JAXA 平成 23 年度大気球シンポジウム 予稿集 II.工学-1. (2011 年 10 月 6 日)

高高度における臨場感ある全方位高解像動画の撮影

山澤一誠(福岡工業大学情報工学部,福岡市東区和白東3丁目 30-1, yamazawa@fit.ac.jp)

森岡 澄夫 (NEC システム IPコア研究所, 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753, s-morioka@ak.jp.nec.com)

仙田 修司 (NEC 情報・メディアプロセッシング研究所,神奈川県川崎市中原区下沼部 1753, s-senda@ap.jp.nec.com)

池谷 彰彦 (NEC 情報・メディアプロセッシング研究所, 神奈川県川崎市中原区下沼部 1753, iketani@cp.jp.nec.com)

アブストラクト

従来,地球環境観測等を目的とする気球や衛星などにおいて,搭載カメラで撮影した画像では視野が限られているために,撮影対象と周囲の状況 関係を俯瞰的に把握し,広範囲にわたる観測をすることが容易ではなかった.情報工学(画像処理)分野で研究が活発に行われている全方位画像 撮影・加工技術を利用すれば、対象と周辺状況の両方を含む画像を取得でき、問題解決につながると期待できる.そこで、NHK(日本放送協会)の 協力のもと、10 台の小型 HD カメラを大気球 B11-02 に設置して撮影実験を行ったので、結果を報告する.本課題の第一目的である臨場感ある全 方位動画像の取得は達成することでき、基本コンセプトの正しさについては実証された(平成 23 年 9 月 18 日に NHK 番組「宇宙の渚」で放映).た だしいっぽうで、フライト中に一部カメラに不調が生じたり、カメラ画像の結合に多大な手間がかかったり、といった技術上・運用上の問題も明らかに なったので、今後改良を進めたい.

1. 本研究の目的と意義

平面诱視投影画像

(変換画像)

画像変換

計算機

テレプレゼンス(遠隔臨場感)とは遠隔地の情景をユーザに提示しその場にいるのと同様の感覚を与える技術であり、遠隔操作や遠隔通信会議などにおいて利用されている。筆者らは周囲 360 度が撮影できるカメラを利用した全方位テレプレゼンスシステム(**図** 1参照)について研究を行ってきた[1-4]. 当初はアナログカメラとアナログ線を利用したテレプレゼンスであったが、PC の性能向上、デジタルカメラおよびネットワークの普及により、インターネットなどを介した全方位テレプレゼンスが可能になっている[1,3]. しかし、撮影機器が高価な特殊装置である事が、全方位テレプレゼンスの普及を妨げている(**図 2**). 民生用の撮影機器は、デジタルカメラのパノラマ作成モードや低解像度カメラにとどまっており、全方位テレプレゼンスに利用するには不十分なものしかない.

もし、撮影機器が低コストで容易に利用出来るようになり、ネットワークを介して多くの場所の様子を自由に把握できるインフラがある程度構築・整備されれば、各種公共サービス、ビジネス、エンターテイメントなどにおける全方位テレプレゼンスの活用が急激に本格化すると予想される. だが、前段階として、処理系が大幅に小型化・低電力化・高信頼化しなければならない(図3). ユーザが見

たい・利用したいシーンは、野外が圧倒的に多いと思われるからである. また、**図 3** のようなネットワーク環境を構築するにあたっては、高空・宇宙環境やそこへの輸送手段を活用することが重要である(**図 4**). 理由は

次のとおりである.
1. 観測したい地域へカメラを輸送する. カメラを撮影場所に予め陸路で設置しておけるとは限らず, 人が入れない地帯や災害被災地を撮影したいケースなどは十分考えられる.

- 2. 地上の俯瞰的観察には、高度があるほうが望ましい.
- 3. 地上に置かれたセンサの中継局を空中(もしくは宇宙)に配置できる.
- 4. ネット配信による擬似宇宙体験など、教育的・啓蒙的な効果が高い.
- 5. 気球や人工衛星そのものの運用支援を行いたい(周辺状況や機体状況の把握).

しかし,全方位テレプレゼンス・システムでは,複数カメラを用いて全方位を撮影するために画像データ量が多く,その処理能力,伝送能力,消

費電力などが、通常のカメラ以上に問題となる. そこで本研究では、高空・宇宙への適用実験を通し、全方位テレプレゼンス・システムをセンサ・ネットワーク等へ接続して一般へ普及させていくために欠かせない、小型化・高性能化・低電力化・高信頼化を推進することを目的とする.

これまで(基礎研究段階) 精密な専用撮影装置 高速PCで計算処理 (大型,数百Wの消費電力) 臨場感画像生成,認識、3D化, etc. これから(普及期) 安価・簡素なカメラで撮影 専用デバイスで計算処理 (小型,数百mWの消費電力) 認識,3D化, etc. いずれはセンサ内部へ集約・統合 図2 全方位テレプレゼンス処理系の小型・低消費電力化

全方位ビデオカメラ

全方位ビデオ

図1 全方位テレプレゼンス

2. 大気球B11-02に搭載したコンセプト実証システム

小型かつ低コストの全方位テレプレゼンス・システムで臨場感のある動画を取得できる,という基本コンセプトを立証したい.このため、平成23年6月8日に実施された大気球B11-02において、基本コンセプト実証システムを搭載して映像取得実験を行った.本システムはNHK(日本放送協会)の協力のもとで

設計・製作が行われ、平成23年9月18日のスペシャル番組「宇宙の渚」[5]中で、取得映像が放映された. すなわち、取得動画が一般放送にも耐える良質なものであることを立証する機会ともなった. なお、今回は広帯域(数百 Mbps)のリアルタイム無線伝送技術を確立できていないことから、映像データは機上でSDメモリ・カードへ録画することとなった.

ゴンドラには、10 台の小型 HD カメラを**図 5** に示す位置へ設置した. 装置の重量は、バッテリや取り付け治具などを全て合わせて、約 13Kg である(うち、バッテリが半分近く).

テレプレセンス・モジュールが小型・低電力化すれば、多くの場所に配置でき、 状況把握がどこでもできるように、 市街地 交通網 図3 テレプレゼンス・モジュールの小型化・低電力化の必要性 天体観測, 地球観測, 周辺状況把握, 機体状況監視, 擬似宇宙体験(ネット配信) 小型·低電力 全方位テレプレゼンス・モジュール 高空からの俯瞰的観測。 地上センサの中継や制御. 地上センサの投下

それぞれのカメラの様子を**図 6,7** に示す.このカメラは,市販されている安価な民生HDカメラを気球搭載用に大幅改造したものである. おもな改造箇所は以下のとおりである.

(改造点1) 撮像素子(CMOS)および画像圧縮 SoC については手を入れていないが、SD メモリ・カードへの映像記録回路をカメラ外へ引き出し、別ボックスに厳重に収容することとした(図 6).これは、着水時にカメラ本体が喪失ないし浸水することによって、撮影データが失われないようにするための措置である.本来、このように装置を分離してケーブルを引き回すのは、電気的設計の観点から極力避けたいが、今回はやむを得ないと判断し、シールド等を厳重に行うことで対処した.しかし結果的には、装置開発中にここがもっとも動作トラブルを起こしたので、次回からは見直すこととしたい.

(改造点2) 市販品のままではフライト中の環境 条件(温度, 気圧, 結露, 浸水, その他) にも耐 えられないため, 防寒対策, 放熱器設置, 電磁 波シールド設置, フィルムヒータ設置, 防水対策, 衝撃対策などを随所に施した. その様子を図 6 ~図8に示す.

(改造点3) 市販品のままでは電池(リチウムイオン), SDカード容量とも 3-4 時間の録画ぶんしかなく,全く不足している状況であった.しかも,リチウムイオン電池は,-10℃~-20℃ほどで使用ができなくなる.そこで,録画可能時間を 12時間以上に増加させるため,複数枚の SD カードを切り替えながら撮影するようにし(図8),電源としては二次電池ではなく-40℃動作保証された民生リチウム電池(一次電池,ディジタルカメラ用)を用いることとした.なお,カメラ本体の駆動電圧は3.7Vであるが,低温による起電力低下を見込んでバッテリ電圧はずっと高めにしてあり,DC-DC コンバータで電圧調整を行っている.

(改造点4) 以上は気球搭載機器における一般

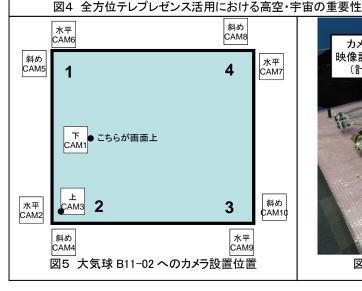




図6 カメラ本体と映像記録部を分離(浸水対策)

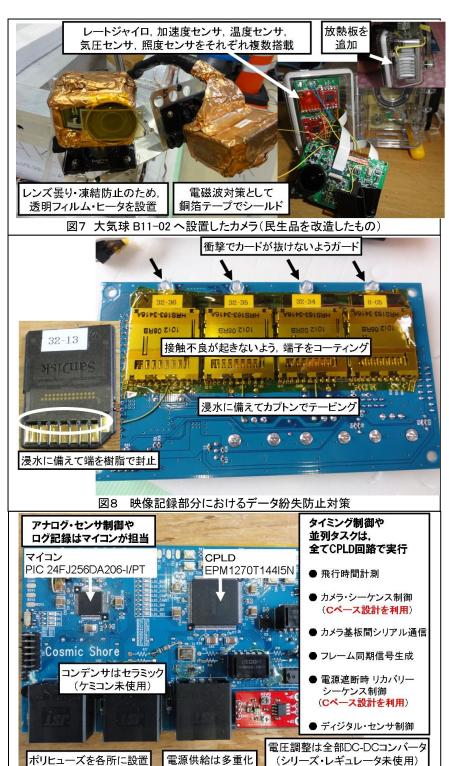


図9 映像記録部分に組み込まれたシステム制御機能

的な対策であると考えられるが,全方位 に独特な機構として以下がある:

A. カメラ 10 台の間で、どの映像フレームが対応するかを見つけられるよう、高精度で時刻合わせと時刻記録をする必要がある。このため、全 10 台を通信ラインで結ぶとともに、カメラ映像の音声ラインに時刻スタンプを入れる回路を設けた。

B. 各カメラの照度・向き・角速度・ヘルス データを記録し、映像の回転補正などに 利用できるようにした。

C. バッテリ低電圧や電源一時断などが 発生しても、一時録画停止や電源再投 入時の自動録画開始など、リカバリがで きる機構を設けた.

これらの機能は,映像記録部の回路に 一緒に作りこんである(**図 9**). 今回は並 列に実行しなければならない管理タスク が多く, いずれかのタスクにトラブルが起 きたとき他のタスク実行へ波及すると,全 システムがデッドロックしかねない. このた め、CPU でなく CPLD 上のフル・ワイヤ ード・ロジックで制御機構を実装し、マイ コンの役割はログ記録や ADC などに留 めてある. また, 各種シーケンス制御をフ ル・ワイヤード・ロジックで実現するために、 通常の HDL 設計ではなく, 動作合成(C **ベース設計)**[6]を使用した. これにより、 複雑なカメラ動作タイミング制御等の実 装でもバグがほとんど発生せず,組み換 えも容易に行えるようになっている.

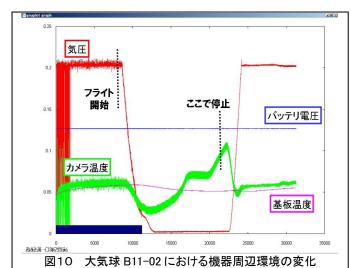
3. 大気球B11-02における全 方位画像撮影結果と考察

以上の機器のフライトを平成23年6月8日の大気球B11-02にて実施した.フライト後,得られた10個の動画シーケンスから全方位動画像を作成した.そのスクリーンショットを**図11上段**に示す.今回の撮影条件は,従来の全方位画像撮影条件と大きく違ったため,新たな全方位動画像作成アルゴリズムを開発した.その結果は9月18日のNHK番組「宇宙の渚」[5]において放映されたが,スタジオの巨大スクリーンに投影しても十分なクオリティが保たれていた.広範囲の俯瞰的把握を可能にするというコンセプトの正しさが実証され,実験は成功であったと

いえる. また, 温度その他の条件が非常に厳しい環境でも撮影機器が動作したことから, センサ・ネットワークなど長期フィールド・ユースにも耐えるシステムにできる目処がたったことも, 成果である.

しかし、本手法を今後広範囲に展開・利用していくという技術的見地からは、幾つかの解決すべき課題が発見された:

(課題 1) 撮影装置の信頼性が完全とはいえない. 搭載した 10 台のカメラは, 離陸から着水に至る全フライト期間で完動したわけではなく, 停止した物もあった. カメラ停止後には, 図 11 下段のようにパノラマ画像に欠損が生じた. なお, カメラの一部が故障しても, 近傍の他フレームから穴埋め用の画像を切り出して補完することは可能である(番組放映映像ではこのような補完は行っていない). フライト後にセンサ・ログを解析したが, 図 10 のようにカメラ内部温度が大きく上昇していく過程で停止した物については, 真空中での放熱が不十分であった可能性がある(しかし断定はできない).



画像統合やゆがみ補正は、ソフトを開発し処理。まだ継ぎ目等が残るが、今後さらに改良する。

(c) NHK

カメラ1台分には、広角のため 中がみやフレア等がある

の補完は可能(NHK番組では実施していない)

大気球 B11-02 において撮影できた全方位画像

(課題 2) 撮影装置の故障検出機構やリカバリ機構が、まだ十分とはいえない、故障検出時にパワー・リサイクルを行ったりする機構が実装できていなかったため、一度撮影が停止したカメラはそのまま成り行き任せとなってしまった。

(課題 3) カメラ台数が最適化できておらず, 冗長系を構成できていないので, 1 台でも故障すると全方位をカバーできなくなる.

(課題 4) 回収した動画を全方位パノラマ化するうえで、高度な専門知識が必要であるとともに、多大な工数が必要である。また、装置の運用スタイルも工夫・改良が必要である。詳しくは、以下の二つが課題である。

(課題 4-1) 撮影後,得られた画像を解析し,各カメラの姿勢推定および光量推定を行い,画像の貼りあわせを行うが,カメラ動画間での対応点を見つけなければならない.しかし,それが非常に難しかった.通常,複数カメラを使用した全方位カメラの製作では,精密なアングル調整を行ってユニット

化した後ではじめて撮影に供することがほとんどである.しかし今回は、カメラ設置位置がゴンドラの四隅であり、ゴンドラに取り付けた状態では精密なアングル調整を行いきれなかった.

(課題 4-2) 貼りあわせ時に、カメラの画像ゆがみや、カメラ間の露出・ホワイトバランスの違いなどを補正しなければならない。自然な画像となるよう試行錯誤を繰り返し、変換式を調整するのに非常に時間がかかった。とくに、カメラ台数が少なかったために、カメラを広角撮影設定とせざるを得ず、ゆがみが大きくなる一因となった。

以上のような状況は、全方位カメラを実験室レベルではなくフィールドで利用していくうえでの課題が、新たに明らかになったとも言える.対応点発見の効率化など、学術的にも新しい研究テーマを示唆するものである.

4. まとめ

従来,全方位動画を今回のような厳しい 環境下で,しかも低コスト民生品で撮影した

事例はほとんどなく、装置開発の観点からはあらゆる事項が挑戦であった。また、画像処理の観点でも、精密に調整された機材で撮影する実験室用システムとは異なり、曖昧な機器調整のもとで得られた画像を統合するという、難しい作業を強いられた。それにも関わらず、NHK 番組「宇宙の渚」[5]の放映に足る十分なクオリティの画像を取得でき、基本コンセプトの正しさが実証されたことは大きな成果である。今後、実験の繰り返しなどを通じて、技術としての完成度を高めたい。

謝辞

今回の大気球 B11-02 フライトを実施するにあたり、多大なる御支援・御協力をいただいた「宇宙の渚」ご担当の NHK 田附英樹氏、井上智広氏、福原暢介氏、およびスタッフご一同に深く感謝いたします。

参考文献

- 1. 山澤 一誠: "GPU により画像変換した全方位ビデオテレプレゼンス", 第52回自動制御連合講演会講演論文集(CD-ROM) F6-3, 2009.
- T. Ishikawa, K. Yamazawa, and N. Yokoya: "Novel view telepresence using multiple omni-directional live videos", ACM SIGGRAPH2006, Research poster. 2006.
- 3. 山澤 一誠, 石川 智也, 中村 豊, 藤川 和利, 横矢 直和, 砂原 秀樹: "Web ブラウザと全方位動画像を用いたテレプレゼンスシステム", 電子情報通信学会論文誌(D-II), Vol. J88-D-II, No. 8, pp. 1750-1753, 2005.
- 4. 山澤 一誠, 尾上 良雄, 横矢 直和, 竹村 治雄: "全方位画像からの視線追従型実時間画像生成によるテレプレゼンス", 電子情報通信学会 論文誌(D-II), Vol. J81-D-II, No. 5, pp. 880-887, 1998.
- 5. NHK「宇宙の渚」ホームページ http://www.nhk.or.jp/space/nagisa/
- 6. 森岡澄夫: "特集第1章 LSI/FPGA 設計の現状と今後", CQ 出版社 インターフェース誌 2011 年 2 月号 pp.48-59.