

身近なところに革新技術

～自然に学び・自然を活かすモノづくり～

木戸 規雄

1. はじめに

夢のような21世紀を想像していた私達でありましたが、現実には「環境問題、エネルギー問題、資源の枯渇」等々といった事が大きく私達にのしかかっています。

これらの問題を解決する考え方の一つとして今、生物の多様な形態に学び、私達の技術やライフスタイルに、社会や生存戦略に生かそうとする取り組みが「バイオミクリー」「ネイチャーテクノロジー」「バイオメテックス」という名のもとに注目を浴びています。つまり「自然に学び、自然を活かそう」という考え方です。

私は、平成21年3月まで滋賀職業能力開発短期大学校電子技術科で指導員として勤務していましたが、定年後の再雇用先として平成22年に当校に開設された「人づくり・モノづくりの相談窓口」である地域連携室に配属されることになりました。

ここでは「企業のモノづくり連携・支援」「モノづくりを通じた地域との交流」といった事を主な仕事としていましたので県内の企業や事業主団体等との関係も年を追うごとに深くなり、県内で活動されている環境・エコ・新モノづくり等に関係した研究会から誘いを受けて参加をさせて頂いておりました。

本稿では、私がこれらの研究会等に参加するようになった経緯と、ここで学んだ「バイオミクリー」や「ネイチャーテクノロジー」から生まれた身近な革新技術の紹介、そして実践例としてこれからのモノ

づくりの方向ともいわれる「新・モノづくり」手法とバイオミクリーとのコラボレーションによって試作した「自転車を着装する事で容易に水上自転車として利用できるフロート部(以下:フロート部)」について報告いたします。

2. 滋賀県で始まったバイオミクリーの取り組み

滋賀県では平成20年から滋賀経済同友会が政策の一つとして「企業と生物多様性の研究会」「自然に学ぶ経済の研究会」を発足し、私達が抱える環境やエネルギー、資源の問題の解決に向け勉強会を進めてきました。

また、平成23年10月には滋賀県立大学の副学長仁連孝昭教授や近江八幡商工会議所の会頭で滋賀経済同友会の特別幹事でもある秋村田津夫氏らが中心となって進められていたNPO法人アスクネイチャー・ジャパンが近江八幡市に設立されました。

この団体は、産官学民が協働して自然の知恵から



図1 連携協定調印式 (出典：近江八幡商工会議所)

学ぶ地域社会づくりを目指したもので、私も呼びかけ人の一人として参加しておりました。

当日行われた調印式にはバイオミクリー研究所(米国)、滋賀県立大学、近江八幡市、滋賀経済同友会、滋賀職業能力開発短期大学校等の八団体が出席して連携協定に調印し、当校からは当時の校長である室伏誠氏が調印書に署名を致しました。

このように滋賀県ではアスクネイチャー・ジャパンを中心に「自然に学び、自然を活かす」勉強会や研究会が多く、専門家を招き進められています。

2.1 バイオミクリーとは

バイオミクリー (Bio Mimicry) とは、生物の機能を模倣することで新しい技術を生み出す学問の事をいい、同じ意味を持つ言葉に「バイオミメティクス」という言葉も有ります。

生物を模倣して開発された代表的な例としては面ファスナーがあります。「引っ付き虫」と呼ばれるモナミの仲間の種子の構造であるかぎ状の針でひつつく仕組みを真似ていて、誰もが使ったことのあるポピュラーな製品です。

また、自然を科学の眼で観て、人間にとって必要なものをリ・デザインする事によって地球環境負荷をととても小さくする事が出来る、まったく新しい暮らし方を提案しようとする技術が「ネイチャーテック」と言われるものです。

例としては、建物をアリ塚のような構造にする事によって空調に使うエネルギーを従来の10%程度に抑える事に成功したジンバブエの複合商業施設などが有名です。

これらからも判るように30数億年の進化を経た生物は、わずか数百年の歴史しか持たない近代科学技術が及ばない知恵や仕組みを持っています。しかもそれらは私達が現在抱えている環境やエネルギー、資源の問題を解決出来ると考えられる技術なのです。

物理や化学の基礎研究における大きな発見は20世紀中に一段落し、現在は基礎理論における大きなブレークスルーは得られなくなったといわれています。この状況の中で生物模倣は原理面で製品や技術

のイノベーションを進める有効な手段となっています。

2.2 バイオミクリーと私の関わり

職業訓練指導員の私が何故バイオミクリー等の研究会に参加していたのか？不思議の思われる方も多いと思います。それにはこんな経緯が有ります。

私は、当校の電子技術科一期生の卒業研究(現：総合製作実習)の課題として「自前の制御システムを搭載した手作りソーラーカー」の開発を掲げ、何時かはオーストラリア大陸縦断3000kmレースに挑戦して完走したいという夢を学生やOB達と共有して活動を続けて来ました。

その夢の実現までには7年間という長い歳月を要しましたが学生やOB達の頑張りと、開校して間もなく歴史も何の実績も無かった当校ソーラーカーチームの夢を実現させてやろうという地域の方々、地元の企業、事業主団体等々からの支援によってその夢は平成11年10月に叶えさせて頂く事が出来ました。

図2は、アデレードのフィニッシュゲートをバックにして撮影をしたものです。(左端は筆者)

そして、翌年の平成12年から始めたのが「ご恩返し産学連携」でした。

この「ご恩返し産学連携」とは、私達の夢の実現に支援して頂いた方々に、今度は支援して頂いた方々がお持ちの夢の実現に少しでも手伝いをさせて頂こう、地域に貢献しようというものでした。

しかし、手伝いできる内容はソーラーカーの開発



図2 歓喜に沸くメンバー達

で生まれた技術とその応用のみという限定的なものでしたが、多方面からお声をかけて頂き平成23年までの11年間に各種の団体や企業とで10のテーマで産学連携を行いました。

代表的なものとして平成15年に近江八幡商工会議所からの依頼で開発した「ソーラー和船」と平成23年に滋賀経済産業協会の依頼で試作した「おうみ発の電気自動車エコ・ナマズ号」が有ります。

図3は、進水式当日マスコミ関係者を乗せて水郷を航行するソーラー和船で、開発に関わった女子学生が舳先に乗り案内役を務めています。

また、図4は当時の嘉田由紀子滋賀県知事（写真中央）が「おうみ発の電気自動車」に試乗してみたということで滋賀経済産業協会電気自動車プロジェクトの皆さん共に当校に来られた時の写真です。



図3 水郷を航行するソーラー和船
(京都新聞社提供)



図4 嘉田知事とエコ・ナマズ号

その他にも企業がお持ちの夢を実現するため、卒業研究や当時は機構の事業として取り組んでいたF方式（事業主団体研究会方式）通してお手伝いさせて頂いておりました。

このような事に取り組んでいるうちに各種の団体や企業から「一緒にやってみませんか？とか、意見を聞かせてもらえませんか？」とお声を頂くようになり、ご恩返しの産学連携とは直接関係が有りませんでした。地域連携室の担当者としてバイオミクラーやエコ関連の団体に出させて頂き、錚々たる専門家の中で学ばせて頂くようになったのです。

3. 身近な革新技術

バイオミクラーによって生まれた技術や製品は、我々に身の回りに多く存在します。ここでは「自然から学んだ革新技術」と「自然を活かしたエコ技術」の例を紹介します。

3.1 自然から学んだ革新技術

3.1.1 ハスの葉の撥水作用を模倣

私達の生活で使用されている身近な例として超撥水性を持つ塗料が有ります。ドイツのSTO社はハスの花のナノ構造を真似ることで建築用の外装用塗料を開発しました。

蓮の葉の表面を顕微鏡で拡大してみると、表面には大きさが数ミクロンの凹凸があり、更にその表面に数百分の1ミリの突起が均一に並ぶ微細構造となっています。この微細構造により水は潰れることのない丸い球体となり（超撥水性質）、更に表面に付いたゴミなどの汚れを取り込みながら流れ落ちていきます。

図5はハスの葉とコンピュータグラフィックスで描かれた微細構造で、この構造を模倣する事で撥水作用が生まれたのです。

3.1.2 ヤモリとヤモリテープ

近い将来私達の生活の中で使用されるようになると思われる面テープを紹介します。私達はヤモリが壁や窓にくっついている姿をよく見かけます。



図5 ハスの葉とその微細構造

(画像左) 大賀ハス, おおたむすねイク探検隊, CC BY-SA 2.5
 (画像右) CG of Lotus effect, W. Thielicke, CC BY-SA 4.0

このヤモリの接着の仕組みが解明されたのは平成12年の頃です。電子顕微鏡でヤモリの指先を観察したところ、足の裏に細かな毛が1平方メートル当たり10万本から100万本の密度で密生しており、さらに先端が何百本に分岐した構造を持つが判りました。また、先端の分岐した毛の密度は1平方メートル当たり10億本以上となり、この細かな毛の1本1本が、対象物に極めて近い距離まで接近するため、原子や分子間に働くファンデルワールス力によって接着する事が判明しました。

図6はヤモリの足を順次拡大して撮影された微細構造です。この構造を模倣して開発されたのがヤモリテープと言われるもので、平成20年に米国の研究チームがカーボンナノチューブを用いて再現し、僅か4ミリ角の「面ファスナー」をガラスに張り、650グラムのペットボトルのジュースをぶら下げる事に成功したことを米国の科学雑誌サイエンスに発表しました。

日本では、日東電工(株)らが開発を進め平成24年から特殊な用途で実用化されています。

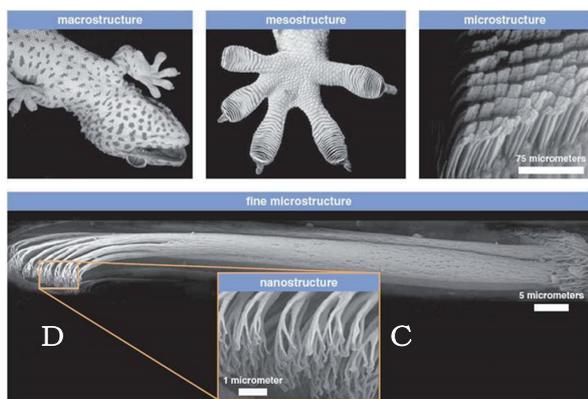


図6 ヤモリの足とその微細構造

(画像) Micro and nano view of gecko's toe, K. Autumn, CC BY-SA 3.0

図7は、ヤモリテープの微細構造です。以上は身近に有る製品と近い将来身近に利用されるようになると思われる製品について紹介しました。

他にもカワセミの口ばしの形状に学んだ500系新幹線の先頭車両や同じく新幹線でフクロウの風切羽を模倣する事で騒音を低減させたパンダグラフなどがありますが、これらは生物の形状や構造から学んだことに、最新の科学技術やモノづくり技術を融合させることで生まれた革新技術なのです。

3.2 自然を活かしたエコ技術

「自然を活用したエコ技術」として平成15年に当校の電子技術科と滋賀県中小企業家同友会とでプロジェクトを立ち上げ取り組んだEPS (Energy Pack System) を紹介します。

このシステムは、身近に有りながら余りにも小さいことから今日まで見捨てられていたような自然エネルギーをマイクロ風力発電機やマイクロ水力発電

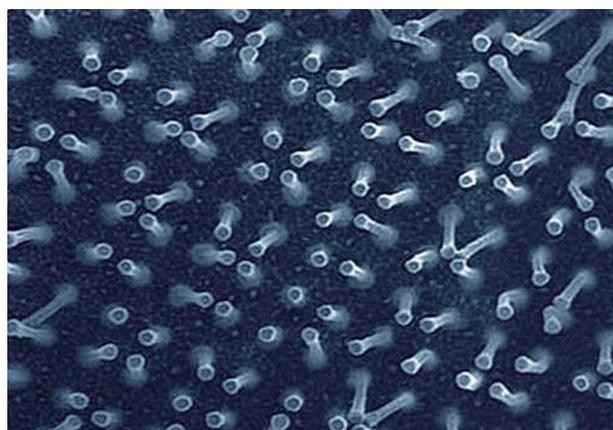


図7 ヤモリテープの微細構造

(画像) Micro view of Gecko Tape, A. K. Geim, CC BY-SA 3.0

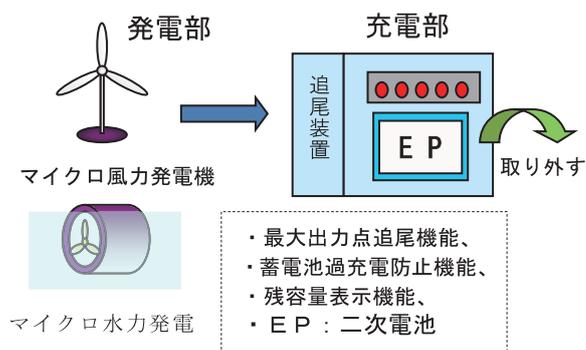


図8 EP充電部

機等を用いて電気エネルギーに変え、一旦二次電池 (EP) に充電すること利用価値のある柔軟な電源とすることを目的としたものです。

EPSは、EP充電部とEP電源部とで構成しています。図8はEP充電部の概要で、図の中の発電部は各種のマイクロ発電機です。

充電部は、最大出力点追尾装置 (以下：追尾装置) を用いてマイクロ発電機から効率よく電力を取出し、EPに安全に充電するための機能を具備したシステムです。

図9はEP電源部で、充電部で充電されたEP取り外して電源部にセットする事で小型民生機器や端末機器などの電源として使用できるように工夫したアダプタです。利便性・安全性と質の良い電源として使用できるように図の中に示す各種の機能を具備しています。

追尾装置とは使用条件下において動作している発電機から最も効率よく電力を取り出す装置の事です。

図10は追尾装置の優位性を確認するために市販の

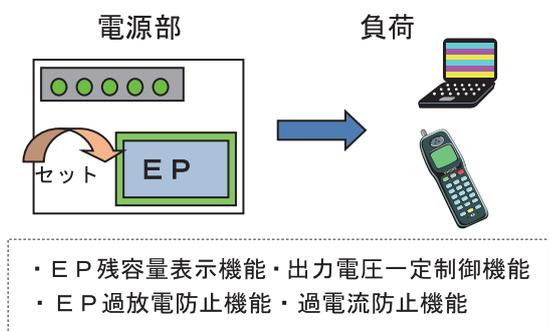


図9 EP電源部

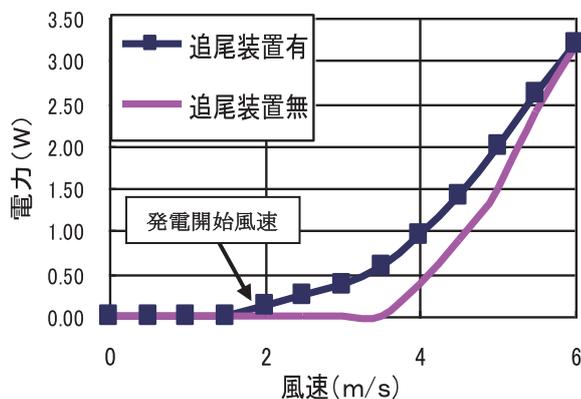


図10 追尾装置の優位性

マイクロ風力発電機を実験用に改造して簡易風洞で行った比較実験の結果です。

図10が示すように追尾装置を具備したシステムでは発電開始風速が低くなり、2m/秒から6m/秒の風速領域における発電力の向上が確認できます。このことは自然界や身近に存在する低風速領域の風から効率よく電力を取り出せる事を示しています。

プロジェクトでは、マイクロ水力発電やマイクロ太陽光発電についても専用の追尾装置を開発し、評価を行いました。

中でも水力発電用追尾装置を具備した雨水発電システムは注目を浴び、当時のBS1世界の経済最前線「身近な水力発電」で取り上げられました。しかし、その頃は「そんな小さなエネルギーどうするの?」という時代でもありましたので目指していた製品化には至りませんでした。10数年を経た今、EPSは「自然を活かすエコ技術」の一つとして利用できるものであると考えています。

4. 新モノづくりの手法によるフロート部の試作

当校の所在地でもある近江八幡市には重要文化的景観第1号に指定された水郷地帯が広がっています。この水郷観光にレンタサイクルを利用して来られる方も年々増えていることから、私は乗ってきた自転車をそのまま固定する事で容易に水上自転車として使用できるフロート部の開発を近江八幡市の商工会議所に提案していました。

その頃、アスクネイチャー・ジャパンが人間の関節の軟骨を模倣した高効率のベアリング (軸受け) 装置「Bio-Star (バイオスター)」を開発された熊本大学大学院の中西研究室に呼びかけ、滋賀県内の産学分野に紹介し、製品化への共同研究者などを募ろうと「Bio-Star」を採用したマイクロ&クラスター型河川流発電システムの公開実験を行いました。

早速、公開実験場に向き中西教授らから特徴や性能の説明を受け、そこで思いついたのが生物模倣で製作された軸受けと3Dプリンタによって製作したスクリュとを組み合わせた推進装置、つまり「バイオミクラー」と「新モノづくり」手法をコラボ

レーションさせたフロート部の試作でした。

試作に当たっては、アスクネイチャー・ジャパンからの提案も有り、中西教授のBio-Starと当校の持つ設計・加工・組み立て・調整の技術・技能とを融合させたモノづくり手法で取り組むことにしました。

4.1 新モノづくりとは

近年「3Dプリンタ」が急速に注目を集めていますが、その本質は、プリンタそのものではなく「デジタルデータから直接様々な造形物を作り出すこと」にあるといわれ、デジタル製造技術の発展を一気に加速する点にあると言われていています。

このデジタルデータから直接造形物を作り出すモノづくりが「新モノづくり」と言われるものです。

4.2 「Bio-Star」とは

「Bio-Star」とは、先にも述べたように人間の関節の軟骨と同様の仕組みを軸受けに使い、低摩擦、高効率のベアリング（軸受け）装置の事を言います。

生体関節は、関節軟骨が摩擦面で関節液が潤滑油として働くことで摩擦係数が0.001~0.01と非常に小さく70年以上にわたる耐久性があります。

この機能・特性に学び中西教授が開発されたのが「Bio-Star」(Biomimetic System for Tidal power generation learned from Articular cartilageの略)と呼ばれるもので、特徴としてはオイルフリー防水機能付き軸受けです。

図11は生体関節を模倣した「Bio-Star」のイメージ図です。図11の生体関節軟骨には親水性多孔質材

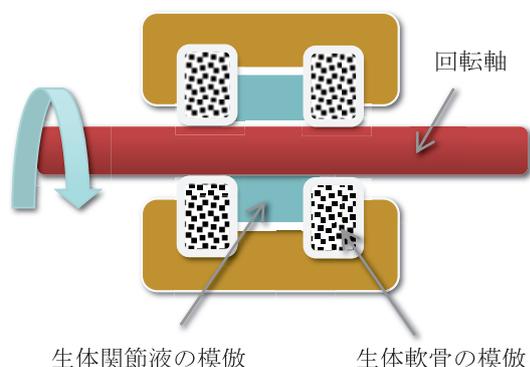


図11 Bio-Starのイメージ
(出典：熊本大学大学院中西研究室)

料を用いて、生体関節液には水溶性の潤滑液を用いています。

この潤滑液は非ニュートン性を持っていて、幅広い作動領域で低摩擦・低摩耗を実現しています。

4.3 フロート部の構成と試作

フロート部の試作に当たってはコーディネートを地域連携室が行い、設計・製作は当校生産技術科の戸田講師とそのゼミ学生の総合製作実習の課題として取り組みました。

以下に述べる試作過程や航行実験、そしてこれらについての考察は戸田講師からお聞きしたものをまとめたものです。

フロート部は、浮力を得るフロートと車輪の回転力をスクリュに伝達する推進装置、自転車のハンドルを切ることによって進行方向を変えるかじ取り装置で構成しています。

フロートは、安全性の確保と十分な浮力を得るために市販されている水上自転車のフロートを流用し、かじ取り装置はハンドルと連動させてスクリュ自体の方向を変えられるように工夫しました。

自転車の脱着は、前後輪ともに自転車のハブシャフトを延長し、このシャフトに荷重がかかった時に食い込み勝手となるように加工してフロート側に取り付けた固定金具の溝に挿入する事で容易に行う事が出来るようにしました。またペダルをこいだ時の車体の安定性を確保するためにパイプフレームの中央が支持できるような金具をフロート部に具備しました。

今回の試作の最重要部となる推進部は、スクリュと、車輪の回転をスクリュに伝える駆動装置とで構成しました。

スクリュの設計と製作については、使用するに適した形状・サイズの市販品を入手して荒い精度で計測しながら3DCADでモデリングし、そのデジタルデータを3Dプリンタに入力して造形するという手法をとりました。

使用材料は、物性値が高いABS Plusを用い、中までぎっちり詰めるソリッドとして造形を行いました。

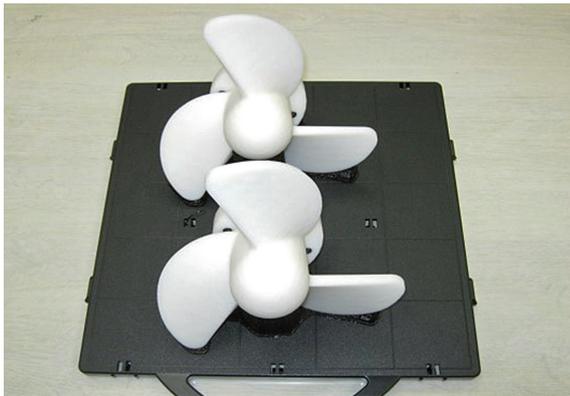


図12 造形したスクリュ

図12は17時間を要して造形したスクリュです。

図からも判るようにスクリュの羽根が厚く造形されています。これでは十分な推進力が得られません。

この様な形状になる事は、当初から判っていたのですが、3Dプリンタで実用部品を製作した経験が無かったことから物性値の許容応力の限界まで薄くすることは危険であると判断したからです。

また、造形精度についてもZ軸は0.25mmの積層ピッチとなり、切削加工に比べて精度が荒い事、熱による収縮、重力によるダレ、積層の為荷重のかかる方向で強度が変わるなどの問題点が推測されたことから、造形後のスクリュの様子を見ながらリユータ等を用いた手仕上げによる調整を行って形状を詰めていこうと考えていました。

3Dプリンタによる初めての実用品の製作でしたが、製作を通して強度の方向性、形状の収縮予測等の解析技術の必要性を強く感じており、今後の技術進歩に期待したいと思っています。

今回の試作では当校に3Dスキャナが配置されていないため採用できませんでしたが、造形については最適形状のスクリュを3Dスキャナ（非接触式）で計測してデジタルデータ化し、そのデータを3Dプリンタに入力するというリバースエンジニアリング手法を用いる方が有効であったと考えています。

次に推進機構の製作です。図13の (a) ように推進力はタイヤ①に押し付けたローラー②からタイヤの回転力を動力として取り出し、チェーンを介してすぐばかさ歯車③を回転させています。この回転力はカップリングでつないだ軸によって垂直に伝わ

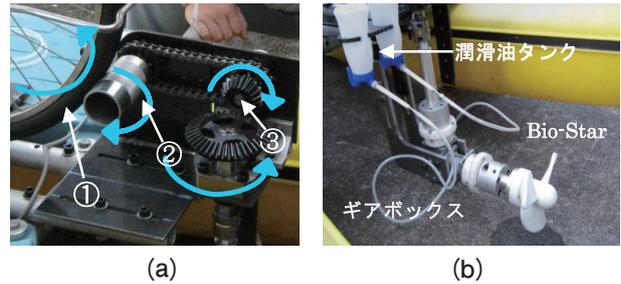


図13 推進機構

り、水中にあるギアボックスを経由してスクリュが回転する機構となっています。

図13 (b) は、ギアボックスと2組の「Bio-Star」で構成したスクリュ回転機構です。ここでは「Bio-Star」がベアリング機能と共に水中にあるギアボックス内への水の浸入を防ぐ役割も担っています。また、図13 (b) 中の潤滑油タンクには補給用の潤滑液であるヒアルロン酸が入っています。

5. フロート部の航行実験

実験は、近江八幡市の水郷「西の湖」においてアスクネイチャー・ジャパン関係者やマスコミ関係者が見守る中で行いました。

レンタサイクルを搭載したフロート部は通常の自転車をこぐ程度の強さで約3ノットの速度が得られ水面を滑らかに航行する事ができました。図14は学生が操舵して航行する試作機です。

自転車の後輪とスクリュとの増速比やスクリュの形状、寸法などの最適化を行えば数ノット以上の航行が可能であると考えています。

また、試作した推進機構の耐久性やメンテナンス



図14 軽快に航行するレンタサイクル

性についての評価は今後の課題となりますが「新モノづくり」と「バイオミクリー」とのコラボレーションという前例のない取り組み（実践）に挑戦できた、と試作に関わった学生共々認識しています。

「Bio-Star」は環境を汚染しない事、防水機能、潤滑性に優れていることから大変使い易い軸受けでした。同様の機構を従来のモノづくり手法で製作した場合には水没する推進機構の防水を満たす事が難しかったと推測しています。

6. おわりに

バイオミクリーやネイチャーテクノロジーから生まれた革新技術は、気づかないうち私達の生活の中に取り入れられ、省エネルギーや省資源また利便性の向上に寄与しています。

しかし、「模倣」するにしても「リ・デザイン」するにしても近代科学の進歩や伝承されてきた技能や技術があったからこそ実現できた製品や技術であることを認識しておかなければなりません。

平成26年に経済産業省から出された「新モノづくり研究会」の報告書を見ると3Dプリンタをはじめとする付加製造技術は大きく二つの方向への発展をするだろうと示されています。

その一つは精密な工作機械としての発展可能性と今一つは個人も含めた幅広い主体のモノづくりツールとしての可能性です。

前者では設計・試作工程の短縮や削り加工に比べて材料の無駄が出ない等といったモノづくりのプロセスの革新があげられ、後者にはアイデアの実体化や即興性に着目した発想段階における活用、ネットワークとの相性が良い事からソーシャルメディアの発展などと相まってオープンな環境での新たなモノづくりの可能性を示唆しています。

つまり、個人による自由なモノづくりの可能性を拡げるFabLab (fabrication laboratory)^{注1)}と言われる工作機械を備えたワークショップの普及です。

このようにモノづくりが大きく変革する時期をむかえる中で、モノづくりやモノづくりが出来る人材を育成する我々職業訓練指導員は何をすべきか？自

分に問いかけてみました。

デジタル技術によるモノづくりが人の手によるモノづくりと融合すればそれは産業革命であり、第3次産業革命は今起こりつつあるといわれています。

FabLabは、その例でモノづくりは大企業でなくともできるようになり、モノづくりの考え方自体将来的には大きく変わってきます。

しかし、このような中においても「人の手によるモノづくり」があり、職業訓練を受けた人の多くはそこに関わるのであろうと私は思っています。

モノづくりは地球に対して環境負荷をかけていることは間違いのない事実です。

今、革新技術と言われるものの多くは地球上に住む生物の長い進化の過程で生まれてきた知恵や仕組みから学んだものです。

ですからモノづくりを教える我々は、今日まで継承されてきた技術や技能と共に「地球環境や生物」そして「バイオミクリー・ネイチャーテクノロジー」といった自然に学び自然を活かす考え方や技術を学べる教科や実験課題をカリキュラムの中に加え、少しでも環境に負荷をかけない「モノづくり」の手法を考えて実践できる人材の育成を目指す必要であると考えます。

そしてこの事が21世紀の職業訓練を担当する我々の使命の一つであるような気がしています。

<参考文献>

- 1) 滋賀経済同友会「新モノづくり」研究会資料 (2013.5)
- 2) 滋賀職業能力開発短期大学校紀要 第18号
「脱着式水陸両用自転車」の設計・製作 戸田将弘
- 3) MAKER-21世紀の産業革命が始まる。NHK出版
- 4) 熊本大学大学院中西研究室「Bio-Star」
滋賀職業能力開発短期大学校向け資料
- 5) 「新モノづくり研究会」報告書経済産業省 (2014.2.21)
- 6) バイオミクリー研究所「ガイドブック」

注1) Fab Lab : デジタルからアナログまでの多様な工作機械を備えた、実験的な市民工房のネットワーク。