

# タブレット端末を利用した拡張現実ツール「FutureShot®」の開発と適用

金子 智 弥      中 林 拓 馬      鈴 木 理 史

(本社技術本部企画推進室)

小 林 正 和      堀 内 英 行

(大阪本店リニューアル部)      (本社グローバルICT推進室)

## FutureShot® - an Augmented Reality Tool Using a Tablet Device

Tomoya Kaneko      Takuma Nakabayashi      Masashi Suzuki

Masakazu Kobayashi      Hideyuki Horiuchi

### Abstract

We developed the "FutureShot®" augmented reality tool using a tablet as a device for construction site use. This tool correlates parts for virtual models embedded in real images, and provides a real-time on-site virtual model editing feature. We applied the tool to a completed image and temporary equipment to reach a consensus with a building owner regarding renewal construction. The study established the following: (1) The three-dimensional future image is effective for improving customer satisfaction level and preventing reworking, (2) The agreement formation period can be shortened from 2 weeks to 3 days, (3) Our proprietary technologies and designs are appealing and easy to market to improve sales.

### 概 要

施工現場での利用を視野にタブレット端末を利用した拡張現実ツール「FutureShot」を開発した。このツールの特徴は、平面図上とマーカーによる2つの位置合わせ機能、市販BIMツールで作成した仮想モデルの利用、仮想モデルが実映像に隠れるべき部分の対応、利用時の仮想モデルの編集機能、などである。このツールをリニューアル工事における完成イメージや工事中の仮設設備に対する建物所有者との合意形成に適用し、次のことが分かった。(1) 将来イメージが三次元的に理解しやすく顧客満足度向上と手戻り防止に有効である、(2) 従来は2週間程度かかっていた合意形成期間を3日程度に短縮できる、(3) 大林組独自の技術やデザインをアピールしやすく営業力の向上が見込める。

## 1. はじめに

拡張現実(Augmented Reality, 以下 AR と略記)は、人が知覚する現実環境を ICT によって拡張する技術である。聴覚や触覚をも含む概念であるが、本報では視覚に限定し、実映像に仮想イメージを重ね合わせる技術とする。また、厳密な定義は異なるものの利用目的が類似しているため、本報では複合現実(Mixed Reality)も同じ範疇の技術として扱う。

AR は一般に、次の3つの要素技術から構成される。

### 1) 実映像と仮想イメージの位置合わせ技術

実映像に仮想イメージを重ね合わせるために、利用者の位置と向きを検出する。屋外であればGNSS(全球測位衛星システム)や磁気センサーが利用できる。また、赤外線などのセンサーを用いる場合は、装置のセッティングが必要になる。一方簡易な方法としては、二次元バーコードのような「マーカー」を置き、その見え方からマーカーに対する利用者の相対位置と向きを検出する方法がある。この場合、Fig. 1 のように、実空間と仮想空間はマーカーによって結び付けられる。

### 2) 実映像に仮想イメージを合成する技術

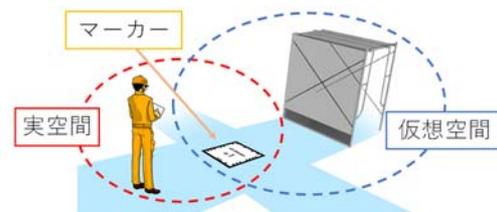


Fig. 1 マーカーによる位置合わせ

### AR Marker Tracking

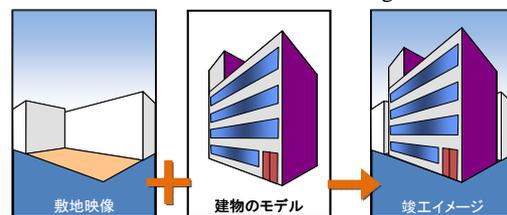


Fig. 2 建設分野における AR の利用例

### Example of the Use of AR in the Construction Field

通常は実映像に仮想イメージを上書きするが、実映像を手前に表示しなければならない場合は特別な制御が必要になる。

### 3) 合成した映像を利用者に提示する装置

高い現実感を得るためには Photo 1 のようなヘッ



Photo 1 HMD  
Head Mounted Display



Photo 2 マーカーマット  
Marker Sheet



Photo 3 施工現場での AR の活用状況  
Usage of AR at Construction Site

ドマウントディスプレイ(HMD)や透過式メガネ型端末を用いる。一方、簡易な用途であれば、タブレット端末やスマートフォンも利用できる。

AR は近年、スマートフォンを用いたゲーム等に応用され、アミューズメント分野では一般に普及している。建設分野では、Fig. 2 のように、更地の実映像に計画中の建物の 3D モデルを重ね合わせて竣工イメージを構成したり、室内の実映像に気流を模式的に重ね合わせて空調の効果を説明するなどの利用が図られている。

本報では、まず大林組における設計段階の AR の活用について紹介する。次に、施工段階で AR のニーズと課題を示す。そして、施工現場での利用を視野に入れて開発した AR ツール「FutureShot」と、これを耐震補強工事の設計検討や工事計画における建物所有者との合意形成に適用した結果を報告する。

## 2. 設計段階での AR の活用

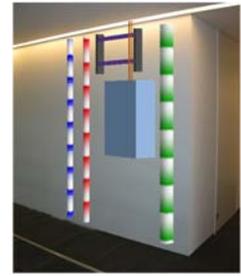
大林組では 2012 年に、写真 HMD を用いる AR ツールを導入し、主に設計段階での利用を図ってきた。位置合わせ技術は、赤外線センサーとマーカーの両方に対応している。また、この HMD はメインカメラの他に下向きカメラを備え、Photo 2 のようなマーカーマットでも利用者の位置を検出できる。

AR では建物の外観や内部の様子を 3D モデルによる仮想空間に利用者が没入することによって、竣工時のイメージを原寸大で確認できることが最大のメリットである。

新築工事では、更地の状態の建設予定地において、建物の外観と周辺との調和を発注者に着工前に確認して頂くことができる(Photo 3)。また、2 階の床を貫いて 1、2 階の吹抜け部を新設するリニューアル工事では、吹抜け



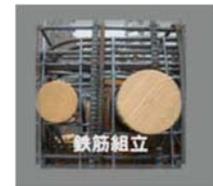
(床吹き出し空調)



(壁の向こう側)



(壁の工事記録)



(コンクリートの工事記録)



(サイン工事)



(仮想窓)

Fig. 3 技術展示での AR コンテンツ  
AR Contents on Technology Exhibition

を見下ろした場合のイメージを AR で確認することができる。このような用途には、「Building Information Modeling<sup>2)</sup>」(以下、BIM)による 3D モデルの活用が有効である。

## 3. 施工段階での AR のニーズと課題

### 3.1 施工段階での AR のニーズ

施工段階における AR の応用と有効性を検証するため、具体的なコンテンツを作成し、社内の技術イベント等を通じて職員に体験してもらい評価を行った。その際のコンテンツを Fig. 3 に示す。

- 1) 床吹き出し空調の気流の可視化  
気流のイメージを気泡のアニメーションで可視化。
- 2) 壁の向こう側の設備の可視化  
竣工後のビル管理やリニューアル工事での利用を想定。
- 3) 工事記録の可視化  
同一施工箇所での工事写真を重ねて表示することで、施工過程を可視化。壁面の内部やコンクリート躯体内の鉄筋などを表示。
- 4) サイン工事での合意形成  
竣工直前に、建築物に付属する看板、案内板、室名札などのデザインを決定するための合意形成を想定。複数のデザインを切替えて選択。

Table 1 建設におけるARのニーズ  
Usage of AR in Construction Industry

	名称	概要	段階	利用者
1	環境シミュレーションの結果の可視化	気流などの環境シミュレーションの結果を、実際の建物や実験用の空間で提示する。	設計	発注者 設計者
2	リニューアル合意形成	リニューアル工事における新設部材の完成出来形や工事中の動線確保状況などを表示して合意形成する。	リニューアル設計	発注者
3	施工ナビゲーション	鉄骨やPC部材の建方作業において、建方作業やクレーンオペレータに、建方位置や、精度情報を提示する。	施工中	作業員
4	組立てガイダンス	複雑な鉄筋の組立て手順や、設備機器の組立て手順を、作業員に提示する。	施工中	作業員
5	作業環境情報の可視化	センサーによって取得した作業環境の状態を作業員に視覚的に提示。	施工中	作業員
6	サイン工事シミュレーション	実際の建物を背景にして、建物外部に設置する看板や内部の各種表示などのデザインを確認する。	竣工直前	発注者 設計者
7	家具配置シミュレーション	仕上げ完了後の建物内で、発注者の家具や什器を配置した状況を確認する。	竣工直前	発注者 設計者
8	賑わいシミュレーション	竣工直前の建物内で、人々の動きを表現する。	竣工直前	発注者
9	施工履歴の可視化	配筋状況や壁面の内部など施工後の再確認が困難な箇所工事写真を、実際の場所に重ねて表示する。	運用段階	発注者 監理者
10	維持管理情報の提示	施設の巡回点検を行う際に設備機器の情報を表示する。	運用段階	施設管理 者

5) 仮想窓

リニューアル工事での壁面への窓の新設を想定。  
季節ごとに変化する窓の景色を表示。

以上のコンテンツを表示するデバイスにはスマートフォンを利用し、位置合わせにはマーカーを用いた。約900名の職員がARを体験し、意見集約の結果ARのニーズとしてTable 1のリストを得た。

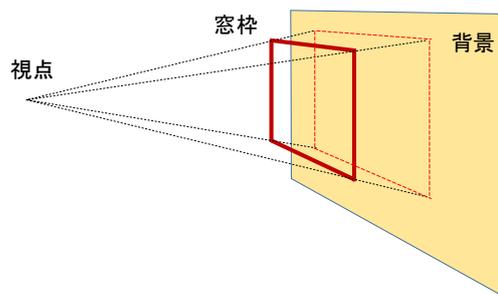


Fig. 4 仮想窓における前後関係の課題  
Issues of the "Virtual Window"

3.2 ARの前後関係の課題

ARのニーズが明らかになった一方で、次のような技術課題が明らかになった。

仮想窓の事例では、窓枠と窓の先の景色を仮想イメージとして作成する。その際、仮想空間において景色を窓枠よりもずっと奥に配置すれば、利用者の位置によって景色の見え方が変化して現実感が高まる。しかしそのような仮想空間を設計すると、窓枠の外側からも景色が見えてしまう。仮想現実(Virtual Reality)の場合は、窓枠の周囲に仮想の壁を配置することでこの問題を回避できる。今回の展示では、既存の壁をそのまま利用してARによって表示を行う試みを、Fig.4に示すように景色を窓枠と同じ面に配置することにより回避しようとしたが、窓枠の向こうの景色が、額縁の中の写真のように見えてしまった。

このような課題はARの前後関係の課題と呼ばれている。仮想窓の例だけでなく、仮想イメージの一部を実映像で隠す必要がある場面は多い。

3.3 マーカーによる位置合わせの課題

マーカーによる位置合わせは、特別なセンサーを必要としないため工事現場でも適用しやすい。一方で次のような課題があった。

- 1) マーカーとカメラとの距離が大きいと、相対位置を正しく検出できない。検出精度を高めるにはマーカーを大きくする必要がある。

- 2) カメラの視野にマーカーを捉えている必要がある。たとえば高所に取り付けられる看板をARで検討するには、高所にマーカーを設置する必要がある。

4. タブレット端末を用いたARツールの開発

4.1 開発のねらい

前章でのニーズと課題の確認を経て、著者らは施工段階での利用を意図して、次のねらいで以下のようなARツールを開発した。

- 1) タブレット端末の利用  
大林組では2010年より施工現場の工事管理者にタブレット端末を配布しており、現在は図面の閲覧や品質管理業務などに広く利用されている<sup>3)</sup>。タブレット端末用とすることで普及を加速できる。
- 2) 位置合わせ機能の簡素化  
ARには実映像と仮想イメージの位置合わせが必要で、そのためには実映像を撮影するカメラの位置と姿勢を、可能な限り正確に取得する手段が必要である。屋外であればGNSSと電子コンパスが

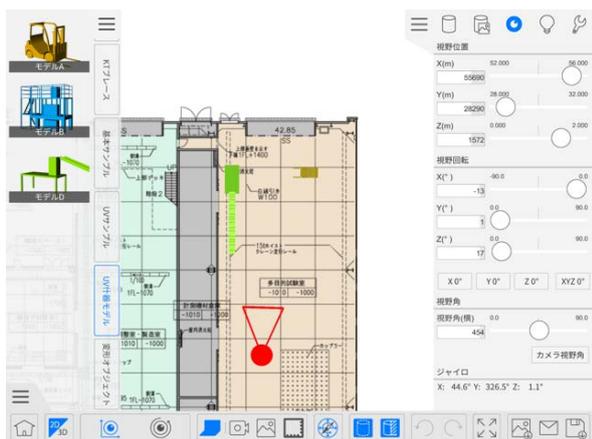


Fig. 5 平面図による位置合わせ  
Justification by Plan View



Photo 4 端末を固定した利用状況  
Usage Status Using a Tripod to Fix the Terminal



Fig. 6 マーカーによる位置合わせ  
Justification with AR Marker

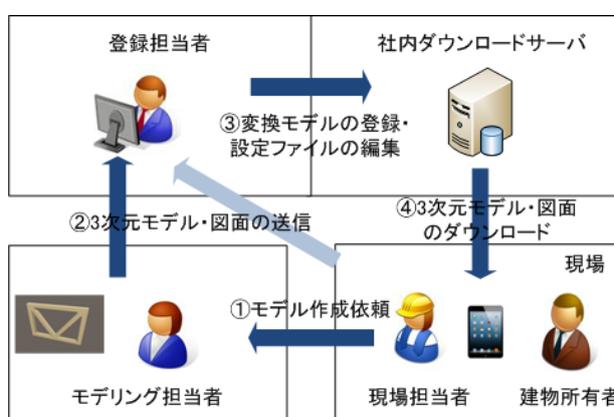


Fig. 7 仮想モデルと図面のダウンロード  
Download of the Virtual Model and Drawing

利用できるが、屋内での使用も想定しなければならない。屋内用に赤外線や磁気センサーを利用する製品があるが、施工現場での利用を想定するとより簡便な方法が望まれる。

- 3) データの追加/交換による汎用化  
様々な用途で利用できるように、仮想イメージを作るためのデータを容易に追加/交換できるようにする。

## 4.2 機能概要

4.2.1 位置合わせ機能 位置合わせには、次の2つの方法を選択できる。

- 1) 平面図上で位置と姿勢を指示する方法  
Fig. 5 に示すような平面図上で、ユーザーがタブレット端末の位置と向きを指定する。端末の回転は内蔵の加速度センサーで得られるが端末の移動は検知できないので、Photo 4 に示すように三脚等に固定して利用する。
- 2) マーカートラッキングによる方法  
2次元のマーカートとの相対位置関係を画像処理に

よって取得する方法である。マーカートの位置をあらかじめ設定しておくこと、カメラが常にマーカートをとらえていなければならないこと、などの制限がある。Fig. 6 はこの方法で、実際のモニュメントの隣に仮想のモニュメントを重ね合わせたものである。

4.2.2 仮想モデルと図面の登録 仮想モデルと図面は、クラウドからダウンロードして利用する(Fig. 7)。VPN接続が可能な端末であれば、公衆回線を通じて施工現場からも利用できる。仮想モデルは、市販のBIMツールで編集したモデルを変換して作成できるため、様々な用途に対応できる。

4.2.3 マスクモデルによる前後関係の解決 前章で述べたように、ARの前後関係を解決する必要がある。コンピュータ・グラフィックスではモデルを描画する際、すでに描画したモデルより手前なら描画し、奥ならば描画しない、というルールで奥行を表現している。本ツールでは、これに加えて、「マスクモデル」という手法を用い、本来見えない範囲を実映像で隠すという処理を行った。



(マスクモデルなし)



(右の柱にマスクモデルを適用)

Fig. 8 マスクモデルによる前後関係の解決  
Solving the Context with the Masking Model

Fig. 8 は、マスクモデルの効果を示したものである。ブレースの右側の柱部分にマスクモデルを配置した例である。本ツールでは、マスクモデルは利用時に追加することもできるし、あらかじめ仮想モデルの一部をマスクモデルに指定することもできる。

4.2.4 計画案の修正 仮想モデルは、位置・向き・大きさ・テクスチャを自由に変更できる。Fig. 10 はテクスチャを変更して計画案を比較した例である。あらかじめ用意されたイメージの他に、内蔵カメラで撮影した写真もテクスチャとして利用できるため、現地でテクスチャイメージを取得して利用することもできる。また、光源を調整すれば、仮想モデルの影を実映像に適応させることができる。



Fig. 9 テクスチャの変更  
Texture Modification Example

## 5. 耐震補強工事の合意形成への適用

### 5.1 適用目的

2011年の東日本大震災、2013年の耐震改修促進法改正などを背景に、近年、建物所有者の耐震性能への関心が高まっている。建物の耐震性能を高めるため、既存建物にブレースや壁などの耐震部材を新設するリニューアル工事が増加した。耐震部材は窓や通路に設置されることが多く、建物所有者が美観や機能の低下などを懸念する場合もある。そこで、建物所有者との合意形成の促進を目的として、本ツールを適用した。

### 5.2 適用結果

本ツールの適用性と効果を確認するため、耐震補強工事3件において検証実験を行った。実験の概要をTable 2に示す。実験は従来手法と並行して実施し、建物所有者や現場担当者へのヒアリングにより評価した。

耐震補強壁の適用事例をFig. 10に示す。建物所有者からは、新設部材による閉塞感などの空間の印象変化や仮設計画の立体的なイメージの理解が容易になったと評価された。また、ヒアリング結果をもとに合意形成に要する期間の削減効果を試算した結果、設計案の提案と修正に通常で約2週間かかるのところ、本ツールでは3日程度に削減でき、8割近い期間短縮が期待できることが分か

Table 2 耐震補強工事への適用概要

Applications to Seismic Reinforcement Work

工事内容	A 工事	B 工事	C 工事
用途	商業施設	ホテル	集会所
モデル	耐震補強 ブレース	耐震補強壁	耐震補強壁

った。

一方、マーカーによる位置合わせの精度と作業性の低さが課題としてあがった。マーカーの大きさと認識可能距離は比例するため、広範囲で利用する場合はマーカーが大型になり、設置方法を改善する必要がある。

## 6. リニューアル工事の仮設足場への適用

### 6.1 適用目的

リニューアル工事は既存の建物を利用しながら工事を行う場合が多く、仮設足場を設置する場合も近隣や施設の利用者に対して、新築の場合以上に配慮が必要である。そこで、工事の計画段階における建物所有者との仮設足場についての合意形成に、本ツールを適用した。

### 6.2 適用結果

Fig. 11 は、ホテルの屋上部のリニューアル工事に適用した事例である。AR イメージ(右側)において、画面上部

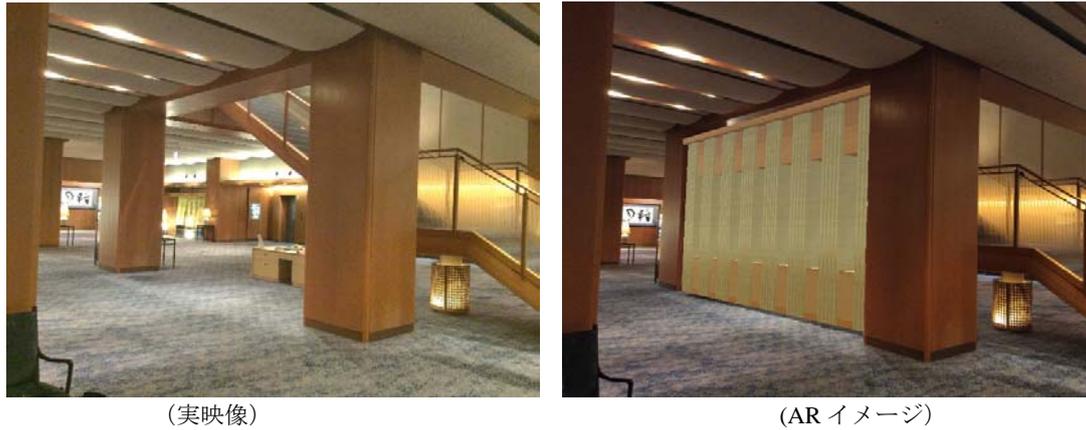


Fig. 10 耐震補強壁への適用事例  
Application Example on Seismic Reinforced Wall

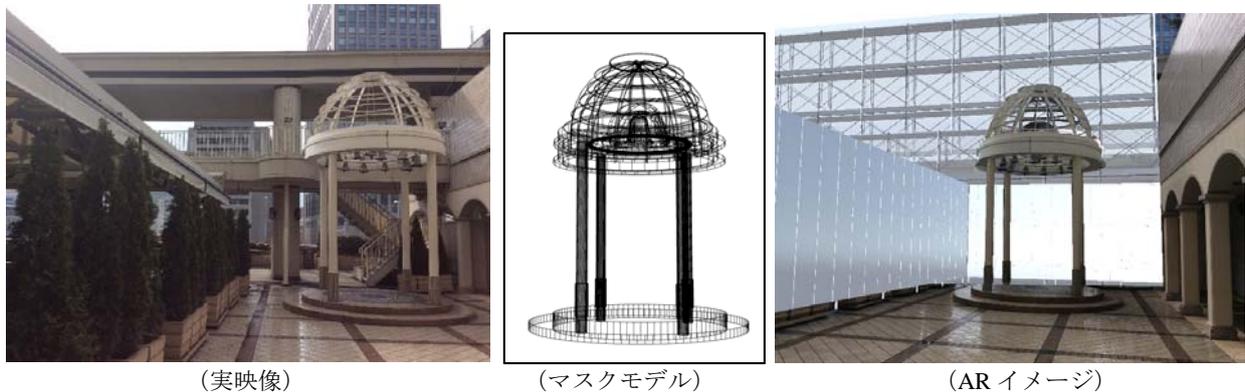


Fig. 11 リニューアル工事の仮設足場への適用事例  
Application Example on Temporary Scaffolding for Renewal Construction

の足場と、正面奥から左側の仮囲が仮想モデルである。画面中央のカリオン(鐘楼状の建築物)は、マスクモデルを用いて実映像を活かした。当初カリオンも仮想モデルとして制作したが、実画像の方が現実感があると建物所有者から評価された。

また、別の事例では、外装リニューアル工事の外周足場に適用した。外周足場は歩道の一部を利用して設置するため、残された歩道の幅員や圧迫感を確認する必要があった。本ツールを使用してビル管理会社にイメージを提示したところ、工事中の状況が一目で分かりやすいとの評価を得た。

## 7. まとめ

タブレット端末を利用した AR ツールを開発し、耐震補強工事や仮設足場の計画における建物所有者との合意形成に適用した。その結果、次のことが確認できた。

- 1) タブレット端末はカメラと加速度計を内蔵し、工事現場等で簡易な AR に適したデバイスである。
- 2) リニューアル工事では工事計画時の建物所有者との合意形成が重要で、AR ツールにはこれを促進する効果がある。
- 3) 位置合わせには平面図を用いる方法と、マーカーを用いる方法の両方に対応しているが、平面図を

用いる方が使いやすい。

- 4) 施工段階の AR 適用では前後関係の課題解決が必須であり、本ツールはマスクモデルの導入で解決できた。

大林組ではサポート体制を構築し、2017年8月より本システムの運用を開始した。今後は、新築工事も含めた適用場面の拡大と機能拡張を進めていく。

近年、ARの応用製品が数多く市販されるようになり、透過式メガネ型端末が安価に利用できるようになった。また、位置合わせ技術も進歩しており、動画像による自己位置推定技術である SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を用いると、マーカーやセンサーに頼ることなく精度の高い位置合わせが可能になる。今後、これらの端末や技術の施工段階への応用も図っていきたい。

## 参考文献

- 1) 山本彰：特集「ICT を利用した建設技術の高度化」、大林組技術研究所報，No.78，2014.12
- 2) 金子智弥，他：技術研究所再整備における BIM 利用，大林組技術研究所報，No.74，2010.12
- 3) 金子智弥，他：全箇所全数検査記録に対応した配筋検査支援システムの開発と適用，大林組技術研究所報 No.74，2010.12