

平成 30 年 6 月 29 日現在

機関番号：82727

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01009

研究課題名(和文)AR(拡張現実)技術を応用した建築躯体技能工の育成システム開発

研究課題名(英文)Development of training system for architectural workers by applying AR (augmented reality) technology

研究代表者

西澤 秀喜(NISHIZAWA, Hideki)

独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援機構職業能力開発総合大学校(能力開発院、基盤整備センター)・能力開発院・准教授

研究者番号：40648987

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：国の重要なインフラ整備や維持管理を担う建築技術者や技能者が不足している。建築の技術・技能の教育訓練には、座学に加えて実大の施工実習が効果的である。ところが、従来の施工実習用の教材は2次元図面が主体であり、初学者にとっては難解であった。そこで、AR技術を応用して、2次元図面の上にかざしたスマートフォンやタブレットに、構造物が完成した状態の3Dモデルを重畳表示する仕組みを開発した。その結果、初学者による図面の理解が進み、技術・技能の習得度が向上した。

研究成果の概要(英文)：There is lack of building engineers and workmen who are responsible for repairing and maintaining important infrastructures of our country. It is apparent that actual construction training in addition to teaching lectures is effective for construction education and training of technology and skills. However, conventional teaching materials for practical training are mainly 2D drawings, which was difficult for engineering novices. From the above point of view, we have developed a new mechanism for them to obtain skills easily. The new mechanism is based on the AR technology. 3D completed construction models are pop up from the AR architectural drawings by superimposing a smartphone or a tablet over the 2D drawing. This developed technology contributed to improving the understanding of drawings and skills for engineering novices.

研究分野：教育工学

キーワード：教材開発 AR VR ICT 技能者育成 技術者教育 施工実習 建築躯体工事

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、建築生産に関わる技能者や施工管理技術者が全国的に不足している。建設産業では、従来から技能者や技術者の高齢化と、新規入職者の減少という構造的な問題を抱えており、人材不足は一過性の問題ではないと認識されている。したがって、「担い手の確保・育成」が、建設産業に関連する多様な組織に共通の最重要課題となっている。

建設産業関係の事業団体では、厚生労働省の委託を受けて、職業訓練と就職支援をパッケージで推進するケースもある（建設労働者緊急育成支援事業等）。また、総合建設業や専門工事業の中には、自ら職業訓練コースを設置するケースもある。

(2) 初心者を対象とする建築の技能・技術の教育訓練では、座学に加えて実物大の施工実習が効果的である。ところが RC（鉄筋コンクリート）造の施工実習においては、標準的な実習課題モデルや、わかり易い実習教材等が見当たらない状況にあった。

(3) 施工実習に使用する教材は、従来 2 次元図面が主体であった。RC 造の施工実習では、鉄筋配筋図や配筋詳細図（図 1）などである。

初心者にとっては、2 次元図面（平面図・立面図・断面図）をそれぞれ見ても、これらが示す 3 次元の立体構造（図 2）を頭の中にイメージすることが難しく、その結果、図面情報の読み取りが不十分となり、技術や技能の習得度が高まらない要因となっていた。

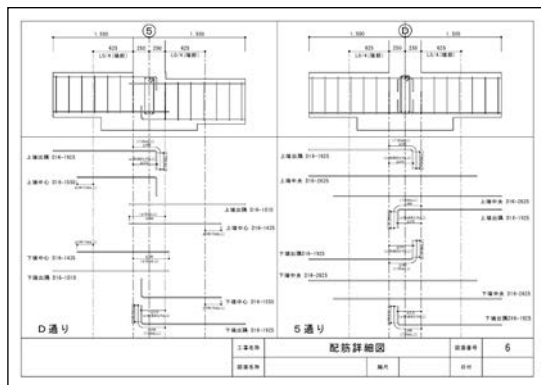


図 1 配筋詳細図の例

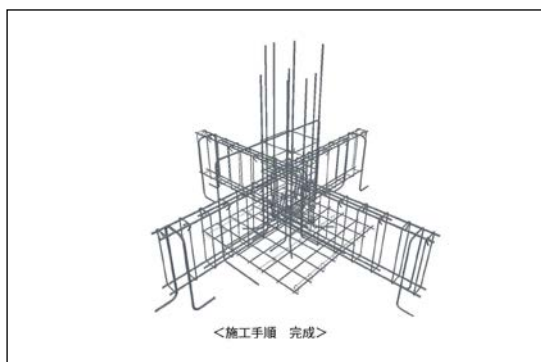


図 2 基礎配筋の完成状態

2. 研究の目的

人材不足が特に顕著な建設技能職種は、鉄筋工、型枠工、とび工などの躯体工事関連職種である。また、生産現場の施工管理技術者も不足している。

そこで、ソフトウェアとハードウェアを組み合わせた ICT の活用により、初学者を対象として、不足する建築の技能者や技術者などを効率的かつ短期間に確保・育成するための新たな育成手法開発を本研究の目的とする。

3. 研究の方法

建築生産に関わる技能者や技術者を、効率的に確保・育成するためには、「初学者にもわかり易い施工実習教材の開発」と、「標準的な施工実習課題モデルの開発」が必要であると考えた。

(1) 前者の「初学者にもわかり易い施工実習教材の開発」については、近年において発展が著しい ICT の活用によって可能になる。

AR (Augmented Realty) は「拡張現実」と翻訳されるが、現実の背景の上にコンピューターで制作した各種のコンテンツを重ね合わせて表示する技術のことである。携帯端末の内臓カメラが映し出す現実を背景にして、肉眼では見えないデジタル・コンテンツなどを重ね合わせて表示するために、「重畳表示」とも呼ばれる。

また、VR (Virtual Reality) は「仮想現実」と翻訳され、コンピューターで作られた人工的な現実世界という意味である。HMD (Head Mount Display) と呼ばれるゴーグル型のディスプレイを装着すると、視界に 360° の映像空間が現れて、その中に入り込んだように感じる技術である。

近年の携帯端末機器の大幅な進歩によって、AR 技術や VR 技術を容易に活用できる環境が整った。かつては大型コンピューターを必要としたが、現在ではスマートフォンやタブレット端末で十分に利用可能である。

したがって、AR・VR などのソフトウェアと、スマートフォンやタブレット端末などのハードウェアを組み合わせ、これまでには無い新型の実習教材開発を進める。

(2) 後者の「標準的な施工実習課題モデルの開発」については、各所で行われる実物大の施工実習において活用することを考慮すると、実習期間、受講者数、実習場所、保有機器等の様々な条件に対応できる必要がある。

したがって、施工実習の指導者が諸条件に合わせて選択できる状態が望ましく、複数の施工実習課題モデルの提供を目指す。

具体的には、職業能力開発総合大学校にて学生を対象とする「施工実習授業」で活用している課題モデルや、職業能力開発促進センターにて求職者に対する職業訓練で活用している課題モデル等をベースにして、複数の標準的な施工実習課題モデルを開発する。

4. 研究成果

(1) AR 技術を利用した重畳表示教材の制作

2 次元図面を見ても、3 次元の立体形状を頭の中にイメージすることが難しい初学者のために、3 次元モデルのイメージづくりをサポートする AR 重畳表示教材を開発した。

これは、図 3 のように 2 次元図面の上にスマートフォンやタブレットなどをかざすと、携帯端末の画面に 3D 完成モデルを重畳表示することができる。これには、画像マーカー型 AR 方式を利用している。

はじめに 2 次元図面的一部分を画像マーカー（目印画像）に設定する。また、重畳表示するためのコンテンツ（3D モデル、動画、写真、音声など）をあらかじめ制作しておく。

次にこれらを一対にして、AR クラウド・サーバーに登録する。携帯端末のカメラが登録した画像マーカーを捉えれば、これに対応するコンテンツをクラウド・サーバーから読み出して画面に重畳表示する仕組みである。

画像マーカー型 AR 方式では、携帯端末と画像マーカーの距離や角度を感知して、自動的に表示調整が行われる。したがって、携帯端末を画像マーカーに近づければ 3D 完成モデルは拡大する。また、携帯端末をかざす角度を変えれば、重畳表示される 3D 完成モデルの角度が変わる。さらに、携帯端末の画面上を指でタップして拡大・縮小・回転などの操作もできる。そのため、利用者は自身が見たい部分をいつでも自在に確認できる。

その結果、実物大の施工実習をはじめの前に、受講者はこれから組立てる構造物の完成形状を 3D で確認でき、図面からの情報の読み取りが促進できる。また、組立施工に関する注意事項など、指導者の説明についても理解度が向上する。

なお、3D 完成モデルは、3D モデリング・ソフトや、BIM (Building Information Modeling) ソフトを利用して制作している。この際、建築工事標準仕様書や鉄筋コンクリート造配筋指針など、多くの規準類を正しく反映する必要がある。中には数年毎に改定される規準等もあり、最新版を参照している。

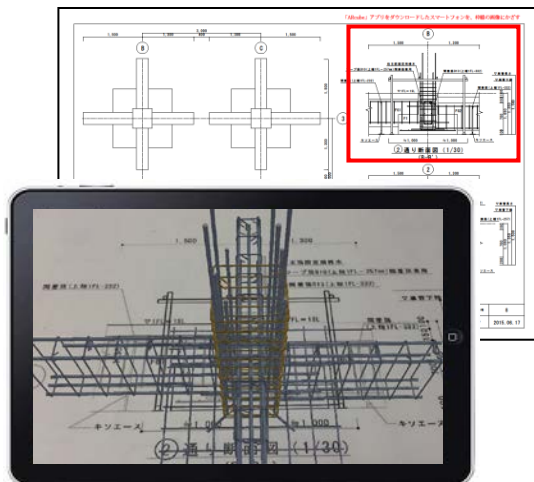


図 3 AR 教材の表示例

(2) 施工手順図の制作

3D 完成モデルは、実物大の施工実習の対象とする構造物の全部材を入力して制作する。入力した各部材を、施工手順の数だけレイヤーを用意して、これに割り付ける操作を行えば施工手順図が制作できる。各レイヤーへの割り付けにあたっては、後工程で手戻りが発生しないように十分配慮した。

こうして制作した施工手順図（図 4）を、スマートフォンやタブレット端末に表示するために、BIM ソフトのメーカーが無償で提供するビュー専用ソフトを利用した。BIM ソフトで制作した 3D 完成モデルのデータは大きなファイルサイズになるが、ビュー専用に変換すると携帯端末で扱えるファイルサイズに圧縮できる。

完成した施工手順図は、画面表示の拡大・縮小・回転などが自在に行える。また、画像マーカー型 AR 方式とは異なり、距離や角度による画面表示の自動調整は行わない。そのため画面表示が非常に安定している。したがって、鉄筋相互の複雑な納まりの確認などに活用できる。すなわち、2 次元図面では表現できない部分も可視化できる教材である。

ただし、画像マーカー型 AR 方式のように、3D モデルのデータをクラウド・サーバーからその都度読み出すことが出来ず、あらかじめ施工手順図の各モデルのデータを受講者の携帯端末に転送・保存する手順が必要である。

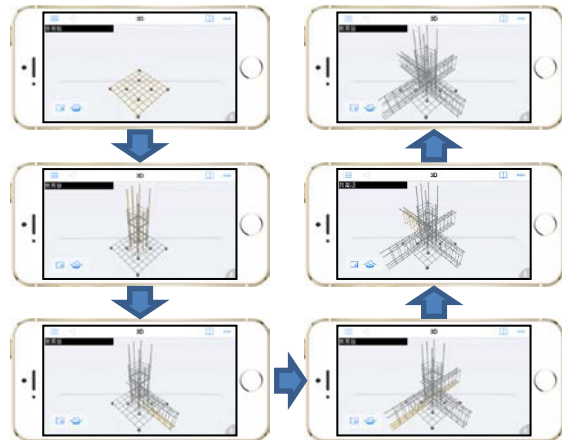


図 4 施工手順図の表示例

(3) 施工手順動画の制作

施工手順動画は、前項で制作した施工手順図を、一定時間間隔（数秒程度）で切り替えて連続的に表示したものであり、いわゆるスライドショーの状態である。

スマートフォンやタブレットの動画アプリで再生でき、途中で停止することができる。ただし、画像の拡大・縮小・回転などの操作は出来ない。動画といえども、全体が短時間であるから、携帯端末で十分に扱えるファイルサイズに収まる。

実物大の施工実習において、組立施工に着手する前に、施工手順の全体像を短時間で確認するのに最も適した教材である。

図5のように、再生動画の見易さを優先して背景が映らない設定としている。したがってAR重畳表示とは異なる。ただし、ARクラウド・サーバーに動画データを登録しておき、2次元図面上の画像マーカーに紐付けて、動画データを読み出しながら再生することが出来る。この方法は、動画データをあらかじめ受講者の携帯端末に転送・保存する手間が掛からず、簡単に利用できる。

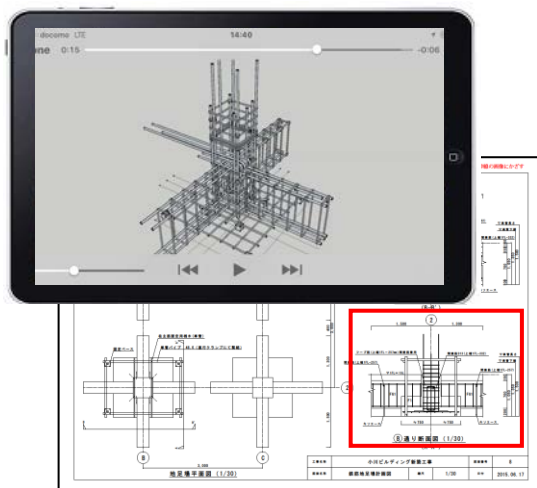


図5 施工手順動画の表示例

(4) 開発・制作した拡張3D教材群の構成

初学者（大学生や職業訓練の受講者）にもわかり易い施工実習用の教材開発をテーマに研究を進めて、5種類の教材を1組として制作する方法と手順を考案した。その構成は、①鉄筋配筋図や配筋詳細図などの2次元図面、②3D完成モデル、③AR重畳表示コンテンツ、④施工手順図、⑤施工手順動画の5種類である（図6）。これらを、「拡張3D教材群」と称することとした。

制作手順は、はじめに施工実習の対象とする構造物の設計図（意匠図・構造図等）から、施工図を制作する。これが図6の「①2次元図面（配筋図や配筋詳細図）」である。これには、2次元CADソフトを使用した。

次に図6の「②3D完成モデル（全部材入力）」は、「①2次元図面」に記入した全部材を入力して制作した。これには、3Dモデリング・ソフトを使用した。

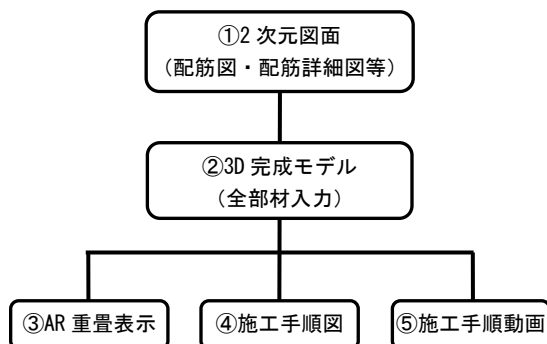


図6 拡張3D教材群の構成

「③AR重畳表示コンテンツ」、「④施工手順図」、「⑤施工手順動画」の制作手順については、前述した通りである。これら5種類の教材を一組とする「拡張3D教材群」であるが、携帯端末で利用するのは③・④・⑤である。

(5) 拡張3D教材群の効果検証

開発・制作した「拡張3D教材群」の効果を検証するため、実物大の鉄筋モデル（基礎配筋の一部）を組立施工する実験を行った。

初学者の男子大学生を2人1組として4チームを作り、2チームは2次元図面のみの教材で、他の2チームには2次元図面に加えてタブレット端末で操作する「拡張3D教材群」を提供した。4組の施工実験は、全て別日程で実施した。それは、重複して行くと隣のチームの組立状況が観察できるため、そこから学習することを防ぐためである（写真1）。

実験の様子は作業全体をビデオカメラで記録し、映像の分析を行った。まず作業内容毎に分解した上で、4種類（通常作業・手戻り・手直し・打合せ）に分析仕訳を行った。

鉄筋モデルの組立に要した合計所要時間は、「拡張3D教材群」を使用した2チームの平均が149分、2次元図面のみので行った2チームの平均が230分となった。「拡張3D教材群」を使用すれば、鉄筋モデルの組立所要時間が35%短縮できることがわかった（表1）。

通常作業（正味の組立作業）では、使用と未使用の差は10分しか無かった。手戻り（前工程で組立完了した部分に遡っての修正）は、使用した2チームには全く発生しなかった。

手直し（現在の作業工程内での修正）では、使用した2チームの平均は未使用の2チームの平均の1/4であった。打合せ（教材の参照を含めた2人の被験者間の相談）も、使用した2チームの平均は未使用の1/2であった。

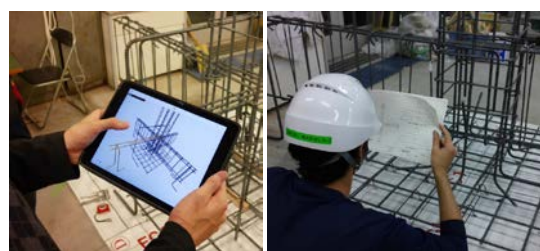


写真1 施工実験の様子

表1 施工実験の作業項目別所要時間（分）

ケース	新型教材群 使用			新型教材 未使用		
	Aチーム	Bチーム	平均	Cチーム	Dチーム	平均
分析仕訳						
通常作業	117.4	128.2	123	144.4	122.4	133
手戻り	0.0	0.0	0	20.4	39.2	30
手直し	7.7	6.3	7	21.4	33.1	27
打合せ	20.2	17.8	19	28.3	50.3	39
合計	145	152	149	214	245	230

すなわち、正味の鉄筋組立作業に要する時間(通常作業)には、「拡張 3D 教材群」の使用・未使用の違いはほとんど無かった。ところが、手戻り・手直し・打合せについては、いずれも未使用のチームが多く時間を要した。2次元図面からは組立手順が読取れず、試行錯誤による組立作業となった結果である。

以上のように、「拡張 3D 教材群」を使用すれば、初学者でも「短時間にミス無く正確に」鉄筋の組立作業が完了できることがわかった。その結果、本研究において開発・制作した「拡張 3D 教材群」の有効性が確認できた。

(6) 標準的な施工実習課題モデルの開発

RC 造の実物大の施工実習は、多様な組織において、様々な状況下(目的、期間、受講者数、実習場所、保有機器等)で実施されている。したがって、複数の標準課題モデルが存在して、諸条件に合わせて選択できることが望ましい。そこで、図 7 に示す 5 つの実習モデルを選定し、それぞれに対して「拡張 3D 教材群」を制作して、施工実習用の複数の標準課題モデルを完成させた。

図 7(A)は、基礎柱と基礎梁の交差部の鉄筋モデルである。技能検定「鉄筋施工(鉄筋組立て作業)2 級」の実技試験課題に準拠している。(B)は、住宅基礎の鉄筋と型枠のモデルである。(C)は、柱・梁と床スラブの一部からなる鉄筋と型枠の複合モデルである。(D)は、型枠と型枠支保工だけのモデルである。(E)は、鉄筋と型枠とコンクリートの総合モデルで、独立基礎・基礎梁・1 階上りの計 3 回、コンクリート打設を想定したモデルである。これは職業能力開発総合大学の 3 年次に実施する「鉄筋コンクリート施工実習」の課題をアレンジしたもので、相当な実習時間が必要である。

この結果、実習課題を複数の標準モデルから選択可能な環境が整った。

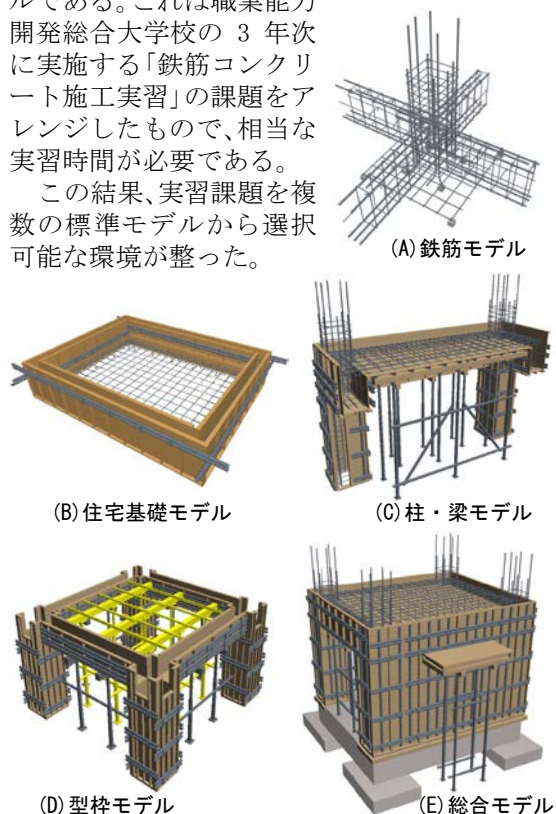


図 7 施工実習用の標準課題モデル

(7) 開発・制作した AR 教材の改良

① 画像マーカー型 AR 方式の改良

画像マーカー型 AR 方式は、基本的に一つの画像マーカーに対して、一つのコンテンツ(3D モデルや動画など)を紐付ける仕組みであり、1 モデルのみの重畳表示が可能である。そこで、一つの画像マーカーに対して複数のコンテンツを紐付けられるように AR アプリの改良を行った。その結果、図 8 のように画面上のボタン(◀ ▶)によって表示するコンテンツを前後に切替えるようになった。これにより AR の施工手順図が完成した。



図 8 改良した画像マーカー型 AR 方式の表示例

② ロケーション型 AR 方式によるアプリ開発

実物大の施工実習を始めると、画像マーカー型 AR 方式の利用が難しくなる。施工中の実配筋の上に 3D モデルを重畳表示するには、画像マーカー型では都合が悪い。そこで、ロケーション型 AR 方式を利用して GPS の位置情報に 3D 完成モデルを紐付け、マーカーレスで重畳表示を行うアプリを開発した(図 9)。

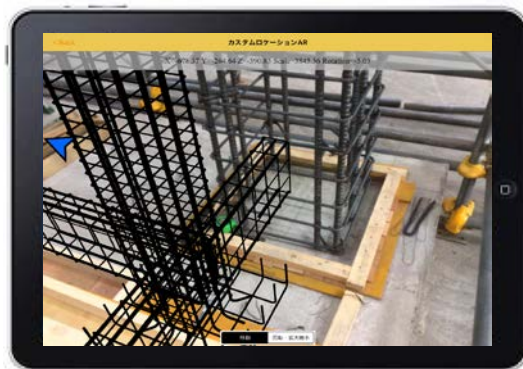


図 9 ロケーション型 AR 方式の表示例

(8) まとめ

建築躯体工事関連の技能者や施工管理技術者の確保・育成のために、AR 技術を応用して初学者にもわかり易い施工実習教材の開発を行った。また、初学者による施工実験を行い、開発した教材の有効性を確認した。

次に、実物大の施工実習用の標準課題モデルとして 5 種類を選定し、それぞれに AR 教材を含む「拡張 3D 教材群」を制作した。

さらに、開発・制作した教材システムの改良を実施し、AR 施工手順図や、GPS に連動するマーカーレスの AR アプリを完成させた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ① 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
携帯端末を利用する施工実習用教材群の
開発と評価、日本建築学会環境系論文集、
査読有、第82巻第740号、pp.905-913、
2017
DOI <http://doi.org/10.3130/aije.82.905>
- ② 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
AR/VR を利用した施工実習用新型教材群
の効果検証、日本建築学会・建築教育研究
論文報告集、査読有、No.17、pp.25-30、
2017、
[http://news-sv.aij.or.jp/edu/s0/sympo
sium/synposium.html](http://news-sv.aij.or.jp/edu/s0/sympo
sium/synposium.html)
- ③ 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
AR/VR 技術を応用した施工実習のための
新型教材の開発実施例、日本建築学会・建
築教育研究論文報告集、査読有、No.16、
pp.49-54、2016、
[http://news-sv.aij.or.jp/edu/s0/sympo
sium/synposium.html](http://news-sv.aij.or.jp/edu/s0/sympo
sium/synposium.html)

[学会発表] (計6件)

- ① Hideki Nishizawa、Hirotake Kanisawa、
Keito Yoshida、Hiroyuki Funaki、
Development of the education training
system which utilized BIM and Portable
device、
The 11th International Symposium on
Architectural Interchanges in Asia、2016
- ② 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
AR・VR 技術を利用した RC 造施工実習用教
材群の開発、日本建築学会大会・東北、2018
- ③ 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
AR 技術 (マーカー型・ロケーション型) を
利用した施工実習用の教材開発、日本建築
学会大会・中国、2017
- ④ 西澤秀喜、蟹澤宏剛、吉田競人、船木裕之、
スマートフォンを活用する施工実習教材
の開発、日本建築学会大会・九州、2016
- ⑤ 西澤秀喜、吉田競人、船木裕之、
AR (Augmented Realty) 技術を利用した教
材開発と効果検証、第25回職業能力開発
研究発表講演会、2017
- ⑥ 西澤秀喜、吉田競人、船木裕之、
AR/VR 技術を応用した教育・訓練システム
の構築、第24回職業能力開発研究発表講
演会、2016

[その他]

- ① 報道関連等
・スコープ技能教育:「スマホで施工実習効
率化:配筋図から3D完成モデル」、日
刊建設工業新聞、2017/6/20
- ② ホームページ等
・建設 IT ワールド:建設 IT ブログ、
「図面から 3D 鉄筋が!職業大が施工実習用
の AR 教材を開発」、家入龍太氏
[http://ieiri-lab.jp/it/2018/06/ar-reb
ar-app.html](http://ieiri-lab.jp/it/2018/06/ar-reb
ar-app.html)
・SketchUP Business、「SketchUP で制作した
鉄筋モデルをベースに AR 教材を開発」、
(株)アルファコックス HP、ソフト活用事例、
[https://admin-k5a1bb56da9189.clst01.
innova-jp.net/667/](https://admin-k5a1bb56da9189.clst01.
innova-jp.net/667/)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西澤 秀喜 (NISHIZAWA, Hideki)
独立行政法人高齢・障害・求職者雇用支援
機構職業能力開発総合大学校 (能力開発院、
基盤整備センター)・能力開発院・准教授
研究者番号: 40648987

(2) 研究分担者

吉田 競人 (YOSHODA, Keito)
第一工業大学・建築デザイン学科・教授
研究者番号: 70648914

(3) 連携研究者

嘉納 成男 (KANO, Naruo)
早稲田大学・理工学術院・教授
研究者番号: 60112992