スタジオ番組用移動ロボットカメラの開発

Development of Mobile Robot Camera in TV Studio

正会員 津田 貴生[†], 正会員 武藤 一利^{††}, 正会員 柳澤 斉^{††},
正会員 奥田 誠^{††}, 正会員 井上 誠喜^{††}

Takao Tsuda[†], Kazutoshi Mutou^{††}, Hitoshi Yanagisawa^{††}, Makoto Okuda^{††} and Seiki Inoue^{††}

Abstract We have developed a mobile robot camera that can move in any lateral direction, as well as up and down, as a tool for efficient program production. The system adopts methods that utilize a gyrosensor and the number of wheel revolutions to determine the camera's position, and that enable a high degree of positioning accuracy. It also uses a unique filming algorithm that simulates the operation methods used by human camera operators. Therefore, the robot camera can shoot scenes with natural camerawork. Moreover, we have developed a highly accurate image composition system using this mobile robot camera as a tool for the efficient production of HD virtual studio programs. The system is currently being operated on a continuous basis as a practical camera in live broadcasts as well.

キーワード：ロボットカメラ, バーチャルスタジオ, 自動撮影, カメラワーク, 移動ロボット

1. ま え が き

ロボットカメラの番組利用は、当初、屋外や高所での撮影や定点での連続撮影など、人では困難で手間を要する用途に限られていた。その後、ロボット技術の発展により、高速な雲台や高精度なセンサが比較的容易に入手できるようになり、高機能なロボットカメラが生まれている。現在でも、特殊撮影用のカメラ^{1) 2)}や高速な被写体を撮影できるロボットカメラ³⁾が放送現場で運用されている。

一方、番組制作者は、限られた時間、人員、予算の中で、可能な限り魅力的なコンテンツを効率的に制作したいという欲求を常に抱いている。上記のロボット技術を利用した番組制作は、魅力的なコンテンツが制作できる半面、特殊なカメラ装置であるため、新しい映像効果を生成する際には、そのシステムに精通したエンジニアや操作を熟知したカメラマンが必要であった。

われわれは、これらの問題を解決するため、「知的ロボットカメラ」を開発してきた^{4) ~ 6)}。このロボットカメラは、カメラマンが追尾撮影するときのカメラ操作を模した追尾

撮影アルゴリズムを導入することにより、見やすい映像を撮影することを目的としていた。ロボットカメラ側に撮影テクニックを持たせることにより、ユーザはロボットカメラに被写体を指定するだけで自動撮影するシステムを目指していた。

しかし、このロボットカメラはカメラ雲台のみで構成され、通常の番組制作で行われるスタジオフロアを自在に移動し、撮影することができなかった。そこで、より多彩な映像を効率的に撮影できるシステムを目指して、カメラ雲台だけでなくペDESTALもモータ駆動で動作する「移動ロボットカメラ」を開発した。すべての動作軸（パン、チルト、ズーム、フォーカス、移動）を同時にかつ正確に駆動できるため、カメラマンに近い動きを行うことができる。

今回、実際の放送番組で利用できるロボットカメラを目指し、スタジオ番組制作に耐えうる仕様を検討し、実機を開発するとともに、以下の二つの課題を解決した。

- (1) カメラを数十回移動させても、記録したカメラ位置（ショットメモリー）を再現できる。
- (2) 番組中に頻繁に行われるパンニング、ズーミング、移動ショット（ドリーショット）などのショットをカメラマンの操作と同等な撮影ができる。

1点目に関しては、カメラ位置の検出に従来技術であるタイヤの回転数を利用する方式の位置精度を改善する。従来の手法では、スタジオフロアとタイヤの摩擦係数の違いでタイヤのスリップなどが起こり、位置推定に誤差が生じる。特に左右のタイヤのスリップ差により、車体自体が回転し

2007年7月2日受付, 2007年9月21日再受付, 2007年10月26日採録

[†] NHK 放送技術局

(〒150-8001 渋谷区神南2-2-1, TEL 03-5455-4780)

^{††} NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 世田谷区砦1-10-11, TEL 03-5494-3345)

[†] NHK Broadcast Engineering Department

(2-2-1 Jinnan, Shibuya-ku, Tokyo, 150-8001, Japan)

^{††} NHK Science and Technical Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510, Japan)

て誤差を生じる場合、メモリーショットの再生映像が記録した映像と著しく異なる場合がある。そのため、ジャイロスコープを車体に装備し、ドリフトを抑えながら、車体の回転角を制御に反映させる位置補正アルゴリズムを用いることにより、移動精度を向上したことを示す。

2点目は、従来のロボットカメラの撮影が機械的でカメラ軌道を意図したように変更できない問題を解決する。カメラ位置が精度よく動いても、見やすい映像でなければ、放送で使用することはできない。そのため、パンニングやズームングの際には、カメラマンの操作から得られたカメラワークモデルを構築し、ロボットカメラに実装する。さらに、このカメラワークモデルを状況に合わせてユーザがパラメータを変更することにより、演出意図に沿ったカメラワークを自在に生成できることを示す。また、ドリーショット（移動撮影）への応用を考慮に入れたメモリーショットの新しい概念を提案し、有効性を示す。

最後にこれらの機能を盛り込んだ移動ロボットカメラと映像合成装置を組合せ、高精度映像合成システムを構築し、NHKの情報番組『つながるテレビ@ヒューマン』をはじめとするいくつかの番組で継続的に運用を続けている事例について紹介する。

2. 移動ロボットカメラ

2.1 機構系

移動ロボットカメラ（図1）は、パン、チルトとレンズ制御を行うカメラ雲台（以下、雲台）と前後左右上下に移動できるロボットペダスタル（以下、ペダスタル）で構成される。以下にそれぞれの特徴を述べる。

(1) カメラ雲台

カメラマンの操作に近く、微妙で細かい操作を実現するため、雲台のモータには、高精度のロータリエンコーダと高トルクでバックラッシュの少ないACサーボモータを採

図1 移動ロボットカメラ
Mobile robot camera.

用した。小型のハイビジョンカメラである池上通信機製HDL-37からハンディカメラであるソニー製HDC-950までアタッチメントを変更することにより対応できるよう設計している。

レンズ制御は、デジタル制御可能なレンズとロボットカメラ内部の制御PCをシリアル通信で接続することで、ズーム・フォーカスの位置計測と制御を行うことができる。事前にズーム位置と垂直画角を1対1で対応付ける変換テーブルと、カメラと被写体の距離から焦点の合うフォーカス位置を算出できる変換テーブルを作成しておき、必要に応じてテーブルを用いてレンズ制御を行う。

モータ・レンズ制御は映像のフィールド周波数(59.94Hz)に同期してなされ、内部ではその3倍にあたる約180Hzごとにフィードバック制御を行っている。繰り返し精度は、 $\pm 0.018^\circ$ （パン軸）であり、バーチャルスタジオでの使用や多重合成の素材撮影用のモーションコントロールカメラとしての使用も可能な仕様となっている。

(2) ロボットペダスタル

ペダスタルの機構を図2に示す。フロアの移動には、左右に2輪の駆動輪と前後に2輪の従動輪が独立に操舵ができる機構を採用し、車体の向きを変えずに全方向移動が可能である。カメラマンの操作分析からカメラを移動させる速度は最高80cm/secであることから⁷⁾、ペダスタルの最高速度を1m/secで設計した。これは従来機の4倍の性能⁸⁾であり、実際のカメラマンの操作と同等の移動ができる。通常カメラマンが扱うマニュアル操作用のペダスタルの3輪式に対し、安定性を重視し、4輪方式を採用した。これは約2mの高さにカメラを配置でき、最高速度1m/secの仕様を有するため、急停止時の転倒を防止するためである。垂直方向の移動には、高い位置精度と静音性を考慮し、リニアモータを採用した。リニアモータを垂直方向に配置し、コンストンパネを付け、常に雲台と錘がバランスの取れた状態で制御を行うことにより、モータに過度な負荷が掛からないよう設計した。

また、本体にバッテリーを搭載しており、約2時間のバッテリー運用が可能である。安全対策として、図3に示す四つ

図2 ロボットペダスタルの機構
Mechanism of robot pedestal.

図3 移動ロボットカメラの安全装置
Fail-safe devices.

の安全装置を搭載している。「移動方向表示LED」は移動方向が目視できるように車輪の向きに連動して点灯し、「緊急停止スイッチ」を本体に2ヶ所設けた。「赤外線検出センサー」は外周部4方向に3個ずつ計12個取り付け、人や物体に近づくと停止するよう設計した。さらに最下部に「接触センサー」を取り付け、接触によっても瞬時に停止する。

(3) 移動ロボットカメラの仕様

移動ロボットカメラの仕様を表1に示す。

2.2 制御系

制御はすべて本体内部に配置された1台のPC (OS : Windows2000) で行われる。雲台・レンズとペデスタルに装備された7つの軸の制御と、LANを介した外部との通信を行う。制御ソフトウェアの構成を図4に示す。ソフトウェアは、後述する撮影アルゴリズムを有する雲台・レンズ

図4 ソフトウェア構成
Software structure.

制御ソフトウェアと、ペデスタル制御と外部との通信を担う上位アプリケーションに分けられる。上位アプリケーションを介して雲台・レンズを制御することにより、カメラポジションに同期した制御が可能となり、見やすいドリーショットや場所に合わせた撮影が可能となる。

3. 移動ロボットカメラの位置検出

従来から行われて来た移動ロボットの位置検出には、タイヤの回転数を利用した自己検出方式、外部センサを用いて外から位置を与える外部検出方式、さらにそれらのハイブリッド方式が考えられる。移動ロボットカメラの位置検出には、できる限りセッティングが容易なシステムを目指し、自己検出方式を採用した。初期化時の位置を基準として、駆動輪の向きと回転数で、現在位置を推定する。しかし、簡易な手法な半面、走行する床の状態により駆動輪のスリップや駆動輪の摩擦係数の差により、内部で算出している推定位置と実際の位置に誤差が発生する。誤差の種類には、平行移動の誤差のほかに、車体の正面の向きが変化する回転方向の誤差(図5)が存在する。

ショットメモリーを再生した場合、平行移動の誤差よりも回転方向の誤差の方がカメラと被写体の距離に応じて誤差が大きくなるため、再生映像に大きな影響を与える。そこで、ロボットカメラ内部にジャイロスコープを搭載し、回転誤差を検出する。左右の駆動輪のスリップや摩擦係数の差によって生じた回転誤差は、ジャイロスコープにより角速度として検出される。ペデスタル制御を行うソフトウェア上でこの角速度を積算し、現在の回転誤差を推定する。得られた回転誤差は、操舵とパン軸の角度にオフセット値として重畳し、車体が回転していてもカメラの向きは記録された位置に正確に再現されるように補正制御が行われる。

タイヤのスリップなどで回転誤差を生じる主要因はカメ

図5 回転誤差
Rotation errors.

表1 移動ロボットカメラの仕様
Specification of mobile robot camera.

カメラ雲台	
最高速度	パン : 360deg/s
	チルト : 180deg/s
動作範囲	パン : +180 ~ -90deg
	チルト : ±45deg
分解能	パン : 0.0018 度
	チルト : 0.0009 度
ロボットペデスタル	
位置再現精度	±10mm
走行速度	2~1000mm/s
昇降再現性	±0.5mm
昇降速度	1~500mm/s
昇降範囲	1170~1900mm
最大搭載重量	25kg
供給電源	AC100V (内部バッテリー 24V DC)
台車寸法	800×840×970mm
台車重量	約 200kg

図6 往復動作中のパン角度の変化 (① 補正なし, ②補正あり)
Change of pan angle while camera movement.
(1: error correction OFF, 2: error correction ON)

図7 映像による比較 (上部: 初期位置, 下部: 補正の有無)
Comparison of resulting video pictures.
(above: initial position, below: error correction ON/OFF)

ラの移動時に起こるが, ジャイロ스코ープで常に角速度を検出すると, 副作用としてドリフト現象 (静止時でも微小誤差の蓄積により回転角度が変化する現象) により, 静止中でも回転誤差を検出する。そのため, 走行時のみ角速度を積算することでドリフトによる影響を軽減し, 誤差を正確に計測する。

回転誤差の主要因がどの程度軽減できるかを実験により示す。パン角度を 0° に設定し, 距離2mを20往復した場合のパン角度の変化を図6に示す。また補正制御の有無による画像の比較を図7に示す。補正制御がない場合には, 20往復後のショットメモリのパン角度が 10° ずれ, 前後方向に300mmずれていたが, 補正を加えることにより, パン角度のずれが 0.7° , 前後方向のずれが60mmに改善された。今回の実験により, 補正を加えることで位置精度が1/5に, 画面中心の位置が5m先で6cm程度のずれに抑えられることがわかった。床の状態に依存するが, 通常のスタジオフロアであれば, カメラ位置を20回程度変更しても撮影映像に影響することはなく, 運用可能であることを確認した。

4. 移動ロボットカメラによる撮影

4.1 構図を記録するメモリーショット

従来のロボットカメラのショットメモリーは, 角度やエンコーダの値を内部メモリーに記録し, ユーザの指令により, まったく同じ角度やレンズの位置が再現される。移動ロボットカメラでは, パンやチルトの角度では記録せず, メモリーショットで画面の構図を記憶する。具体的には,

図8 構図を保持したカメラ位置の変更
Change of camera position while keeping image composition.

図9 ツーショットを意識した撮影
(上段: 初期フレーム, 下段: 最終フレーム)
Moving in for a two-shot.
(above: initial frame, below: end frame)

3次元空間内でどの平面を撮影しているかを記録する。図8に例を示す。いすに座っている男性のバストショット (胸から上のショット) を記録する場合, ロボットカメラの内部メモリーには, 撮影範囲の中心位置の3次元座標とその平面の高さを記録する。撮影範囲は, フォーカス量から算出されるカメラと被写体の距離とカメラの向き, ズーム量により決定される。これにより, カメラ位置が変化しても, 新たにショットメモリーを記録することなく, 男性のバストショットを撮影できる。図8に示すような移動しながらの撮影や撮影場所まで移動する時間がなく, カメラ雲台のみで被写体を撮影したい場合に, 有効に機能する。図9に本手法を用いた応用撮影を示す。これはカメラを高い位置から左に移動しながら低い位置まで動かしながら撮影する

図10 ドリーイン・ズームバックの例
Dolly-in/zoom-out.

ドリーショットである。移動ロボットカメラへは、図9の下段の構図(最終フレーム)を記録し、上段(初期フレーム)のカメラポジションから記録したショットメモリーを再生する指令を出す。カメラは徐々に移動を始めるとともに、最終フレームであるツーショットになるようにカメラ雲台の動きを自動調整している。撮影途中の中段の映像も二人の配置を中心におくよう意識した構図となっていることがわかる。

また、本手法を用いて、マニュアル操作では困難な撮影を行った例を示す。移動ロボットカメラが被写体である人物に対して近づいたり、離れたったりしても、人物の画面内の大きさを一定に保つ撮影手法(ドリーイン・ズームバック)を図10に示す。これは人物の心情を表す映像効果としてドラマなどで使用される撮影手法であるが、カメラマンにとって、多くの制御を同時に行わなければならない複雑なカメラ操作である。移動ロボットカメラでは、上記同様、被写体のバーストショットをショットメモリーに記憶し、移動ロボットカメラを前後に移動させるだけで、撮影することができる。図10の撮影例では、移動ロボットカメラを被写体の手前7mから1mまで移動させた。カメラと被写体の距離に応じて、カメラの画角とフォーカスを調整し、背景の見え方は変わるが、画面内の被写体の大きさは保持していることがわかる。

4.2 カメラマンの操作に基づいたカメラ制御

放送番組では固定ショットだけでなく、パンニングやズームインといった動きのあるショットも多用される。従来のロボットカメラでは、二つの記録されたショットを動く場合、一意に軌道が決定され、しかも機械的な動きであった。カメラマンは、初期位置と最終位置が同じであっても撮影意図に応じて、カメラワークを変更し、見やすい映像を撮影する。

そこで、2点間のショットメモリーの移動軌道を自在に変更できるアルゴリズムを考案し、本装置のカメラ雲台の制御に実装した。本手法は、ショット中のカメラの動きをカメラマンの実際の操作データを近似した連続関数を用いて生成することができる。そのため、カメラのパン、チルト、ズーム、フォーカスの動作が滑らかで自然なカメラワ

図11 カメラ操作の基本モデルの生成方法
Generation of basic camera operation model.

ークを実現できる⁹⁾。

図11に模式的にカメラワークの近似関数の生成方法を示す。各軸のカメラワーク波形を加速波形と減速波形に分け、それぞれに対し、時間と速度の正規化を行う。この正規化したカメラワーク波形を連続関数で近似する。加速と減速の総時間に対する加速時間の割合を、加速から減速への切替え点 α とする。これら二つの関数と一つの変数 α を一つの操作軸に対する基本モデルとし、パン、ズームイン、ズームアウトの近似関数の関数列を基本のカメラワークとする。チルト軸は文献4)の結果からパン軸と同一のモデルとした。今回、近似のための連続関数は、実測データとの相関係数とロボットカメラの制御装置の処理量を勘案し、6次の多項式を用いた。

次に基本モデルを用いて、 t_1 秒で角度 $P_1 \sim P_2$ までパンニングする際の駆動制御を述べる。加速波形の近似式を $F_{\uparrow}(x)$ 、減速波形の近似式を $F_{\downarrow}(x)$ 、切替え点を α とする。意図するカメラワークの駆動波形を生成するため、移動量とショット時間に応じて正規化された関数の変形が必要となる。移動量は、速度-時間のグラフにおいては面積として表されるので、ショット中の最高速度を変更し、移動量に見合う波形を生成する。加速/減速波形は連続関数であり積分可能であるが、モータの駆動には離散的に指示値を与える必要があるため、移動量(面積)の計算は、数列の和として表わされる。1秒間にモータを制御する回数を C とすると、正規化された加速/減速関数で t_1 秒間制御した時の移動量 S は、切替え点における時間が $t_0 = t_1 \times \alpha$ となるので、以下の式となる。

$$S = \sum_{n=0}^{t_0 \times C} \frac{1}{C} \times F_{\uparrow}\left(\frac{n}{t_0 \times C}\right) + \sum_{n=0}^{(t_1 - t_0) \times C} \frac{1}{C} \times F_{\downarrow}\left(\frac{n}{(t_1 - t_0) \times C}\right) \quad (1)$$

$F_{\uparrow}(x)$ と $F_{\downarrow}(x)$ は最大値が1の正規化された関数であるため、角度 P_1 から P_2 にパンニングするための最高速度 $V_{\max}$ は以下の式で計算できる。

$$V_{\max} = \frac{P_2 - P_1}{S} \quad (2)$$

これから、時間 t におけるモータの指令値 $q(t)$ は以下のよう算出される。

$$q(t) = \begin{cases} V_{\max} \cdot F_{\uparrow} \left(\frac{t}{t_0} \right) & 0 < t < t_0 \\ V_{\max} \cdot F_{\downarrow} \left(\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \right) & t_0 < t < t_1 \end{cases} \quad (3)$$

これにより、ショット時間や移動量を任意に設定することができる。

図12に撮影例を示す。直立している人物の全体像からアップショットまで10秒間でズームインを行うカメラワークを考える。このカメラワークではズーム軸とチルト軸の動きの組合せにより、カメラの動く軌道が決定される。そのため見やすい映像を撮影するために、二つの軸のカメラワーク波形を調整して行う必要がある。カメラマンがこのショットを行う際には、ショット中、どこでカメラの動きを止めても映像の構図が乱れないように、被写体の頭上のスペース(ヘッドスペース)に気を配りながら撮影している。移動ロボットカメラでショットを設定する際には、図13に示すように、チルト軸の最高速度となるタイミングをマニュアルで初期値よりも後半へ移動させた波形を用いて駆動することにより、意図するカメラワークを実現することができる。設定をしなかった場合の失敗例を図12(f)に示す。2軸の協調動作ができていないため、頭が画面から外れている。また、パン軸、チルト軸、ズーム軸を同時制御する必要があるショットにおいては、パン軸とチルト軸の最高速度のタイミングを構図を確認しながら手動で調整することにより、自在にカメラワークを変更できる。

5. 番組への応用

5.1 高精度映像合成システム

通常、映像合成をする場合、映像合成専用スタジオで制作することが多い。通常のスタジオであれば、大掛かりな装置を事前に運び入れ、時間と人手を必要とする。われわれは、高い位置精度を有する移動ロボットカメラを映像合成装置と組合せ、簡易に映像合成が行える高精度映像合成システムを構築した¹⁰⁾。移動ロボットカメラ自身が自分の位置を正確に検出し、映像合成装置へデータを送信することができるため、映像合成装置の座標系とロボットカメラの座標系を合わせる作業のみで、短時間でカメラやCGの位置決めを行うことができる。そのため、通常のスタジオであっても簡易に映像合成を行うことができる。CG物体を描画・合成する映像合成装置は、カメラ位置やレンズデータを利用して、CG物体の大きさと向きを計算し、カメラ映像内の然るべき位置にCG物体を配置する。移動ロボットカメラを用いると、カメラ位置が正確に測定できた

図12 カメラワーク変更後の自動撮影
Automatic shooting with adjusted camerawork.

図13 チルト軸の切替え点変更による波形の変形 (凡例は切替え点)
Modification of waveform by adjusting the tilt axis cross-over point value.

め、3次元空間内に固定されたCG物体がスタジオ内に実際に存在するかのような合成映像を生成することができる。また、演出意図に合わせて、カメラワークを変更できるので、CG物体に対して動きのあるショットを自然なカメラワークで撮影することができる。

5.2 番組制作現場での運用

高精度映像合成システムは、これまでに下記の番組で数多く利用された。スタジオ風景を図14に示す。

- ・『つながるテレビ@ヒューマン』(2006年7月から2007年3月まで25回使用)
- ・『クローズアップ現代』(8回使用)
- ・NHKスペシャル『ふるさとからのメッセージ』(2007年1月1日放送)
- ・『日本のこれから』(2007年3月3日放送)

図15に、スタジオフロアに配置されたCG物体(トイレ)を撮影した例を示す。直前まで別の位置で撮影していた移動ロボットカメラを撮影ポイントまで移動し撮影を行った。正確にカメラ位置を把握しているため、カメラを操作

図14 『つながるテレビ@ヒューマン』での撮影風景
"Tsunagaru TV @ human".

図15 CG物体(トイレ)の映像合成例
(下図: 手前トイレのCGのクローズアップ)
A video image incorporating CG (toilets).

しても、トイレのCGが床に張り付いているように見える。

次に、固定ショットやズームインショットだけでなく、カメラ位置を変更しながらのショットなど、複雑なカメラワークを行った例を図16に示す。このショットは、カメラ位置を最高位置にして、CG物体(三日月)からズームバックを行い、スタジオ全体が見えた段階でカメラを最低位置までゆっくりと下げながら撮影するショットである。

リハーサル前にカメラマンやディレクターと構図を確認しながら、手動でカメラワークのパラメータを調整し、本番では撮影開始のタイミングのみ指示をもらい、撮影開始の操作を行うことにより、自動的に一連の撮影を行っている。

(a)

(b)

(c)

図16 カメラの位置変更を伴うショット
A shot taken while the camera is moving.

図16(a)から図16(b)へのショットでは、初期フレームの三日月位置からズームバックしながら、図16(b)の三日月の位置まで来るようにパン軸とチルト軸の駆動波形のパラメータを事前に調整した。また図16(b)から図16(c)のショットでは、画面上部から三日月が外れないようにチルト軸を調整し、撮影を行った。このように難度の高いシーンでも移動ロボットカメラを用いることにより、自然なカメラワークで撮影できることを確認した。

6. む す び

スタジオフロアを自在に移動し撮影できる移動ロボットカメラを開発した。ジャイロスコープを用いた位置計測とカメラマンの操作に基づく撮影アルゴリズムを導入することで、必要なカメラ位置から自然なカメラワークで撮影できるシステムを構築した。さらに、本システムを実際の放送現場に持ち込み、多くの番組で使用し、現場運用に耐えるシステムであることを確認した。

われわれは、カメラマンと移動ロボットカメラが共存して、番組を制作することにより、現在よりも豊かな番組を効率的に制作する手法を模索している。今後、複数のロボットカメラを用いた番組制作など、効率的で効果的な番組制作の研究を進めていきたい。

〔文 献〕

- 1) 関克哉：“Camsat－新型モーションコントロール撮影システム－”，映情技報，BCT2004-75（June 2004）
- 2) H. Masuda, A. Akahoshi, T. Nakazawa, K. Kataoka, D. Kato: "Development of a Compact Motion Control Camera System for HD Digital Broadcasting", SMPTE Technical Conference and Exhibition (2005)
- 3) 武田篤：“超高速カメラリモートシステム「S-DASH」を活用したスポーツ中継”，放送技術（Jan. 2007）
- 4) 加藤大一郎，石川秋男，津田貴生，福島宏，山田光穂：“カメラワーク分析と映像の主観評価実験”，映情学誌，53，9，pp1315-1324（1999）
- 5) 石川秋男，加藤大一郎，津田貴生，福島宏，下田茂，山田光穂，阿部一雄：“放送カメラマンのズーム計測法の検討と静止している被写体を撮影するときのズーム特性分析”，映情学誌，53，5，pp749-757（1999）
- 6) 津田貴生，吉村信一，畠山祐里，井上誠喜：“ネットワーク接続されたロボットカメラを用いた自動番組制作”，映情学技報，26，17（Feb. 2002）
- 7) 吉村信一，津田貴生，畠山祐里，井上誠喜：“ドリーショット分析による移動メカニズムの一検討”，映情学冬大，7-2，p.99（2001）
- 8) Vinten Radamec, <http://www.vintenradamec.com/sp2000.php>
- 9) 津田貴生，奥田誠，武藤一利，柳澤齊，井上誠喜：“カメラマンのカメラ操作に基づいたロボットカメラ制御手法の提案”，情報科学技術フォーラム，3，I-056，p.139-142（2006）
- 10) 津田貴生，奥田誠，武藤一利，柳澤齊，窪敬孔，伊達吉克：“移動ロボットカメラを用いた高精度映像合成システム”，映情学冬大，8-6（2006）

津田 貴生 1996年，大阪大学大学院工学研究科前期課程修了。同年，NHKに入局。放送技術研究所を経て，現在，放送技術局コンテンツ技術センター（番組技術開発）に所属。主に，自動撮影カメラの開発に従事。正会員。

武藤 一利 1980年，都立烏山工業高校機械科卒業。同年，NHKに入局。現在，放送技術研究所（人間・情報）に勤務。主に，自動撮影カメラの研究に従事。正会員。

柳澤 齊 1985年，早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1987年，同大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年，NHK入局。放送技術研究所，大阪放送局を経て，2006年より，放送技術研究所勤務。映像表現，高機能自動撮影システムの研究に従事。正会員。

奥田 誠 2000年，神戸大学大学院自然科学研究科前期課程修了。同年，NHKに入局。現在，放送技術研究所（人間・情報）に所属。主に自動撮影カメラの研究に従事。正会員。

井上 誠喜 1980年，東京大学大学院電子工学専攻修士課程修了。同年，NHK入局。1995～1998年，（株）ATR知能映像通信研究所出向。現在，NHK放送技術研究所（人間・情報）主任研究員。画像処理，映像合成の研究に従事。工学博士。正会員。