

宮大工の技術的暗黙知の多角的保存と可視化 -Human Computer Interaction 技術を用いた伝統技術の継承-

Preservation and Visualization of Carpenter's Technical Tacit Knowledge
-Succession of Traditional Techniques with Human Computer Interaction-

小島尚之¹・山田悟史²

Naoyuki Kojima and Satoshi Yamada

¹ 立命館大学大学院 理工学研究科環境都市専攻 博士課程前期課程 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Ritsumeikan University

² 立命館大学 理工学部 建築都市デザイン学科 任期制講師・博士 (工学) (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)
Lecturer, Dept. of Architecture and Urban Design, Ritsumeikan University, Dr. Eng.

At present, one of the problems in Japanese building industry is decrease and aging of the carpenter population. Especially, “Miyadaiku” who are carpenter connected with temples and shrines have the most serious problems. Therefore, it is necessarily to make new indicator to learn Miyadaiku's techniques. In this research, we verify the effects that three kinds of carpenter's tools (Dai kanna, Nokogiri and Yari kanna) affect Miyadaiku from three points of view (muscle strength, motion posture and gaze point). Through this verification, we investigate Miyadaiku's delicate skills that they do instinctively.

Keywords: Carpentry, Tacit knowledge, Traditional techniques, Technology succession

1. はじめに

現在、日本の建築業界が抱える問題の1つに、大工人口の減少が挙げられる。野村総合研究所による調査¹⁾では、大工人口が2030年までに21万人となり、大工1人あたりの労働生産性を1.4倍まで向上させなければ新築住宅の需要に追いつかないことが指摘されている。その要因の1つとして、師弟関係と表される伝統的な技術継承の形式にも課題が挙げられる。現在の技能伝承には現代に合わせた様々な工夫がなされているが、「見て習う」「聞いて習う」という文章や言語を用いた技術の伝達形式では、習得までに多くの時間を要するのが現状である。とりわけ、宮大工の人口減少・高齢化は顕著であり、将来的には寺社仏閣の保全や改修の際に深刻な人手不足に陥るといった問題が表れる。中島らの研究²⁾では、宮大工の技能は「道具の使い方」を始めとする8種類に大別され、全ての技能を修得し、棟梁として独立するには家大工の約2倍にあたる約8年を要するとされている。

このような現状に対して、人の手に宿った技術を機械化する試みが多数行われている。大工の木材加工技術を機械化する取り組みとして、加戸ら³⁾は複雑な軸組をロボットアームで加工することを念頭に、軸組の成形プロセスをデジタルとしてアーカイブ化を試みている。このような、職人の技術を機械化する取り組みは、高品質な建造物を将来も維持するために必要な試みではあるが、人は優れた機構・センサー・自然知能を有していること、宮大工の動作における繊細さ・複雑さをふまえると、人から人への技術継承は今後も取り組むべき重要な課題である。これは建造という意味だけでなく、ある時代に存在した優れた職人の感覚を歴史として後世に伝えるという意味でも重要である。しかし、そのためには、現状の文章・図面・実物を用いた技能継承をより高度にする必要があるのが実情である。

この「人から人への技術継承」を実現する上で参照可能な関連分野として Human Computer Interaction 分

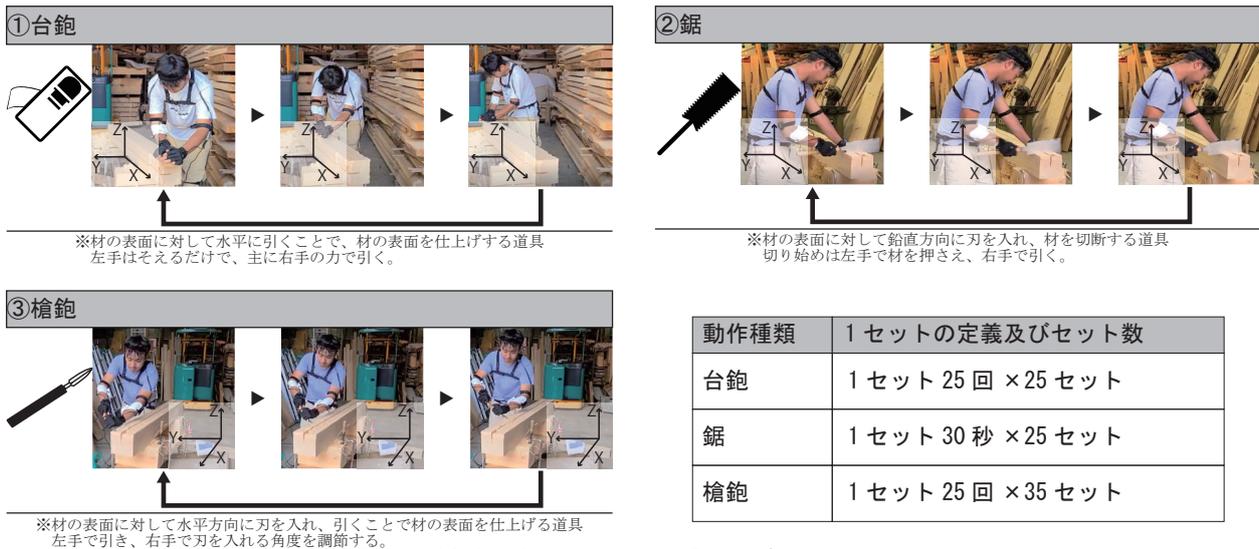


図1 対象とした3動作及び取得したデータセット数

野（以下、HCI分野）が挙げられる。この分野は、人間がコンピュータをより快適に利用することや、コンピュータによって人間の生活をより豊かなものにするといった、人間の行動・動作と情報技術の相互関係に関する研究分野であり、工業デザインや認知科学、心理学などに関わる学際的分野である。HCI分野と大工動作を関連付けた研究として、筆者ら⁴⁾は大工動作における力加減の差異に着目し、主要な6種の動作を対象に、筋変位センサと3軸加速度センサによる数値化・可視化、経験者・未経験者の動作分類を実施することで、伝統技術の保存可能性を検証した。しかし、宮大工の動作は単一の動作ではなく、材の種類や周辺環境に応じて使用する道具や動作を決定しているということをつまえると、動作のデータを保存する上で、力加減以外にも様々な要素を考慮しなければならない。

そこで本研究では、動作とともに、使用している宮大工の道具にも着目し、3種類の道具について、被験者が普段から使い慣れている道具と、そうでない市販の道具でそれぞれ動作を実施してもらう。その際、3種類のデバイスを装着した状態で各動作を実施し、データを取得する。そのデータを基に3種類の観点から数値化・可視化を実行することで、宮大工の新たな技術指標作成を試みる。

2. 研究方法・目的

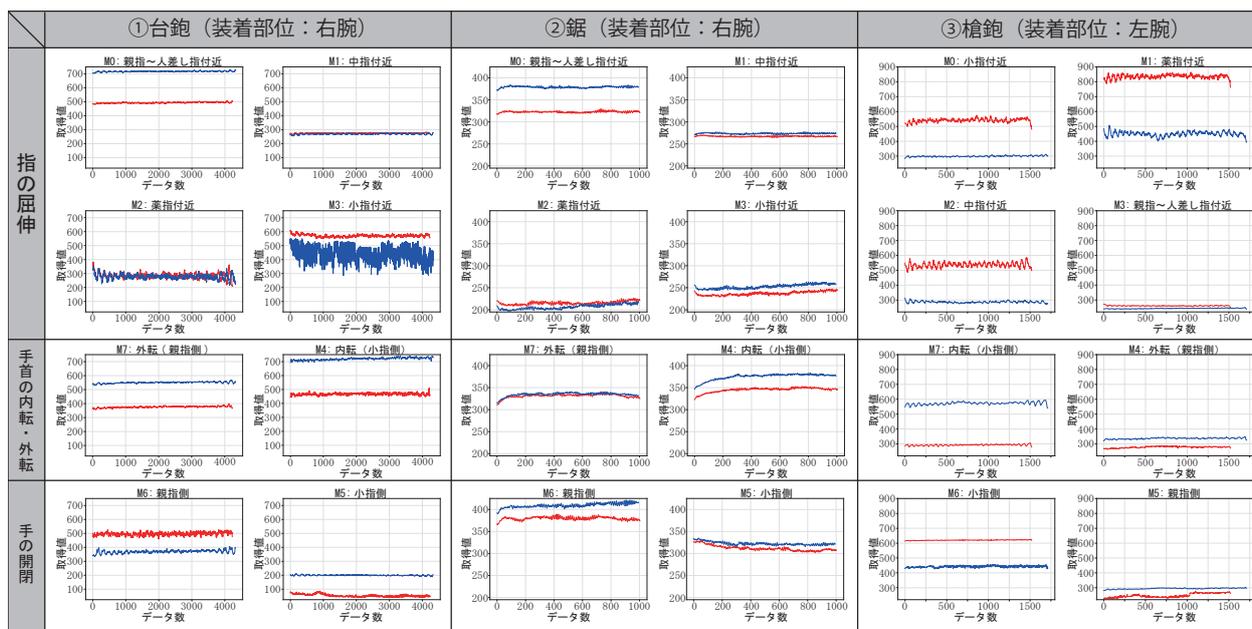
被験者（男性・宮大工歴7年）との相談のもと決定した、3種類の大工道具の主な用途と動作の概要、それぞれの動作におけるデータ取得の様子およびセット数、加えて動作姿勢における座標軸の方向を図1に示す。本研究における各動作のセット数については、宮大工の疲労や集中力を考慮した上で分析に必要な十分なデータ数として設定している。

実験条件として、被験者が普段から使用している道具と、市販の道具とで大きさはほぼ同じものを用意した。加工する材はヒノキ（約150mm×約150mm×約1700mm）で、台鉋と槍鉋では材を端から端まで加工することとなる。また、加工するにつれて材の表面が徐々に変化していくことから、手押し鉋を適宜使用し、表面を滑らかな状態に保って動作を実施した。材を設置した高さは、被験者が動作を実施しやすい高さとなっている。

本研究では、被験者に「力加減・動作姿勢・注視点」を計測するための3種類のデバイスを装着した状態で各動作を実施してもらい、各動作での時系列データを取得する。これらのデータセットを基に、使い慣れた道具と市販の道具での動作の差異を可視化することで、宮大工が無意識に実行している技術を特定することが本研究の目的である。以下に、使用したデバイスの特性および本研究での分析対象について記載する。

(1)力加減による分析

各動作における力加減の差異を確認するために、筋変位センサが内蔵されたデバイス⁵⁾を使用した。筋変位センサとは、肌の表面に特殊な光を当てることによって筋肉の微妙な伸縮を検知するものであり、同じデバイスを用いて、細野ら⁶⁾は手指で行われる簡単なハンドジェスチャの分類に成功している。デバイスには



■普段から使用している道具 ■市販の道具 ※X軸は各セット数ごとに取得されたデータ数を示している ※Y軸はセンサの取得値(0～1024)を示している
 図2 平均値プロット(力加減の分析)

筋変位センサが8個(M0～M7)搭載されており、M0～M3は指の屈伸、M4とM7は手首の内転・外転、M5とM6は手の開閉についてのデータをそれぞれ取得する。このデバイスを、各動作で主体となる側の前腕(台鉋：右腕、鋸：右腕、槍鉋：左腕)に装着することで、装着した側の指の屈伸や手首の内転・外転、手の開閉といった動作を認識し、数値化することができる。

本研究では各センサの取得値から平均値プロットを作成し、道具を持ち替えたことによる力加減の変化を視覚化する。これにより、各道具において宮大工が感覚的に力を入れている部位をそれぞれ特定し、暗黙的に継承されてきた動作の特性を明らかにする。

(2)動作姿勢による分析

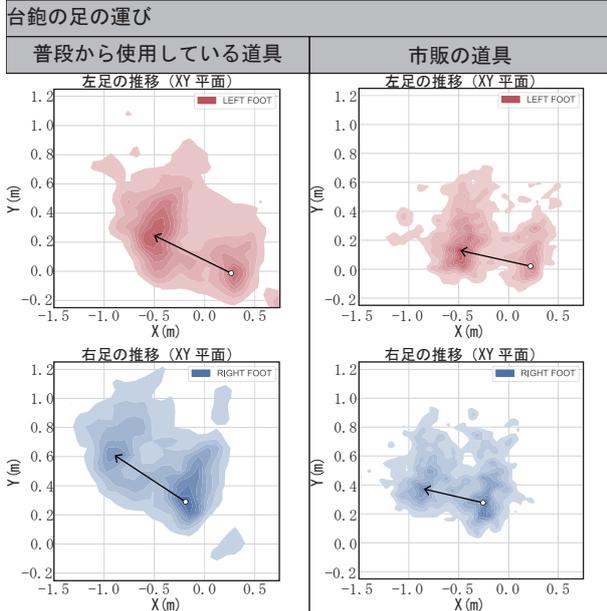
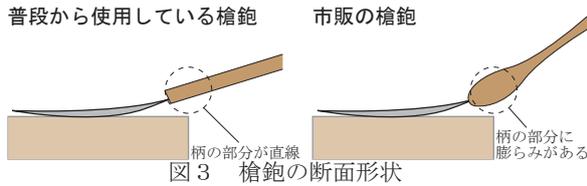
本研究では各動作での上半身の姿勢や足の運びを可視化し、宮大工が道具を持ち替えた際、動作姿勢に差異が表れるかを確認することで、それぞれの道具で動作に影響を与える要素についての分析を実施する。

動作姿勢を検出するデバイスとして、モーションキャプチャが挙げられる。モーションキャプチャには、大量のカメラを用いる「光学式」や、身体に直接センサを取り付ける「機械式」などの種類がある。本研究では広い場所を必要とせず、準備も容易で十分なデータを取得できることから機械式のモーションキャプチャを採用した。本研究で使用したものは身体の17ヶ所に専用のセンサを着けることで身体の各部位(59ヶ所)の位置座標(x,y,z)を時系列データとしてそれぞれ出力することができる。このセンサには3軸加速度センサ・ジャイロセンサ・磁気センサがそれぞれ内蔵されており、3軸加速度センサから各部位における各時点での位置座標を取得する。その座標を基に各動作における各部位の動作の推移を分析する。図1に示した座標軸は磁気センサによって定められ、x座標は北方向、y座標は東方向が正となる。したがって本研究では、方位磁針を用いて材の方向を南北方向に揃え、その材を各道具でそれぞれ加工した。本研究で使用したモーションキャプチャはPCとUSB接続し、専用のアプリケーションを用いることでデータを取得できる。USBケーブルによる動作の支障がないように、5mの延長ケーブルを使用した。

(3)注視点による分析

使い慣れている道具ほど、道具が身体の一部のように扱え、道具本体ではなく、材の加工部分などを注視することが考えられる。一方、使い慣れていない道具であれば、その道具の特性を把握しきれず、道具本体を確認しつつ作業するのではないかと考えた。したがって、注視点にも差異が生まれることが予想される。

本研究で使用したデバイスは眼鏡のような形状をしており、スマートフォン上のアプリケーションと連動している。キャリブレーションを行ってからアプリケーションを実行することによって、デバイスに取り付



※材はX軸に平行な方向に配置されており、X軸正の方向から負の方向に向かって台鉋を引いている。図中の矢印は切り始めの足の位置から切り終わりの足の位置を指している。軸方向については図1を参照とする。
 図4 台鉋動作での足の位置の推移

けられたカメラが起動し、撮影された動画内での視点の位置座標変位を含むデータが専用のクラウド上に保存される。保存されたデータをPC上でダウンロードし、別のアプリケーションを介して視点の位置座標変位の時系列データを取得することができる。

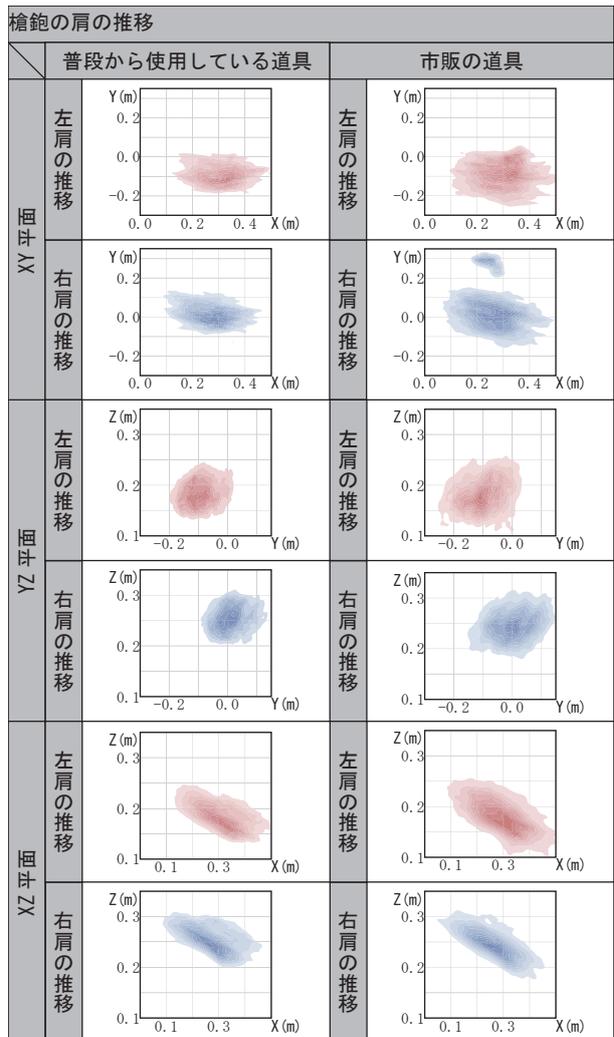
3. 分析結果

2章で記したそれぞれのデバイスで得られたデータから図2、4、5、6をそれぞれ作成した。これらの図を基に被験者とのヒアリングを実施し、実際の動作と分析結果の整合性を確認した。以下に各デバイスにおけるデータ分析の結果を記す。

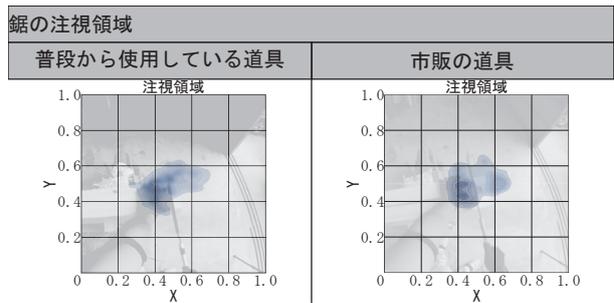
(1)力加減による分析

各動作の力加減における平均値プロットを図2に示す。台鉋の動作について、M3とM6では普段から使用している道具の方が高く、M0とM5では市販の道具の方が高い。また、M4とM7ではともに市販の道具の方が高い。市販の道具の方が刃の切れ味が悪く、台鉋を掴む力が大きくなる。また、切れ味を補うために材に対して押しつけるように体重をかけて引くため、手首にも負担がかかる。その結果がプロットに表れているのだと考えられる。

鋸については、ほとんどのセンサで差異が見られなかったが、普段から使用している道具に比べ、M0、M4、M7で市販の道具の方がやや大きな値となっている。台鉋と同様、鋸も市販の道具の方が切れ味が悪く、鋸を強く引くために握りこんでいたことが見て取れる。



※材はX軸に平行な方向に配置されており、X軸正の方向から負の方向に向かって台鉋を引いている。軸方向については図1を参照とする。
 図5 槍鉋の動作での肩の位置の推移



※各5セットずつ取得したデータを基に作成している。得られた座標データは正規化画像座標で表されている。
 図6 鋸の動作での注視点の推移

槍鉋については、普段から使用している道具の方で指に力が入っている。これは、普段から使用している道具の方が刃に厚みがあり、削る量が多くなるため、その抵抗として力が加わった結果となっている。また、M7で市販の道具の方が大きな値を示していることについては、普段から使用している道具と柄の断面形状が異なっていたことが原因だと考えられる(図3)。被験者が普段から使用している槍鉋は、柄が平坦な形状をしているため、材に対して水平に引くことができる。一方、市販の槍鉋では柄と刃の接合部分に膨らみがあり、動作を実施する際に材にその膨らみがあたらないようにしなければならない。そのため、市販の道具の方では材に対して水平方向からやや角度をつけて動作を実施することとなり、手首の内転において普段から使用している道具よりも負担がかかったと考えられる。

(2)動作姿勢による分析

台鉋の足の運びのデータを取得し、そのXY座標の時系列データから座標分布の密度を推定し、図4を作成した。普段から使用している道具は、切り始めから切り終わりまで足を運ぶ際、市販の道具を使用したときよりも斜め方向に進んでいることが見て取れる。本来、材に対して真っ直ぐ台鉋を引く形式が最も力を加えやすいが、普段から手入れされている道具では切れ味が十分であることから、真っ直ぐに引かなくても材に十分な力を伝えられる。そのため、足の運びに差異が表れたのだと考えられる。

槍鉋は主に上半身で引くような動作になるため、肩の姿勢から比較した(図5)。全体的に、使い慣れている道具は肩の位置が一定であるのに対し、市販の道具は位置のブレが大きいように見て取れる。普段から使用している道具については材に対する刃の入れ方を把握していることから一定の動作を実施できる。一方、刃や柄の断面形状が異なる市販の道具では材に対する角度を決定できず、1回ごとに摸索しながら動作を実施することとなる。その結果、道具を持つ角度が1回ごとに変化し、肩の位置のブレに表れたのではないかと考えられる。

(3)注視点による分析

鋸の注視領域を図6に示す。普段使用している道具と市販の道具とで、図中で濃く示されている部分がほとんど同じ位置にあることから、道具を持ち替えたときでも注視領域に差異が表れないことが明らかとなった。鋸だけでなく、台鉋・槍鉋においても同様の結果が得られた。

本研究では、各道具でそれぞれほぼ同サイズのものを使用している。したがって、刃の切れ味や柄の断面形状に影響される力加減や姿勢は変化するが、注視領域には差異が表れなかったと考えられる。

4. 考察とまとめ

以上のように、今まで無意識下で実施されてきた宮大工の繊細な動作を、力加減・動作姿勢・注視点という3点から保存し、可視化することができた。その上で、宮大工が普段から使用している道具とそうでない市販の道具を使用した際の動作における差異を把握した。

まず、力加減については、刃の切れ味と柄の断面形状が影響する。市販の道具の方が普段から使用している道具に比べて切れ味が悪く、材と道具の間での摩擦係数が大きくなることから、必要以上に力をかけないと材を十分に加工できない。また、柄の形状によって道具を握る際の力の入れ方に変化が表れることも明らかとなった。

動作姿勢についても、刃の切れ味と柄の断面形状が影響する。鉋の動作については材に対して真っ直ぐに引けなかったとしても、切れ味が良いため十分に加工できる。槍鉋の動作については市販の道具の柄の形状が普段の道具と異なることから、上半身の姿勢にブレが表れた。

注視点については、それぞれの動作において普段から使用している道具と市販の道具とで有効な差異が得られなかった。以上のことから、各道具の刃の切れ味や柄の断面形状によって力の入れ方や動作姿勢が決定され、特に普段から使用している道具は一定の姿勢で動作を実施できていることに対して、市販の道具では余計な力や動作姿勢のブレが表れることが明示された。

本研究の目的である宮大工の無意識下での技術の特定については、道具の特性から決定されていることが明らかとなった。宮大工技術の将来への保存・継承として解釈すれば、若手の宮大工は動作そのものを理解するとともに、道具の特性についても見識を深めなければならない。その上で本研究で得られた新たな指標は効果的である。ただし、本研究で実施した3種類の観点以外にも、宮大工の動作を決定する要素が多分に

ある。例えば、同じ動作であっても材の種類が異なった場合は摩擦係数も変化するため、動作自体も変化することが考えられる。また、同じ材であっても季節によって含水量が変化することから、動作にも影響すると考えられる。以上のようなことが今後も取り組むべき課題として挙げられる。加えて、職人と素人の動作比較も重要だと考えている。素人の被験者で同様のデータセットを作成し、本研究で得られたデータと比較・分析をすることで、宮大工と素人のそれぞれの動作における力加減・姿勢・注視点の差異を明らかにし、若手の技術者が動作を学ぶ上で意識する点を明確にすることも、新たな技術指標の作成に向けて必要な取り組みだと考えている。

謝辞：本研究において、長時間に渡る肉体労働を伴う被験者実験や、ヒヤリングにご協力してくださった高崎将太郎氏及び、実験場所・実験用の木材を提供してくださった有限会社白鳳社寺の皆様へ、誌上にて改めて感謝の意を示す。

参考文献

- 1) 株式会社野村総合研究所コーポレートコミュニケーション部：2030年度の新設住宅着工戸数は60万戸、大工の人数は21万人に減少，NRI 野村総合研究所，2018-6-13，<https://www.nri.com/jp/news/newsrelease/1st/2018/cc/0613>，（参照 2021-4-15）。
- 2) 中島正夫，神山幸弘：宮大工の技能習得過程の分析－宮大工の技能に関する調査研究 その1－，日本建築学会計画系論文集，第476号，pp. 91-100, 1995, 10.
- 3) 加戸啓太，青野敏紀，平沢岳人：ビジュアルプログラミングによる斗椽部の部品・部位表現に関する研究－伝統木造構法のコンピュータ言語による記述－，日本建築学会計画系論文集，82巻，742号，pp. 3259-3268, 2017, 12.
- 4) 小島尚之，山田悟史：ヒューマンコンピュータインタラクション技術の建築デザイン分野への応用－建築分野の手仕事の感覚保存・再現－，第42回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集：報告，pp. 98-101, 日本建築学会，2019, 12.
- 5) Emi Tamaki, Terence Chan, Ken Iwasaki: Unlimited Hand: Input and Output Gestures with Less Calibration Time, Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, pp. 163-165, 2016.
- 6) Satoshi Hosono, Shoji Nishimura, Ken Iwasaki, Emi Tamaki: Gesture Recognition System using Optical Muscle Deformation Sensors, ICECC2019, pp. 12-15, 2019.