

特集 ■ 新しい飛躍の時代を迎えた複合現実感

ARToolKit：世界中で使われるマンモスツールの秘密と秘訣



加藤博一 (奈良先端科学技術大学院大学)
KATO HIROKAZU

今ものすごい AR (拡張現実感) ブームのようです。当学会の主たる研究テーマの一つである AR は、Google で検索すると「Augmented Reality」で約 1,670 万件、「拡張現実」で約 236 万件がヒットし、YouTube には約 7 千件の動画がアップされている有様です。

その AR 分野で燦然と輝くのは、加藤博一先生が開発された ARToolKit で、このツールの存在を知らない人はいないと言っていいでしょう。いや、名前は知らなくても、あの黒地に白の正方形マーカーを見たことがあるはず。世界中の研究者やアーティストに広く使われている実績が高く評価され、昨年、加藤先生は IEEE の Virtual Reality Technical Achievement と日経 BP 技術賞という二つの賞を受賞されました。海外の学会と国内の産業界から、ほぼ同時に表彰されるという事実が、このツールが果たした学術的意義と社会的意義を雄弁に物語っていると言えるでしょう。

既に ARToolKit に関する報道や解説は沢山あるので、本特集号では、開発者の加藤先生の生の声で、その開発と普及に関するエピソードを語って頂くことにしました。

[インタビュー: 木村朝子 (立命館大学)]

Part 1：ARToolKit の成り立ちと広まり

日本に帰ってきたゆえの完成度

— この特集号では、他では読めない本音のお話をお願いします (笑)。まず、ARToolKit の歴史を振り返り、その成り立ちからお話し下さい。

加藤 1998 年にアメリカのワシントン大学 HITLab に、在外研究員として約 1 年間滞在する機会があり、そこで初めて拡張現実感 (AR) の研究に関わることになりました。光学式シースルー HMD を使った AR システムを作ろうとすると、上手く位置合わせができず、しっかりキャ

リブレーションする技術が必要になりました。そこで、マーカーをリアルタイムに画像処理し、その上に CG を重ねて出すようにしたのです。こうしたマーカーの認識は、目新しい技術ではなかったのですが、なるべくシンプルで、確実に動くことを重視しました。実際に動くようになると、周りの連中が喜んで、「これは面白い」「これでコンテンツ作ったら、外部にアピールできるね」と言い出して、1999 年の SIGGRAPH に楽しいデモを出すことになり、そのプロジェクトが立ち上がりました。

ところが、僕は 1999 年に日本に帰って来て、すぐ広島市立大学に移ったので、SIGGRAPH に出展するために、海を隔てた共同作業をやった訳です。ワシントン大学にいる連中は、アプリケーションやコンテンツしか作らず、位置合わせ技術は持っていなかったの、そこは僕がやるしかない。日々連携してやる訳には行かないから、彼らが自分たちだけで使えるようにするには、ある程度まとまった形で提供する必要があった。それで、1998 年に開発した技術をベースに、それなりに綺麗に位置合わせ技術をまとめ上げて、パッケージ化したのが ARToolKit の始まりだったのです。

— 既に帰国されていたことが、良かったのでしょうか。離れた所にいる人にも使えるよう、完成度の高いものを提供された訳ですから。

加藤 そういうことになりますかね。よく ARToolKit はワシントン大学 HITLab で開発されたと報道されていますが、実は僕が 1999 年に広島市立大学で作ったものです。最初、HITLab のホームページ [1] からダウンロードできるようにしていたので、そういう誤解が生まれたようです。

— その年の SIGGRAPH には、どんなものを出展されたのですか？

加藤 日本的に言えば神経衰弱ゲームのようなものです。



図 1 これが記念すべきエイリアンの襲来

カードを裏向きに置いておき、パッと表に向けるとそこにマーカーと漢字が描かれていてCGがその上に飛び出す(図1)。二つのカードの上に出てくるCGに関連性があるものだと、近づけるとCGに変化が起きます。例えば、あるカードを表にするとエイリアンが、違うカードを表に向けると地球が映っていれば、近づけるとエイリアンが地球の周りをUFOに乗って回りながら攻撃します。

— CGを重ねて見るだけでなく、最初からそういうインタラクションも実現しておられたのですね。

もはや伝説のマンモスツール

— 既に解説本も何冊か出ていて、世界中に広まっているようですが、現在の普及状況を教えてください。

加藤 最初は HITLab のホームページだけでしたが、SourceForge という色々なフリーウェアをダウンロードできるサイトがあり、そこにも載せるようにしました [2]。2004 年当時は 1 ヶ月で数百程度だったのに、2007 年あたりからググッと伸びました。最近は 1 ヶ月で約 1 万件、年間 10 万件くらい行っているようです。累計は約 30 万くらいでしょうか。

— ひえー、30 万件も！ダウンロード数がそれなら、実際のユーザはその数倍、体験者のもっといますね。まさにマンモスツールですね。

加藤 サイズはそんなに大きくないのですが、ユーザの数は多いようです。この記事の題に「マンモスツール」と書かれていたので気を良くしていたら、口の悪い先生から、「マンモス!? やがて絶滅して、化石になるという



「マンモスツールは、やがて絶滅するそうです」

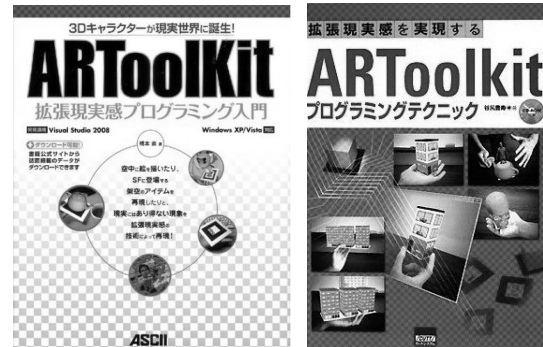


図 2 ARToolkit プログラミングの解説書

意味か?」と言われてしまいました(笑)。

もともと研究者に使ってもらうことしか想定していなかったのに、特に予備知識なく使えたためか、アーティストで使う人も出て来ました。そして、PC やカメラが簡単に入手できるようになってからは、ホビーユースにも広がりました。ニコニコ動画とか YouTube にアップされているのも大半はホビーですね。そういう人向けに使い方を書いた本も出ています(図2)。

— ウチの大学では、学生実験にも使っています。

加藤 海外の大学の学生実験でも使われているみたいです。プログラミング演習は生真面目な例題が多く、面白く感じない学生も多数いると思うのですが、ARToolkit を使うと「面白いことができる」と感じて、皆一生懸命プログラミングをするので、そういう意味で、学生に良いモチベーションを与え、情報処理教育に貢献しているかなと思います。

— これまで、大きなバージョンアップは何回くらいあったのですか?

加藤 実はほとんどないですね。最初 SIGGRAPH 99 用に作って、2000 年、2001 年と続けて行く中で若干改良しましたが、それはまだ余り普及してなかった頃です。本格的に使われ出してからバージョンアップはなく、10 年前に作ったソフトウェアが今も皆さんに使って貰っているというのは、ある意味驚きです。

ただし、それとは別に商用版があり、そちらはバージョンアップがなされています。これは有償ソフトウェアなので、皆さんがダウンロードして使っているものとは、別バージョンです。また、ARToolkit から派生したものが色々あって、ARToolkitPlus [3] などですが、僕自身は関与していません。それをある種のバージョンアップだとも見なせますね。

もともとは C 言語で書いていますが、最近は Flash に移植したものも登場しています [4]。Flash を利用するのは Web コンテンツを作るデザイナーやクリエイターが多く、その業界の中で、AR に新しさを感じたのでしょうか、

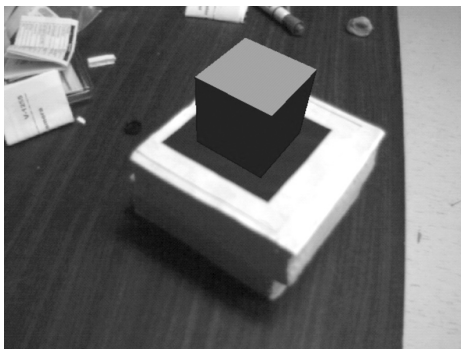


図 3 Hiro マーカー上にキューブが登場

色々な Flash アプリが生まれて来ました。こうした環境の変化から、ますます普及するようになりました。

— ここまで広まった ARToolKit の成功要因は何だったのか、ご自分で分析してみてください。

加藤 何を成功とするのかによりますが、これだけ沢山のの人に興味をもってもらったのには、最初に面白そうなデモを見せ、きちんと宣伝したということですかね。SIGGRAPH でのデモの効果は大きかったと思います。少し流行り出してからは、工学ナビというホームページ [5] で紹介されたことも大きかったようです。研究者以外のホビーユースには、それでどんどん使われるようになったということですね。

— AR や MR の魅力的なデモは沢山ありましたから、やはり容易に使えるしっかりしたパッケージだったということではないでしょうか。

加藤 僕もプログラミングのプロフェッショナルではないのですが、整理したものを作る時の心がけとして、位置合わせなどを知らない人が使うことを想定して作ったというのはありますね。自分が使うためのツールとして作ったのではなく、最初から予備知識のない、専門外のアプリケーションだけを作る人たちに使ってもらうことを前提に整備したので、少し試しただけですぐ AR が実行できるようになっていました。

ARToolKit は基本的にはライブラリなのですが、サンプルプログラムもあり、simpleTest.c をコンパイルして実行したら、Hiro というマーカーの上にキューブが出ます (図 3)。それができたら、それをベースに少しずつ手を加えていけば、後は好きなようにカスタマイズできるようになります。少し C 言語をかじっていて、OpenGL の概略が分かれば、あまり深く勉強しなくても、色々自分なりの工夫ができたのだと思いますね。だから、マーカーの中のパターンは何でもいいのですが、皆さん Hiro と書いたマーカーを必ず使い、中にはこれを使い続ける人もいるので、このマーカーが僕以上に有名になっています (笑)。

Part 2 : 関連技術との比較

正方形は便利だが、黒縁は縁起が悪い？

— AR や MR の位置合わせ手法の研究は活発なようですが、ARToolKit の位置づけを、他の人工的なマーカーと比較してお話し下さい。

加藤 マーカーベース・トラッキングの中での位置づけをしるということですね。ARToolKit の開発は約 10 年前ですが、当時既にいくつか類似の提案はありました。暦本さんが作られたソニーのサイバーコードはもう発表されていましたね。その中で ARToolKit の大きな違いは、マーカーのデザインやトラッキング技術の違いというより、ソフトウェアのパッケージとしての提供形態だと思います。ソースコードを公開したので、誰でも好きに改良することもできたし、AR の位置合わせの仕組みを勉強することもできた訳です。

ARToolKit は正方形のマーカーを使っていますが、同心円パターンも以前から有ったし、円の中にパターンを描いたマーカーも登場しています。位置合わせには現実世界の特徴点を複数個見つける必要があります。正方形や長方形は頂点から四つ情報が取れますが、円だと基本的には中心の 1 点しか取れないので、円形マーカーは複数配置しないと位置決めできない。そうした実用上の利便性から、正方形マーカーが一番よく使われているのかなと想像しています。

その後の研究開発でもそれほど新しいものはなく、ロバスト性の向上や、精度の向上に主眼が置かれています [6]。ARToolKit でも少し照明が変化すると、今まで出ていた CG が出なくなったり、ちょっと指が被っただけで消えてしまうという問題がありました。CG がブルブル震えるように見える現象を抑えるためのアルゴリズムの工夫など、精度向上を図る研究も多く見られるようになってきました。また、正方形の中のパターンの識別は、ARToolKit では高々数十種類くらいが限界ですが、千種類のマーカーを識別できるような技術が登場しています。研究的には大きな変化はなくても、マーカーをデザインし、配置し、AR の実用的な問題を解決してくれるサービスとして、ビジネスにしている企業もいくつかありますね。

ARToolKit のマーカーは白黒がはっきりしたコントラストで、これを沢山使うとあまり見た目も良くありません。日本だと、黒縁というのは縁起が悪いと言われる (笑)。そのためか、あまり景観に影響を与えないようなタイプのマーカーを使った位置合わせ技術というのも研究されるようになってきています。

マーカーは永久に不滅です

— マーカーレス手法に関しては、どう見ておられますか？

加藤 人工的なマーカースを使わずに、自然特徴だけで簡単に位置合わせできるなら、それに越したことはないのは誰でも分かりますね。僕自身も勿論マーカース技術の研究はしていて、2003年頃から論文発表[7]もしているのですが、どうも ARToolKit の印象が強くて、マーカースだけだと思われるようで……（笑）。

古くからマーカースの研究は沢山あり、マーカースではない普通の紙をパッと出して、そこに CG を表示させる完成度の高いものもあります。携帯電話でもリアルタイムで動くものもできています。しかし、いきなり屋外に出て、マーカースを全く使わずに確実に位置合わせしようとなると、簡単ではありません。そのためにビジョン技術だけではなく、GPS と組合せてセンサフュージョンでやる方法が研究されています。

— PTAM が話題のようですが……

加藤 オックスフォード大学で開発された手法で、Parallel Tracking And Mapping の略ですね。マーカースの手法としては、他の研究と大差ありませんが、事前の準備が不要というのが大きな特徴かと思います。この PTAM も ARToolKit と同様、ソースコードが公開され、ダウンロードして利用できます[8]。ダウンロードしてインストールすれば、準備なしですぐに位置合わせができるということから、人気が出て広まっているようです。

今も世界中で研究されていますが、現状のマーカースのトラッキングは、どんな環境でも使える万能の方法はなく、精度的にも十分良いものは実現できていないので、今後もまだまだ研究が続くと思います。それを見越して、いま複合現実感研究会では位置合わせ手法のベンチマークテストのやり方やテスト用データを検討しています。TrakMark というのですが、この特集号でも解説があるはずです。

そうしてマーカース技術がどんどん進んでくると、マーカースを使う技術はもう不要かということ、そうはならないと思います。マーカースの完成度がいかに上ろうとも、人工的なマーカースも残るはず。マーカースはコンピュータのためだけでなく、人間のためのマーカースもあるからです。分かりやすいマーカースがないと、どこに情報が隠されているのか分からない。マーカースがあれば、そこを見ればコンピュータの中の情報が重なって出て来るというのが一目瞭然なので、そういう使い方は残ると思います。

もう一つ考えられるのは、3次元ユーザインタフェースとして、この種のマーカースを使うやり方です。僕の研究としては、Magic Paddle [9] と名付けたデモシステム（図4）で、しゃもじ状のデバイスの表面にマーカースを貼り、それを対話デバイスとして使いました。3次元マウスのような機能を持たせた訳ですが、こうしたインタ

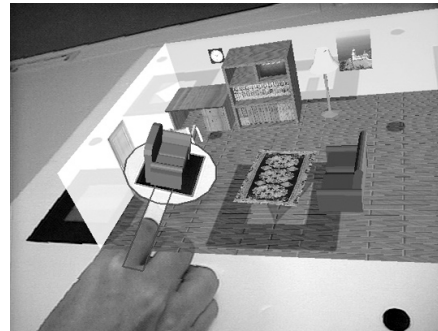


図4 マーカースをつけた Paddle で家具を操作
＊口絵にカラー版掲載

フェースの実現方法としての使い方も残るんじゃないかと考えています。

Part 3：AR ブームをどう見るか

初音ミクで騒がれると不機嫌に

— 今の AR ブームは、どう見ておられますか？

加藤 最近のブームには、二つのタイプがありますね。一つは、さっき話した面白いコンテンツをホビーで作っている世界です。バーチャルタレントの初音ミクを登場させたり、自分の好きなキャラを実際の机の上に登場させたり、CG コンテンツの新しい楽しみ方として面白がられているようです（図5）。ARToolKit を使うだけでなく、物理シミュレーションのエンジンを組み込んだり、踊らせるためのモーションデータも提供したりとか。相当気合が入っていますね。YouTube やニコニコ動画を見ると、完成度の高いコンテンツが多いのに感心します。そういう趣味の世界に刺激されてか、広告媒体として AR コンテンツ作成を請け負う会社も、何社か出て来たようです。

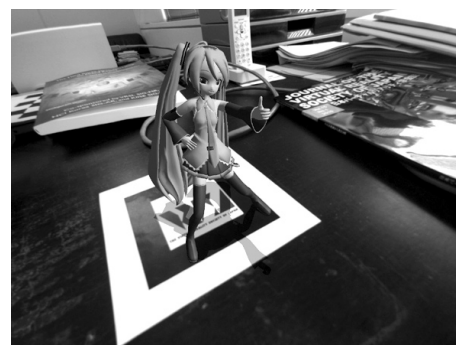


図5 AR ブームを巻き起こした大スター

もう一つのブームというのは、携帯電話を使った利用形態ですね。もう携帯電話にカメラがついているのは当たり前で、最近は GPS やコンパスなども付くようになりました。となると目の前の映像は画面に映せる

し、大体の位置も分かるので、その場所に合った情報を重ねて出せる。携帯電話のアプリとしては、何か他と差別化したいという点で、AR が注目されるようになったのかと思います。特に、iPhone のアプリとして、セカイカメラ [10] がインパクトを与える登場の仕方をしたので、注目を集めましたね。もう日本だけのブームではなくて、刺激されて、ヨーロッパでもアメリカでも似たブームが始まっているようです。

ブームで話題になるのはいいのですが、最近のクリエイターのやっているホビーは、実写と CG の合成技術であっても、それが本当に AR なのか少し首をかしげたくあります。本来の AR を目指してきた者からすると、初音ミクを出してワァーワァー騒ぐことを目指していた訳ではないという思いもあります。技術をアピールするために、我々も SIGGRAPH でエイリアンを出していたから、偉そうには言えないんですが（笑）。

— どういうところを目指されていたのですか？

加藤 それは、AR とは何なのかという原点に戻って来ます。「拡張現実」という言葉の通り、AR は現実を拡張すること、我々の日常生活の場である実世界の中での活動をサポートしたいという思いがあったからです。それは、工場での組立て作業や点検作業であったり、医療での診断のサポートであったり、何か現実世界の困難な仕事の支援をしたい、役立てたいという思いが強かった訳です。別に初音ミクが出てきて、我々の日常生活での作業が支援される訳ではない。中にはそれで潤いを感じる人もいでしょうから、少しは役立っているのですが、やっぱりこういう騒ぎばかりだと、当初の意図とはだいぶ違うなと……

— ブームになればなるほど加藤先生が不機嫌だと聞いていましたが、その理由がわかりました（笑）。

本来はハンズフリーであって欲しい

加藤 もう一方のモバイル端末のブームの方も、それで携帯電話に色々なセンサがつくのはいいのですが、手に何かを持って、かざして見るというやり方は、AR としては不本意だし、我々の活動や作業の支援には限界がありますね。本来 AR 技術が持っているコンセプトを満たしていないし、潜在能力の全てを引き出せるわけではないと感じます。

そもそも AR や MR は、ヘッドマウントディスプレイのようなデバイスを使って、普通にしている、まさにこの目の前に情報や物があるように見えることを目指してきたのです。HMD をかけるのも煩わしいことは事実ですが、本質的には AR はハンズフリーで自然な立体視ができる形態です。究極の形は HMD もない方がいいですね。手に持つなら、何か別の対話機能のデバイスであ



「初音ミクが出て来るのは、AR の本来の姿じゃないですよ」

るべきだし、小さなモニターがついたデバイスをかざして、そこに AR の結果が表示されるというのは、かなりのギャップがあると感じています。モバイル AR もかなり進んで、役に立つ使い方はされるでしょうが、AR の究極の形、理想形に近づくことにはならないと思います。

もう少し HMD の研究開発が進み、AR/MR 用の良い HMD ができてくれたらと思っているのですが、これは誰が研究するのでしょうかね？ 僕らもそういうところからきっちりと研究しないと行けないのですが、HMD はそれができる人にやってもらいたいなという想いはありますね。最近 HMD の進歩がほとんどないのが残念です。

— その点に関しては、歴代委員長の座談会も全く同じ意見だったようです。もし今の携帯電話での AR ブームが火付け役になって、HMD 開発が見直されればいいのですが、逆に AR はこの程度のものかと思われて、そこで終わってしまうと残念ですね。

加藤 残念というより、ブームのあるなしにかかわらず、研究者としては、やはり我々がどんどん技術を積み重ね、理想形に近づくよう研究して行くべきですね。そうやって初めて AR 本来の特長が現れて、世の中を良くする技術になるのだと思います。

Part 4 : AR 研究の進むべき道

無政府状態には情報フィルタリングを

— 理想形に近づくためには、日本や世界の AR/MR 研究はどこに向かうべきでしょうか？ あるいは、当学会の SIG-MR の委員長として、どういう方向に誘導して行かれるおつもりでしょうか？

加藤 AR/MR 研究の最先端は、これまで重心がかなりトラッキングに寄っていましたね。それも大事ですが、もう少しアプリケーションを意識して、そちらに重心を移してもいいのではと思っています。そうしないと、本当に使える技術として育って行かない気がします。実問題に直面してこそ、重要な研究課題が見つかり、解決策も見つかり、発展するはずですよ。

その一つとして、情報フィルタリングもしっかり考えるべきですね。今のモバイル機器での AR でオモチャ

のようなアプリケーションが始まっていますが、ARで重ねて見る情報を取捨選択してくれるメカニズムがないと、利用者は混乱するだけです。例えば、いまのWebコンテンツが何でこれだけ伸びたかと言えば、Googleのような情報検索のツールが頑張っていて、それを誰でもが普通に使えているからです。情報を探してくれると同時に、大事なものをしっかり順位付けしてくれている。それが有り難いわけです。

— セカイカメラのエアタグなど、皆が勝手に登録するので、無政府状態で無茶苦茶になっているという意味ですか？

加藤 そうです、そうです。ARで情報を重ねて表示する機能だけをリリースしても、コンテンツがあまりにも膨大になってくると、管理し切れなくなる。ARのアプリケーションを提供するなら、表示する情報を取捨選択できるフィルタリングの機能を一緒に組み込んでおくべきだと思います。

もう少し正確に言うなら、ARでの情報の出し方は2つに大別できます。一つは、工場での組立てやミュージアムでの案内のように、限られた場所での限られた用途でのアプリケーションには、コンテンツも一緒に仕込んでおけばいいわけです。どの場所でどういう状況で何を出すかを、予め決めておいて作り込めば済みます。もう一つは、さっき出たエアタグのように、誰もが好き勝手に色々な情報をどんどん登録できるような世界です。この場合には、全部画面に出て来ても困るし、大切な情報だけを選び分ける情報フィルタリングの機能が不可欠だと言っているわけです。

— ビューマネージメント機能が必要だということですよ？

加藤 いや、ちょっと違います。ビューマネージメントは表示すると決まった情報の見せ方ですから、それ以前にまず情報の取捨選択の仕組みが要ります。ビューマネージメントはそれからの話で、見やすいように見せるとか、網膜には映っていても人間に理解できないと困るので、見やすいように見せるとか、見せ方の工夫や演出法の研究です。光学的整合法も関係してくるので、これはARというよりMR寄りの技術になりますね。

化石になるにはまだ早い

加藤 本当に言いたかったのは、ARやMRにはまだまだ研究すべきことが一杯あるということです。これだけARToolKitが広く使われ、マーカーレスもある程度できて、PTAMもダウンロードできるようになったことから、AR技術の成熟度はかなりのところまで来たと考える人が結構いるのです。VR学会の会員はそうではないでしょうが、最近AR/MRに興味をもった一般人には、

確実にそういう風潮が感じられますね。

情報フィルタリングは、これから取り組むべき沢山の研究課題の一つとして挙げただけです。AR技術が情報を提示するプラットフォームとなって行くには、そうした要素技術や関連技術を整備して、アプリケーションを開発する人が適宜使い分けできるようなレベルにまで到達させる必要がある。研究している人間が言うのも変ですが、その意味では、まだこの分野は未成熟です（笑）。

— まだ化石になるには早過ぎるのですね（笑）。

加藤 VR学会の中でSIG-MR（複合現実感研究委員会）を中心に、MRのコミュニティが出来上がっていますが、研究者だけでなく、もう少し色々な分野の人にこの輪の中に入って来てもらい、皆で一生懸命この分野を盛り上げて行きたいと考えています。

参考文献 / URL

- [1] <http://www.hitl.washington.edu/artoolkit/>
- [2] <http://artoolkit.sourceforge.net/>
- [3] http://studierstube.icg.tu-graz.ac.at/handheld_ar/artoolkitplus.php
- [4] <http://www.adobe.com/jp/newsletters/edge/february2009/articles/article1/index.html>
- [5] <http://kougaku-navi.net/>
- [6] 加藤博一：AR/MRにおける幾何位置合わせ手法の現状－人工マーカを使った手法の研究動向と課題－，第14回日本VR学会大会論文集（2009）
- [7] H. Kato, K. Tachibana, M. Billinghurst, M. Grafe: “A Registration Method Based on Texture Tracking Using ARToolKit,” Proc. Augmented Reality Toolkit Workshop (ART03), pp. 77 - 85 (2003)
- [8] <http://www.robots.ox.ac.uk/~gk/PTAM/>
- [9] H. Kato, M. Billinghurst, I. Poupyrev, K. Imamoto, K. Tachibana: “Virtual Object Manipulation on a Table-Top AR Environment,” Proc. Int. Symp. on Augmented Reality (ISAR 2000), pp. 111 - 119 (2000)
- [10] <http://support.sekaicamera.com/>

【略歴】

加藤 博一（KATO Hirokazu）

1986年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1988年同大大学院修士課程修了。1989年同助手。1996年講師。1998年ワシントン大学HIT Lab客員研究員。1999年広島市立大学情報科学部助教授。2003年大阪大学大学院基礎工学研究科助教授を経て、2007年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科教授。博士（工学）。拡張現実感、ヒューマンインタフェースの研究に従事。本学会複合現実感研究委員会委員長、ヒューマンインタフェース学会、電子情報通信学会、IEEE等各会員。