果としては、本ソリューションで用いられる 3D プリンタは、本調査における想定ユーザーである現地 NGO スタッフにとっても、使用する際のユーザビリティ（使いやすさ）や、使用するためのオペレーション技術の習得は純分に可能であると検証できた。今後のインドにおける義足プロジェクトでの協働についても期待出来る。

また、前記デザインの FIX を受けて、日本およびフィリピン・インドの義肢装具士によるユーザー評価を開発と同時並行に行いながら、義足専用 3D モデリングソフトウェアの商品化仕様を FIX し、インドのソフトウェア会社に外注委託を行い、3D モ

デリングソフトウェアをおおよそ完成させた。

上記商品化が完成したソリューションにて、フィリピン科学技術省（DOST）における障害者支援プロジェクトとの連携、またフィリピンイロイロ州政府の障害者支援プロジェクトとの連携、またフィリピン国内装具センター2 カ所との連携の大凡の合意を得た。これら成果を元に JICA「中小企業海外展開支援事業　基礎調査」案件にアプライし、採択され、2016 年 6 月よりフィリピンにてフィージビリティ・サーベイを開始している。

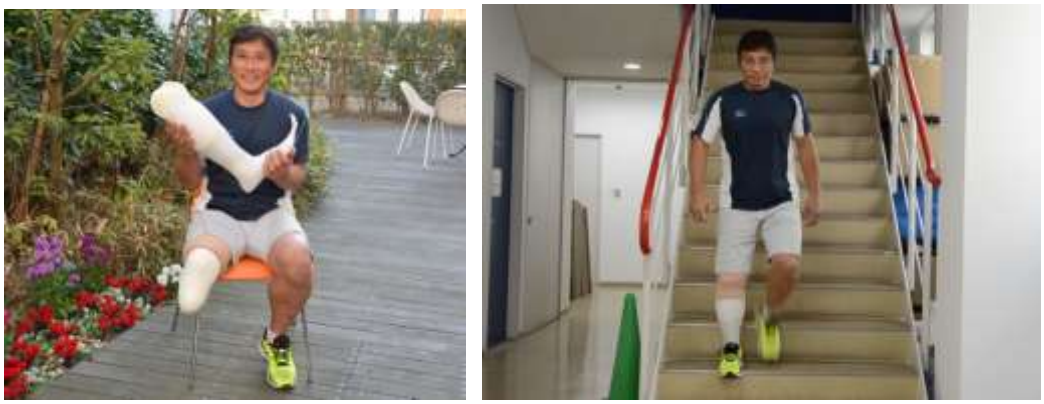

図１）完成した 3D プリンタ義足と、被験者によるユーザーテストの様子

(2) 本文

本プロジェクト開始当初、予定していた「10 人程度の被験者の確保」が難航した。この理由は、開発途上国であるフィリピンないしインドであっても、現地 CP となる義足製作所が保持している患者リストに載っている足切断・義足適用患者は、（義足製作所の客であるがゆえに）義足をすでに保有しており、実験に参加する意義が薄い、ということに依る。また更に、被験者候補者にヒアリングを行う中で、安全性試験が未完了の義足を装着して歩行等を行うことによって、

・断端の怪我（擦りむき・打撲など）に繋がらないか

・途中で３D プリンタ出力に義足が破壊して転倒などの事故に繋がらないか

などの心配があることも、被験者の確保を難しくしている事が分かった。

ヒアリング段階では「おもしろそうだから」と実験参加に好意的な態度をとっていた被験者候補者であっても、実際に装着する段になると装着テストに難色を示すケースが頻発し、被験者の確保が遅々として進まず、プロジェクト初期に調査が難航した。

また、事業計画当初予定していた開発手法は、一般的なデザイン開発に用いられるプロタイピング（試作）を繰り返すことによって開発を進める調査・開発フロー、

すなわち、まずはラフな試作を作ってそれを元に複数の被験者によるユーザーテストを行って、そこから得られたテスト結果・評価を元に更に修正版試作を行っていくことで、徐々に完成品に近づけていく、というものであった。しかし、この手法は複数の被験者を確保できることが前提のものであり、よって十分な数の被験者が確保できない状況下では、デザイン開発・調査を進めることができない事となる。

この問題の解決策として、上述の「ラフなプロトタイピングをユーザーテストによってブラッシュアップしていく」という開発・調査手法から、医学的根拠に根ざしたエビデンスをベースとした開発･調査を行う手法へのシフトを行った。すなわち、従来の義足制作にて蓄積された医学的なエビデンスを根拠に設計・シミュレーションを行って、従来品の義足とほぼ同等品であって、かつ従来品の義足と比較しても設計的・構造的に問題ないと考えられる義足を設計し、このような比較的安全な義足をもってユーザーテストを行う、という開発・調査手法である。

このような医学的エビデンスに根ざした開発手法にて義足デザインを詰めていくためには、義足に精通した医学の専門家の知見が必要不可欠となるため、ドクターであり義肢装具士である専門家をオブザーバーに迎えることによってこのような医学的知見を得て、開発を進めた。

図２）ドクターであり義肢装具士である専門家による 3D プリンタ義足の評価

このような「被験者の確保が難航」という問題の発生と、それによる「開発・調査手法のシフト」によって、当初計画されていたフィリピンの現地での実証実験が、状況的にもスケジュール的にも困難になった。しかしながら一方では、このような開発・調査手法のシフトによって、実証試験で使用する義足が医学的なエビデンスと言える設計根拠をもつ物となったことにより、プロジェクト開始当初は求められる信頼性が高いために依頼は不可能であろう、と想定していた日本人の被験者から、「医学的に根拠がある設計である」ということに安心感を覚えて、参加しても良いとの好意的な態度を向けていただけるようになった。
結果、本プロジェクトのための実証試験に参加していただける被験者を日本にて確保する事が可能となった。

この新しいデザインを用いた実証試験では、立位・歩行・階段昇降等、義足評価のほぼ全てにおいて、従来の義足と同等性能を達成し、非常に実用度の高い３Ｄプリンタ義足のデザインを得る事ができた。

図３）完成した 3D プリンタ義足デザイン

また、本プロジェクトで提案するソリューションでは、義足の 3D プリンタ出力を前提としているために、前記新デザインの 3D プリンタ義足製作を可能とする「低コスト義足製作専用 3D プリンタ」を、申請者が所属する慶應義塾大学の訪問研究員であり、3D プリンタの開発を行う企業の SHC 設計の代表でもある増田氏と協力して開発した。

従来の市販の 3D プリンタは、大きな出力範囲をもつものはコストが高く、義足に使用される柔らかい素材を出力することが可能なものは更にコストが高く、低コストなものは出力範囲が小さいという現状があり、新デザインが完了した時点では同義足製作を可能とする 3D プリンタが存在していなかったが、増田氏が開発した低コスト義足製作専用 3D プリンタにより、低価格での新デザインの義足製作が可能となった。

この新型 3D プリンタは、開発段階から途上国での使用を想定しており、なるべく多くの部品を途上国(フィリピン)にて調達可能なもので構成しているため(ローカライズ)、故障・トラブル時のメンテナンス性も高く、バージョンアップ対応なども容易である。本プロジェクトでは、インドにおける現地 CP である NGO の協力のもと、実際にインドで調達可能なパーツを購入し、これらパーツを実際に用いて、この 3D プリンタのアセンブリ（製造組み立て）を現地で行って、現地 CP とともに仮出力を行うユーザーテストを行った。

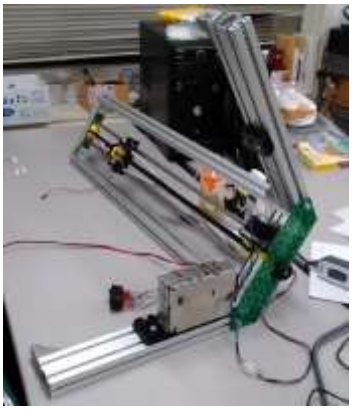

図４）インドで行った 3D プリンタのアセンブリの様子

結果としては、本ソリューションで用いられる 3D プリンタは、本調査における想定ユーザーである現地 NGO スタッフにとっても、使用する際のユーザビリティ（使いやすさ）や、使用するためのオペレーション技術の習得は純分に可能であると検証できた。このユーザーテスト中では、全体を通して参加者のモチベーションが高く（最先端の装置への興味からのものと思われる）、3D スキャンから 3D プリントまでの一連の動作を問題なく行え、ユーザビリティは問題ないことが確認できた。

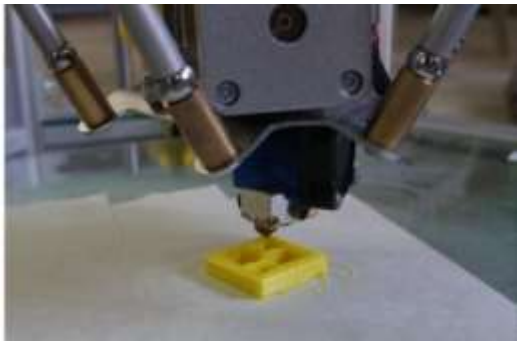

図５）完成した義足用 3D プリンタとテスト出力の様子

またこの開発の副次的成果として、３D プリンタを構成する各パーツをコンポーネント化して、非常に安易にアセンブリできる設計も完成させることができ、結果、各パーツを分解して梱包・発送可能な流通段階における優位性をもたせることにも成功した。

またさらに、計画段階では本プロジェクトのフォーカスに含まれていなかったが、義足デザインの FIX を受けて、それを制作するためのソフトウェアの作成も可能性が高まり、このソフトウェア開発のための諸活動も、プロジェクト中に行った。

前記本プロジェクトのオブザーバーとなったドクターであり義肢装具士である専門家を迎え入れたことにより、想定ユーザーである３Ｄモデリングソフトウェアを使ったことがない義肢装具士の意見を取り入れた開発が、より容易に可能となったことは、ユーザーテストを頻繁に繰り返しながらブラッシュアップしていく工程が非常に高速に回せるという事と同義である。
この結果、当初計画の開発フローよりも手戻りが少なく効率的な開発を行うことができ、義足ソフトウェアについてもおおよその仕様を FIX させることができた。

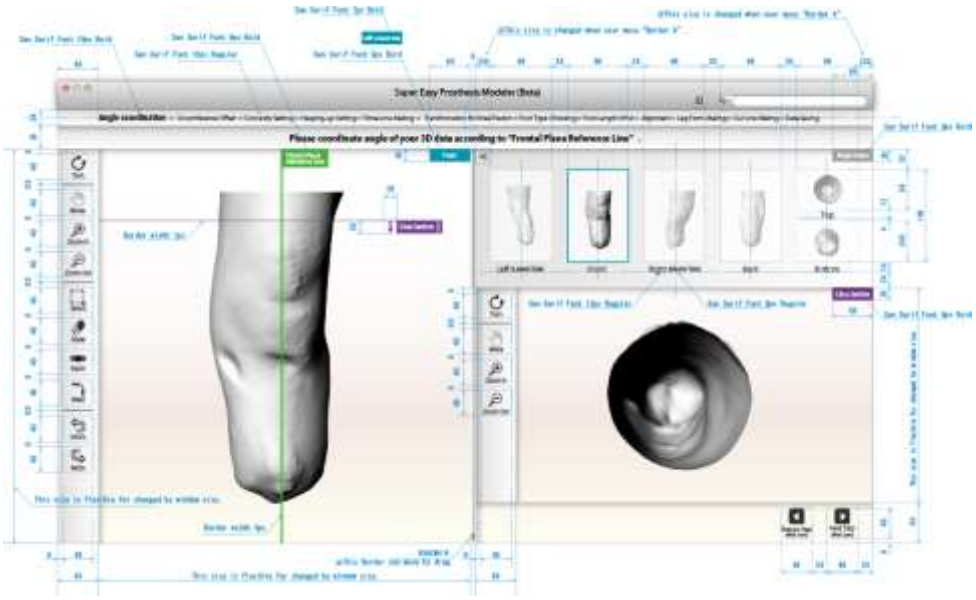

図６）義足モデリング用ソフトウェア仕様書（抜粋）

また更に、日本国内の義肢装具士だけでなく、インドおよびフィリピンの義肢装具士・ドクターにも同様に、開発段階より数度におけるヒアリング・ユーザー評価を行った。これにより、途上国ルーラルでも利用可能なインターフェースを得て、仕様を FIX することができた。

図７）インドの義肢装具によるユーザー評価の様子

このソフトウェアの発注先として、前記 NGO の紹介で、インド共和国バンガロール市の DTC 社への委託開発を行うことができた。結果的に 12 月 20 日から 2 月 29 日までの短納期での外注制作となってしまったものの、最終日 2 月 29 日にはβ版仮納品が行われた。このβ版による義足制作テストの結果、3D スキャンした患者断端データからの義足制作が想定通り可能となったことを確認できた。

ソフトウェアの開発はおおよそ問題なく進行したと言えるが、開発を進めるうちに幾度かの仕様変更の必要が発生し、追加費用の発生や、最終完成品の納入が 10 日程度遅延するという問題はあったものの、最終のソフトウェア完成品も 3 月 10 日に納品が行われ、本項目の開発も成功のうちに完了・達成した。

図８）ソフトウェア中間開発レビューの様子（DCT 社：バンガロール市）

(3) 途上国現地でのプロジェクト形成

また、本プロジェクトと並行して、本事業をフィリピン共和国にて実際にビジネス化することを前提として、JICA の民間連携スキームを用いた案件形成のための調整・活動を行った。具体的には、

・比国政府との調整（フィリピン貿易産業省（DTI）、科学技術省（DOST）と、JICA フィリピン事務所管轄の貧困削減などのプロジェクト形成のための諸調整）

・比国現場調整（フィリピンにおける病院、義肢装具センターなどでの調整など）

を行った。

結果、フィリピン科学技術省（DOST）における障害者支援プロジェクトとの連携、またフィリピンイロイロ州政府の障害者支援プロジェクトとの連携、またフィリピン国内装具センター2 カ所との連携について、大凡の合意を得る事ができ、この成果をもって、前記 SHC デザイン社を主体として、JICA「中小企業海外展開支援事業

基礎調査」案件での採択が決まった。2016 年 6 月よりフィリピンにてフィージビリティ・サーベイを開始している。

また、前記のインド共和国プネー市の、市民に科学技術を普及する目的で活動する NGO であるヴィギャン・アシュラムは、独自に筋電義手を開発するなどして、腕切断患者などを含めた障害者に対する活動を展開しており、今後の義足プロジェクトの協働についても協議中で、協力関係の発展が大いに期待できる。

図９）本ソリューションにてサンプルシュチュカ中の様子
（ヴィギャンアシュラム：プネー市）

(4) プロジェクト成果等の公表状況

・日経産業新聞に、一面トップ記事にて掲載（2016 年 1 月 4 日号）
・JICA によるプレスリリース（2016 年 2 月 22 日）
・ヤフーニュース（2016 年 2 月 26 日）等、インターネット媒体多数掲載
・国際学会 ICDF 2016（International Conference on Digital Fabrication）にて論文採択・発表（査読付き発表）

５　来年度以降の事業展開

(1) フィリピン市場

JICA 案件にてビジネス環境調査を行い、医療用装具製造システムとして、病院・装具センター、地元行政、FabLab など市民工房などに向け、全方位への営業活動を展開する予定である。

(2) インド市場

現地 NGO との協力関係のもと、義肢装具学校を中心に営業活動を展開する予定である。

(3) 日本市場

日本市場では全く新しい義足市場として、以下の図１０中の「これからの二本目の義足」市場に向けて、アーリーアダプターを中心に市場開拓を行う予定である。

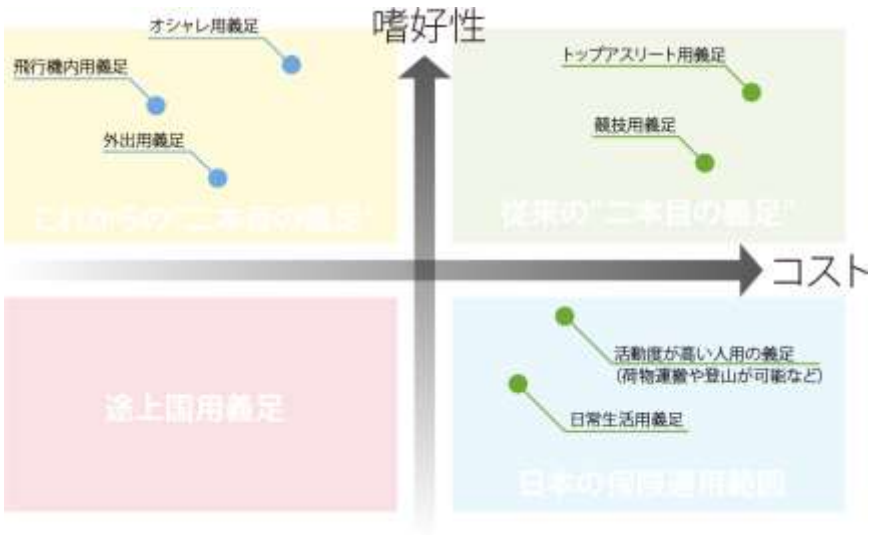

図１０）日本市場における新しい義足市場を示すマトリクス

さらに、航空会社との協働にて、防水・低価格の義足、また金属探知ゲートにてアラームがならない義足という強みを生かした新たなレジャー用義足として、旅行産業へのアプローチを展開する予定である。

平成	28	29	30	31	32
取組項目　年度	2016	2017	2018	2019	2020
・フィリピンのビジネス環境調査	→				
・フィリピンのビジネス展開	→	→	→	→	→
・インドのビジネス環境調査	→	→			
・インドのビジネス展開		→	→	→	→
・日本のビジネス環境調査	→	→			
・日本のビジネス展開		→	→	→	→
・プラットホームの整備		→	→		
・プラットホームビジネス展開			→	→	→

図１１）事業化・普及に向けたロードマップ

６　添付資料

以下を別添する

・成果報告会の資料

・日経産業新聞の記事の写し

・JICA プレスリリースの写し

・ヤフーニュースの記事の写し
・国際学会 ICDF 2016 (International Conference on Digital Fabrication)
採択論文

以上