

建設技術研究開発費補助金総合研究報告書

1. 研究課題名

迅速かつ効率的な復旧・復興のための災害対応マルチプラットフォームの開発

2. 研究期間

平成 26 年度～平成 27 年度

3. 代表者及び研究代表者、共同研究者

代表者及び研究代表者、共同研究者を下記に示す。

表 3.1 代表者及び研究代表者、共同研究者一覧表

区 分	氏 名	所属機関・職名
代 表 者	吉田 貴	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
研究代表者	吉田 貴	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	森下 博之	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第一部 主任研究員
共同研究者	岩崎 辰志	(一財)先端建設技術センター 先端建設技術研究所 研究第二部 主任研究員
共同研究者	石丸 慶三	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	奥出 英博	(一財)先端建設技術センター 企画部 参事
共同研究者	藤野 健一	(国研)土木研究所 技術推進本部 主席研究員
共同研究者	茂木 正晴	(国研)土木研究所 技術推進本部 主任研究員
共同研究者	猪原 幸司	青木あすなる建設(株)土木技術本部土木リニューアル事業部担当部長
共同研究者	黒木 宏忠	青木あすなる建設(株)土木技術本部土木リニューアル事業部担当課長
共同研究者	早瀬 幸知	(株)大本組 土木本部 技術部 次長
共同研究者	藤澤 秀行	(株)大本組 土木本部 技術部 技術課長
共同研究者	北原 成郎	(株)熊谷組 土木事業本部 機材部長
共同研究者	坂西 孝仁	(株)熊谷組 土木事業本部 機材部 担当部長
共同研究者	田中 勉	西松建設(株) 技術研究所 土木技術 Gr 上席研究員
共同研究者	田口 毅	西松建設(株) 土木事業本部 機材部 機電課長
共同研究者	川上 勝彦	(株)フジタ 建設本部 土木 EC 機械部 主席コンサルタント
共同研究者	野末 晃	(株)フジタ 建設本部 土木 EC 技術企画部 担当課長
共同研究者	栗本 正男	中日本航空(株) 航空事業本部 業務委託
共同研究者	河野 直樹	中日本航空(株) 航空事業本部 ヘリコプター整備部 リーダー
共同研究者	山口 秀樹	西尾レントオール(株)通信測機営業部建設 ICT 営業課長
共同研究者	佐藤 芳和	西尾レントオール(株)通信測機営業部建設 ICT 営業課営業主任

4. 補助金交付総額

43,125,000 円

## 5．研究・技術開発の目的

### 5．1 研究開発の概要

本研究開発は、災害地での遠隔操作のための支援システムの構築に関するものである。河道閉塞等の災害現場では、決壊の恐れからいち早く現場の監視を実現する必要がある。しかし、現状は、回転翼航空機（以下：ヘリコプター）によるスポットまたはバッチ（ある日、ある時）での監視が主流であり、夜間も含めた常時監視ができない状況にあるのも事実である。このことから、正確な現状把握ができない、または、把握に時間を要する事態やその後の対策が遅れることも考えられる。この現状を解消すべく、災害発生後、直ちに、空輸可能でそのまま設置した後、迅速に監視活動に入ることが可能である支援システムが必要であると考える。

このような条件から、ヘリコプターによる空輸、設置、回収が可能。傾斜地等でも容易に設置、回収できること。数日間の無人運転が可能であること。山岳地でも対応できるように多様な通信システムに有すること。災害地等フィールドの環境性に適用可能であること。等の機能を有する多目的な移動監視システム（以下：マルチプラットフォーム）の開発を行った。

具体的には、航空運搬事業で実績のあるVCT(Vertical Capture Transporter)を利用し、これに傾斜地等に設置可能な水平維持装置、空輸に対応可能かつ構成機器を組み合わせる搭載可能なフレーム、長時間稼働可能な電源システム、複数の画像等の伝送可能な通信システム、カメラ等の作業機能から構成された遠隔操作によるマルチプラットフォームを開発した。

### 5．2 研究開発の目標

研究開発の目標を下記のとおりとした。

ヘリコプターによる30分以上の空輸が可能な構造を持つこと。

ヘリコプターおよびVCTを利用した設置・回収を実施し、可能であること。

マルチプラットフォームが15°程度の傾斜地でも設置可能であること。

発電機、太陽光、バッテリー等により、搭載機器の稼働可能日数が3日以上であること。

携帯電話や無線LAN等の複数の無線通信により、山岳地等で稼働が可能であること。

2台以上のマルチプラットフォームによる無線中継により、通信機能を補完できること。

監視カメラでの遠隔地の監視（直接視通のない状況での監視）ができること。

GPSによる座標連続計測が可能で、かつ上記機能によりデータ通信ができること。



図 5.1 研究概要図

## 6. 研究・技術開発の内容と成果

### 6.1 研究・技術開発の計画の概要

本研究開発の計画と方法の概要および計画図を下記に示す。

#### (1) 計画と方法

災害状況を想定した必要な機能や空輸に対する諸条件から仕様を決定後に実験機を製作する。その後、航空試験等による予備試験により課題や問題点を抽出し、最終仕様決定後、試作機を製作することとした。

試作機を実証試験により実現性を確認し、その後の最終調整を経て、実用化を目指す。

#### 【平成 26 年度】

##### ・仕様決定

過去の事例等から、必要な機能、空輸等の諸条件の調査および整理を実施。

設置場所の想定（環境、離隔）、収集したい情報の整理、空輸可搬重量、設置撤去精度・高度、空輸に必要な強度、連続稼動時間、法規制

##### ・設計

##### ・実験機製作

##### ・予備試験

#### 【平成 27 年度】

##### ・最終仕様決定

##### ・プロトタイプ設計、(3)プロトタイプ製作

##### ・実証試験

##### ・最終調整

#### (2) 計画図

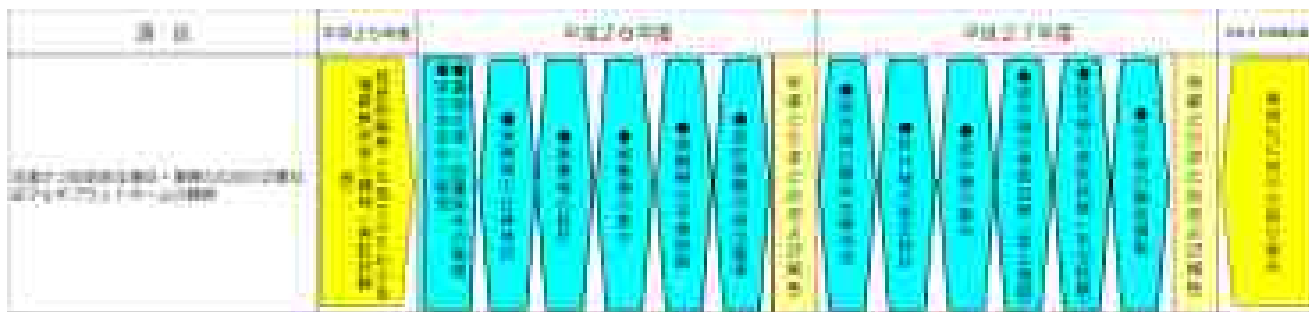


図 6.1-1 研究開発概要図

## 6.2 具体的な研究開発計画

具体的な研究開発計画と手順を年度ごとに示す。

### 【平成 26 年度】

#### (1) 仕様決定

過去の事例等から、災害状況を想定し必要な機能、空輸に対する諸条件の調査および整理を実施する。

設置場所の想定（環境、離隔）

収集したい情報の整理

空輸可搬重量

設置撤去精度、高度

空輸に必要な強度

連続稼働時間

法規制

#### (2) 設計

整理した仕様に基づき、概略設計と必要に応じて要素別に試作および実験を行う。この結果をもとに、詳細設計を行う。

#### (3) 実験機製作

詳細設計をもとに実験機を製作する。

#### (4) 予備試験

実験機を用いて、航空試験（ヘリコプターおよび VCT）を実施して課題点を抽出する。

### 【平成 27 年度】

#### (1) 最終仕様決定

予備試験から判明した課題点を考慮し、また周辺機器（ユニット）を含めた最終仕様を決定する。

#### (2) プロトタイプ設計

最終仕様に応じて、詳細設計を行う。

#### (3) プロトタイプ製作

詳細設計をもとに、プロトタイプを製作する。

#### (4) 実証試験

現地を想定した実証試験を航空試験（ヘリコプターおよび VCT）により実施する。

#### (5) 最終調整

実証試験の結果をもとに、構造とシステムの最終調整を実施し、実用化の資料とする。

上記に示す研究開発を進めるため、研究者を下記のグループに分け、それぞれ研究開発を行うこととした。次項以降に個別の Gr の研究内容を示す。

被災地条件整理 Gr

通信映像 Gr

構造体 Gr

電源システム Gr

実験 Gr

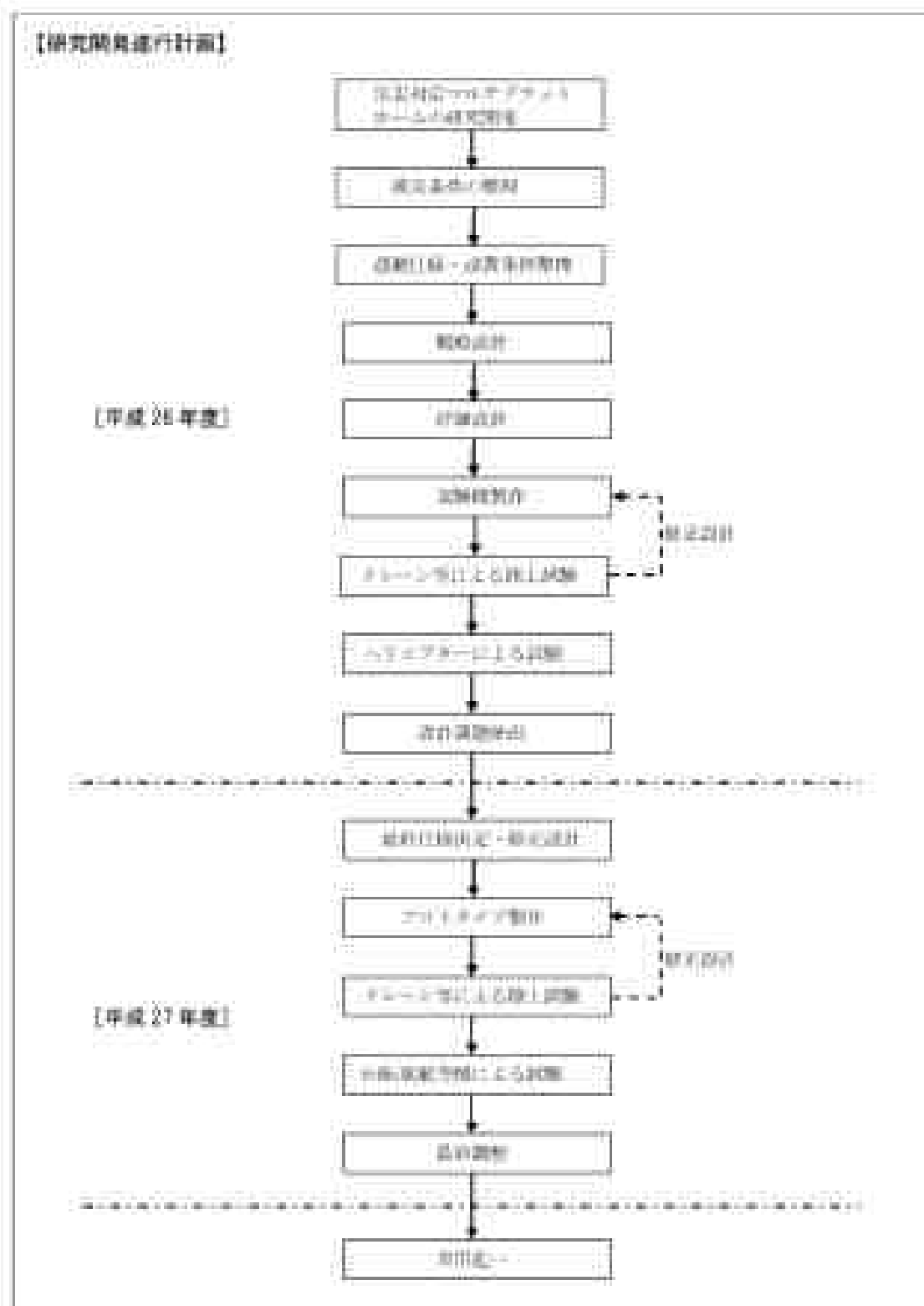


図 6.2-1 研究フロー

## 7. 研究・技術開発の内容

### 7.1 被災地条件の整理

#### 7.1.1 平成26年度の研究内容

本研究では、マルチプラットフォーム（以下：MP）が有用とされる現場条件とMPに必要とされる機能について、調査・研究を行った。下記に内容を示す。

#### (1) 近年の土砂災害の特徴

近年の土砂災害の特徴について、調査取りまとめを行った。この結果、3つの特徴があることがわかった。

- 大雨や台風等による大規模な土砂災害の発生
- 深層崩壊等による大量の土砂流出
- 地震による土砂災害
- 強震による土砂移動、積雪と複合した土砂災害
- 融雪時の土砂災害
- 豪雪後の融雪による土砂の移動やなだれによる土砂災害

#### (2) 現場条件

上記に示す特徴をふまえ、MPが有用とされる現場条件を下記のとおりとした。

火山噴火、地震、降雨等により大規模な土砂災害が発生、または発生の恐れがある場所。

山間地で周辺の地形が急峻、道路が斜面崩落等で寸断され、容易に人員の立入が難しい場所。

監視カメラは、中越地震の天然ダム形成時も災害発生から約1週間後に設置され、閉塞部やその周辺を連続的に監視することが可能となった。その周辺を連続的に監視することが可能となっている。

天然ダム監視マニュアル(案)、土木研究所資料(H20.12)より

#### (3) 必要とされる機能

この現場条件のもと、必要とされる機能を下記のとおりとした。

人員が、被災地へ行くことが可能となる(監視カメラ等が設置できる)までの間(約1週間)の情報の提供

また、MPの導入による効果を下記の位置づけとした。

被災地状況を把握、監視することで土石流被害等の2次災害の軽減(的確な避難情報の提供)

迅速な応急復旧に向けた情報の提供

応急復旧時に初動設備として流用

#### (4) 河道閉塞(天然ダム)に関する調査

被災地条件の整理に際し、河道閉塞(天然ダム)に関する調査を行った。下記に内容を示す。

#### 【河道閉塞(天然ダム)の現状】

##### 形成と決壊

- ・既往の調査近年より約500年間で、79事例(うち決壊42事例)

出典：大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル(案)、砂防フロンティア防止機構(H17.3)

事例には、平成16年新潟県中越地震、平成20年岩手宮城内陸地震、平成23年東北地方太平洋沖地震、23年紀伊半島豪雨を含んでいない。

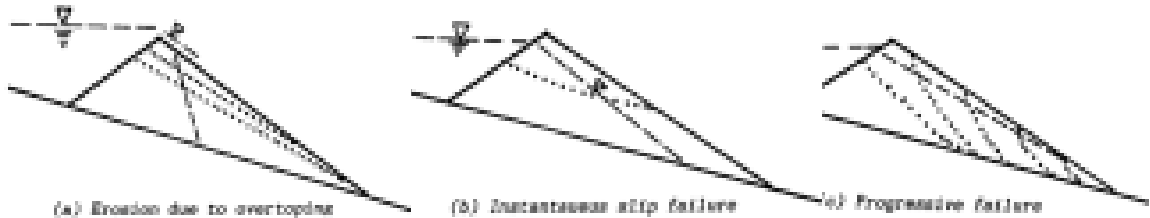
半数以上の天然ダムで、天然ダム形成から 10 日以内で決壊

天然ダムの破壊要因

Schuster & Costa .....a.越流(Overtopping) b.パイピング(Piping)

a がほとんど

高橋・匡.....a.越流浸食 b.すべり破壊 c.進行性破壊((Piping)



既往の天然ダム決壊事例を参照すると、天然ダムの形成後、時間的な余裕がほとんどなく、決壊に至る事例が存在する。

このため、迅速に天然ダムの形成について、その有無を確認するとともに、天然ダムの規模や二次災害現象を適切に予測し、これらに基づいた的確な防災対策を円滑に講じなければならない。

出典：大規模な天然ダムの形成・決壊を対象とした異常土砂災害対応マニュアル(案)、砂防フロンティア防止機構(H17.3)

#### (5) 近年の河道閉塞(天然ダム)発生状況

近年の河道閉塞(天然ダム)の発生状況と概要を下記に示す。

新潟県中越地震

発生箇所数 4箇所 大規模越流浸食 0箇所

岩手宮城内陸地震

発生箇所数 17箇所 大規模越流浸食 2箇所

紀伊半島台風12号土砂

発生箇所数 6箇所 大規模越流浸食 2箇所

##### 1) 新潟県中越地震(平成16年10月23日)

新潟県中越地震では、芋川流域で5ヶ所の天然ダムが確認された。東竹沢地区では、大規模な天然ダムが形成された(写真7.1.1-1)。

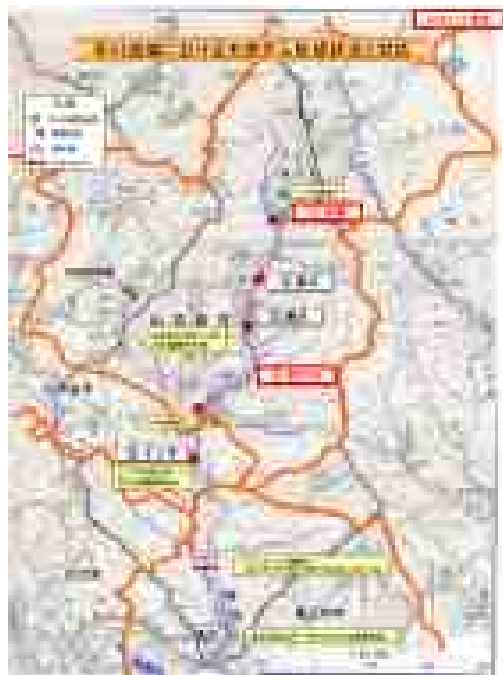


図7.1.1-1 新潟県中越地震時に発生した天然ダム (国土交通省 HP 抜粋)



写真 7.1.1-1 東竹沢地区の地すべりによる河道閉塞（アジア航測撮影）

2) 岩手宮城内陸地震(平成 20 年 6 月 14 日)

岩手県側(磐井川)で 5 ヶ所、宮城県側(迫川、二迫川、三迫川)で 10 箇所の天然ダムが形成された(図 7.1.1-2)。そのうち、宮城県 湯ノ倉温泉地区、宮城県 栗駒沼倉地区で越流浸食を受けた。それぞれ、天然ダム形成後、宮城県 湯ノ倉温泉地区は約 4 ヶ月後(図 7.1.1-3)、宮城県 栗駒沼倉地区では、約 1 ヶ月後(図 7.1.1-4)に起こっている。



図 7.1.1-2 岩手宮城内陸地震により発生した大規模天然ダム（国土交通省 HP 抜粋）





図 7.1.1-3 宮城県 湯ノ倉温泉地区の天然ダムの大規模侵食状況  
 (国総研資料「地震時の危機管理」抜粋)

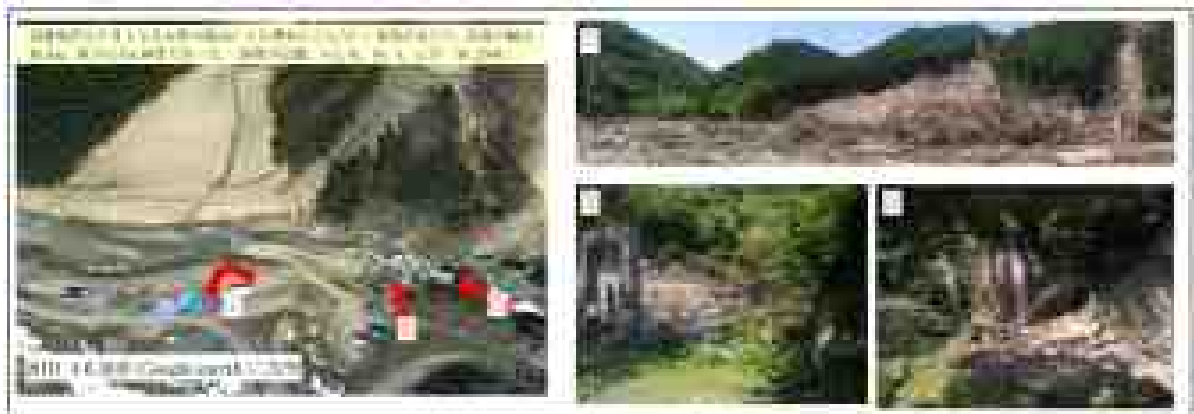


図 7.1.1-4 宮城県 栗駒沼倉地区の天然ダムの形成状況

### 3) 紀伊半島台風 12 号土砂災害(平成 23 年 8 月 30 日~9 月 5 日)

平成 23 年(2011 年)紀伊半島台風 12 号土砂災害では、17 箇所の土砂災害が生じた。



図 7.1.1-5 紀伊半島台風 12 号土砂災害の天然ダムの形成状況 (国土交通省 HP 抜粋)

#### (6) 天然ダムの立地および地形状況

紀伊半島台風 12 号土砂災害からその立地状況を整理する。

##### 1) 立地条件

###### 発生地

生活圏から離隔した地点が多く、インフラ(電力供給、携帯電話網、インターネット)の活用は必ずしも期待できない(図 7.1.1-6)。

###### 上空視界

峡谷部で発生することが多いため、上空視界の確保に懸念があり、GPS や衛星電話用の人工衛星との通信が 100%可能とは限らない



図 7.1.1-6 . 赤谷地区天然ダム

2) 形状・形態とマルチプラットフォームの設置想定箇所の条件

赤谷地区の天然ダムを例にすると、設置想定箇所は、森林を避けた、天然ダム左岸端部上流側が適当と意える(図7.1.1-7)。地盤角度は約5~40度の範囲で、N値は、0~15程度と推定される(図7.1.1-8)。

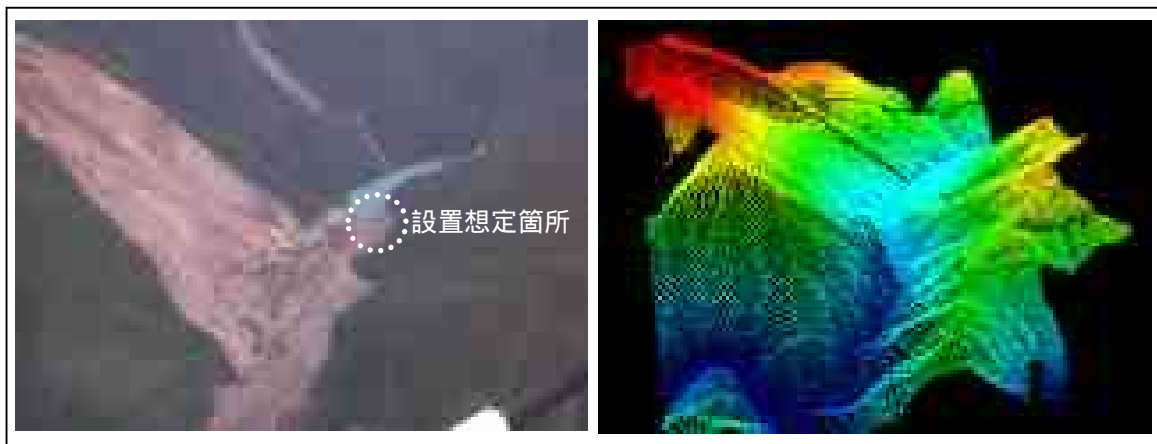


図 7.1.1-7 赤谷地区天然ダムの MP 設置想定箇所

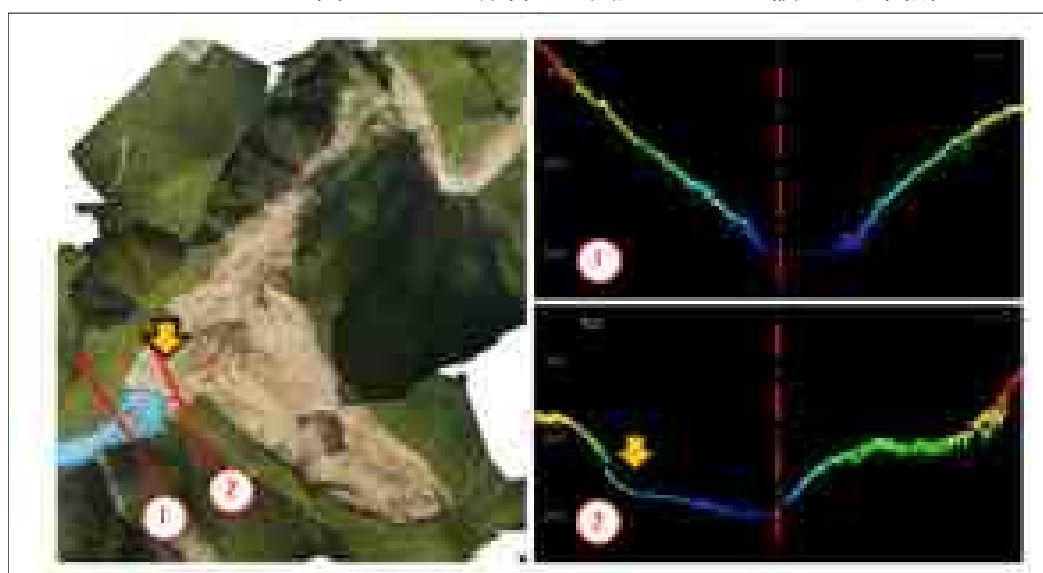


図 7.1.1-8 赤谷地区天然ダムの地形

また、国総研現地調査資料によると堆積物の勾配は5°で、水分を多く含み泥濁化しているが、堆積物末端部付近の表面は乾燥してきており注意すれば人が歩ける状態とある。天然ダムの水位変化を図7.1.1-9に示す。

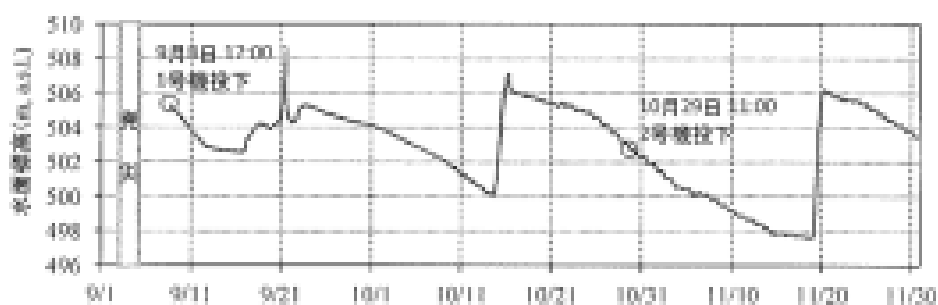


図 7.1.1-9 赤谷地区天然ダムの水位変化

(7) 河道閉塞(天然ダム)の監視

1) 河道閉塞(天然ダム)形成後の監視項目と手法・観測機器

河道閉塞(天然ダム)では、河道法面の土砂崩壊(崩壊部)により、河道が閉塞され、上流部に湛水部が生ずる(図7.1.1-10)。天然ダム監視マニュアル(案)では、天然ダム形成後において、天然ダム全体状況の監視、湛水位の監視、湛水部への流入流量の把握、閉塞部の監視が重要と示されている(表7.1.1-1)。本研究開発装置は、在来機器の設置前にヘリコプターで設置することで、既存機器を代替し初動時の監視情報を迅速に提供する。

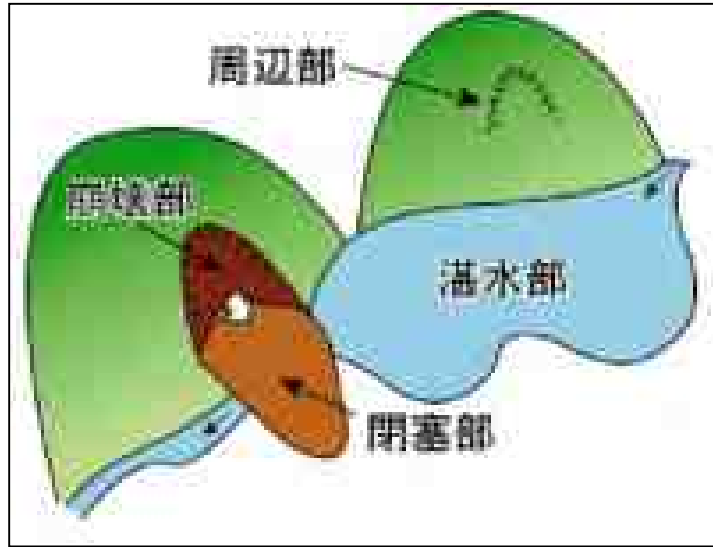


図7.1.1-10 天然ダム概要図

表7.1.1-1 天然ダム形成後の監視項目と手法・観測機器

	監視の目的	監視項目	手法・観測機器	
			既存手法機器	本装置の役割
1	天然ダム全体状況の監視・把握	・閉塞部、湛水部、崩壊部および周辺部	目視判読、ヘリコプター、監視カメラ	ヘリコプター ↓ 連続確認 監視カメラ
2	湛水位の監視	・湛水位	ヘリコプター、水位標、地上測量、水圧式水位計、投下型水位観測ブイ	↓ 設置期間要 投下型水位観測ブイ
3	湛水部への流入流量の把握	・流量	目視判読、ヘリコプター、監視カメラ	↓ 二重チェック ~ 機能の 何れかを補完 できないか?
		・湛水位	ヘリコプター、水位標、地上測量、水圧式水位計、投下型水位観測ブイ	
4	閉塞部の監視	・雨量	雨量計	
		・侵食速度および量 ・変状	目視判読、ヘリコプター、監視カメラ、簡易レーザ、地上レーザスキャナ、トータルステーション、崩壊検知センサー	

土木研究所資料 天然ダム監視技術マニュアル 抜粋、加筆

2) マルチプラットフォームの有効性

ヘリコプターでは、飛行時間の限度、夜間飛行の規制により連続監視ができない。そのため、天然ダムの規模、形状、湛水部範囲等、天然ダム全般の状況を連続的に監視するためには、監視員の配置または監視カメラの設置が有効な手段である。監視員の配置にあたっては、その安全管理に万全の注意を払う必要があり、監視が長期に及ぶ場合には、監視カメラを設置して監視することが望ましいが、新潟県中越地震時には、災害発生から約1週間後に設置された(天然ダム監視マニュアル(案)より)ことから、本開発装置は、災害発生時から1週間までの監視を行うものとする。

また、天然ダム監視マニュアル(案)では、監視カメラ等による監視成果は、例えば水

位計が異常値を示した場合に、現場状況（「水面に波が立っている」等）や観測機器の設置状況（「水位センサーがなんらかの理由で破損している」等）を確認できる等、観測機器データと現地状況との対応を把握する補完的な役割も有するとしてある。

#### 7.1.2 平成27年度の研究内容

平成27年度は、平成26年度に開催した推進委員会での議論やヘリ実験等をふまえ、修正や再整理を予定していたが、内容的に問題がないと判断し、平成26年度の研究内容を結論として位置づけた。

#### 7.2 通信機器、映像機器等の検討

##### 7.2.1 平成26年度の開発内容

###### (1) MPの通信と映像に関する活用シナリオの策定

MPの通信と映像機器を検討するにあたり、まず活用シナリオを策定した。下記に内容を示す。

災害発生直後に現地調査の出動要請が発令した場合に即座に現場状況を把握するため、通信装置と映像装置を搭載したMPの始動点検後に保管場所からヘリコプターの吊上げ基地に運搬する。

災害協定を締結しているヘリコプターが吊上げ基地まで飛行し、現地調査員を乗せMPを投下すべき位置の調査飛行を行う。（調査飛行は事前に行う場合もある）

MP設置計画（投下位置、機材選定、中継局の有無、監視局の設置等）を策定し、飛行計画に従い、実施する。

MPの電源を投入しシステムの始動確認後に吊下げ、指定された位置に投下する。

###### 初動監視体制

南方向が開けている場合は静止衛星による通信サービス、そうでない場合はアンテナ方向に指向性を要求されない周回衛星による通信サービスを1次伝送媒体とする。衛星サービスは伝送速度が遅いため静止画伝送による監視となる。但し、GPS等の計測データは送信可能である。静止衛星サービスを利用する場合は、アンテナの自動追尾機能が必須となる。

###### 中継局、現地監視局の無線LAN設備完成後の監視体制

中継局や現地監視局の設備はヘリ輸送かハンドキャリアで運搬し、有人にて組立設置する。設置後に無線LANのアンテナ調整後、導通を確立して、無線LAN伝送を2次伝送媒体とする。無線LAN伝送は、動画伝送を行うのに十分速いのでリアルタイム監視が可能となる。通信料金も無料となるので1次伝送媒体の衛星通信の接続は待機状態とする。

MPの衛星通信から無線LAN通信の切替えは遠隔で行うことが必須の機能となる。

###### 現地監視局のインターネット接続

現場詰所、工事事務所、緊急対策室等の遠隔地からの監視を行う場合は、現地監視局にモバイルルータによる携帯電話網を利用することでインターネットを介して監視が可能になる。この場合はセキュリティを確保するためVPN（ヴァーチャル・プライベート・ネットワーク）を利用する。

###### 監視および調査が完了後に緊急対策工事への移行

監視および調査業務が完了後には緊急対策工事における無人化施工の固定カメラとして流用することを可能にする。

## (2) 搭載装置の選定条件

研究開発の目標より搭載装置の選定条件を定めた。下記に内容を示す。

耐震、耐衝撃、防塵・防水性能に優れること。特に耐震と耐衝撃対策として極力、メカニカルな構造は避けること。

15°程度の傾斜地に設置するためにジンバル構造となるため搭載する機器が補強構造体と干渉しないこと。

搭載装置の総電力消費量を把握して残電力量を通知する機能を有し、電力消費を低減することが可能なこと。

山岳地等の適応性を考慮して全ての既存装置やサービスから選定し、伝送手段は冗長性を保つことを可能にする。

通信の伝達距離を考慮して中継手段を計画し、中継設備を設けることを可能にする。搭載する監視カメラの性能評価と取付け方法を検討すること。

調査のための計測器(GPS、傾斜計、気象計等)を搭載できるシステムを検討すること。

## (3) 通信装置および映像装置の調査検討

MPが遠隔監視や調査し、収集したデータを伝送する場合、位置、移動、傾斜、天候等の計測データは、画像や映像データに比べて非常に少ないため、画像および映像のデータを主として伝送速度(伝送量)で分類して装置を調査した。

### 1) 伝送速度分類による通信装置

小容量伝送 ~ 100kbps

デジタル簡易無線(2kbps)、携帯電話通信(2.4~28.8kbps)

衛星電話通信、(32, 64kbps)

中容量伝送 100~500kbps

携帯電話 IP 通信(384kbps)、衛星データ IP 通信(384kbps)

大容量伝送 500kbps~

携帯電話 IP 通信 4G(25Mbps 上り)、無線 LAN 通信(11, 54, 300, 450, 600Mbps)

### 2) 伝送速度と映像品質との関係

伝送媒体毎に伝送速度が大きく異なることから、伝送速度に適した解像度とフレームレートを選択するためにその関係を調査した。

調査方法は、監視カメラ大手メーカーの AXIS Design Tool(図 7.2.1-1)を使用して、映像の変化度 5 種類(変化大、やや大、中程度、やや少、変化少)に対して縦方向解像度(1080, 720, 480)とフレームレート(30, 18, 10, 6, 3, 2, 1)の伝送速度を算出した。



図 7.2.1-1 Design Tool の調査状況

表 7.2.1-1 伝送速度と映像品質の関係

圧縮率は 30%

	フレーム/ 秒	映像の変化				
		大	やや大	中程度	やや少	少
		駅	階段	交差点	校庭	受付
Y 方向 1080 ピクセル	30	11,500	4,670	3,390	3,130	2,160
	18	8,330	3,120	2,290	2,030	1,320
	10	6,090	2,050	1,560	1,340	815
	6	4,120	1,290	965	812	474
	3	2,230	701	539	429	244
	2	1,600	504	397	301	167
	1	965	306	255	173	90
Y 方向 720 ピクセル	30	5,120	2,080	1,510	1,390	962
	18	3,700	1,390	1,020	903	587
	10	2,710	910	692	596	362
	6	1,830	574	429	361	211
	3	990	311	239	190	108
	2	710	224	176	134	74
	1	429	136	113	77	40
Y 方向 480 ピクセル	30	1,880	761	552	511	353
	18	1,360	508	373	331	215
	10	992	334	254	219	133
	6	672	211	157	132	77
	3	363	114	88	70	40
	2	260	82	65	49	27
	1	157	50	42	28	15

単位: kbps

小容量伝送は 100kbps 未満、中容量伝送は 100 ~ 500kbps、大容量伝送は 500kbps 以上に着色した。

1080 : フルハイビジョン 1920 × 1080 pixels  
 720 : ハイビジョン 1280 × 720 pixels  
 480 : D1 (NTSC 相当) 720 × 480 pixels

### 3) 伝送速度分類による通信装置機種調査

上記に示す分類ごとに通信装置の機種調査を実施した。下記に内容を示す。

#### 小容量伝送～100kbps

デジタル簡易無線、衛星電話通信を調査対象とした。

#### 【デジタル簡易無線】

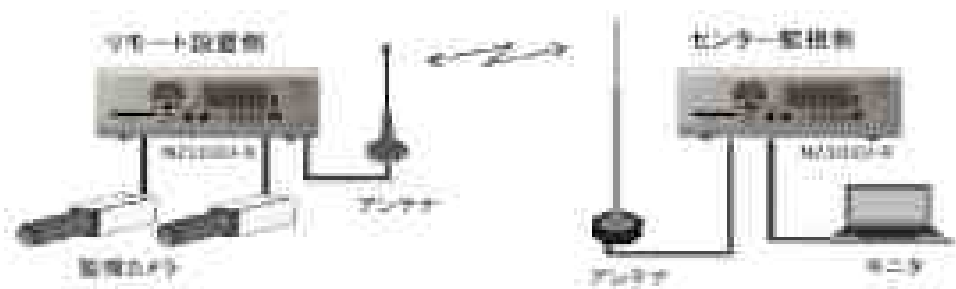


図 7.2.1-2 装置の利用イメージ

表 7.2.1-2 主な仕様

静止画無線伝送ユニット	NZ103U-R (ニューゾーン)
画像解像度	NTSC 入力×2ch VGA, QVGA 出力
汎用入出力	DI×4, DO×4, AO×2
データ伝送速度	最大 2kbps
画像伝送時間	画像サイズ 6KB 30～40s VGA (15/9/6/3KB)
伝送距離	市街地: 300～1.5km 郊外: ～10km
無線周波数帯	467.0～467.4MHz
チャンネル数	65ch
送電出力	1W

NTSC: 640×480 (720×480, 704×480), VGA: 640×480, QVGA: 320×240

640×480 の画像を圧縮して 6KB を最大伝送速度 2Kbps で伝送するのにかかる時間は、 $6 \times 8 \times 1000 / 2000 = 24$  秒であり、実行速度が 7 割とすると 34 秒となる。

従って、衛星データ IP、携帯電話 IP、無線 LAN の利用できないエリアや故障の時の予備として利用するかアンテナの制御や計測データの伝送に利用することが適する。

#### 【衛星電話通信】

イリジウム衛星を利用した通信サービスは、地上 780km の周回衛星 66 機を配備した全世界で利用できる携帯電話サービスである。地上系ネットワークを介さず衛星のみを経由することから自然災害の影響を受けにくく、アンテナ方向の指向性が無いため扱い易い。

伝送速度は 2.4kbps と小容量伝送であるため、衛星データ IP、携帯電話 IP、無線 LAN の利用できないエリアや故障の時の予備として利用するかアンテナの制御や計測データの伝送に利用することが適する。



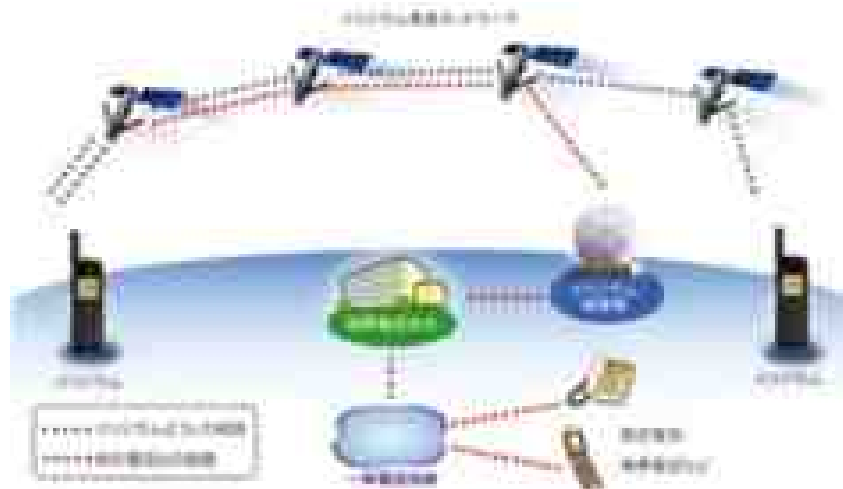


図 7.2.1-3 装置の利用イメージ

**中容量伝送 100～500kbps**

携帯電話 IP 通信、衛星データ IP 通信を調査対象とした。

**【携帯電話 IP 通信】**

携帯電話 IP 通信の場合はサービスエリアマップでサービスエリア内であることが必要なので、事前に確認する必要がある。火山等の観光地であればサービスエリア内の可能性があるが山間地の土砂ダム等は可能性が低い。

最近の大容量伝送サービス（4G）は主に都市部向けのサービスなので山間地では対象外である。



図 7.2.1-4 装置の利用イメージ

表 7.2.1-3 主な仕様

携帯電話 IP 通信装置	FL ユニット（西尾レントオール）
画像解像度	ネットワークカメラの解像度による （1920×1080、1280×720、720×480）
データ伝送速度（ベストエフォート）	上り 5.7Mbps、下り 7.2Mbps
データ伝送速度（実測値）	上り 64～380kbps、下り 560～2,000kbps
フレームレート	最大 30fps
伝送距離	携帯置局から 1～5km、置局間は 2,000km
無線周波数帯	800MHz、2.1GHz

## 【衛星データ IP 通信】

衛星データ IP 通信は静止衛星の海外 2 社と国内 1 社を調査した。マルチプラットフォームは無人数での設置になるため指向特性のアンテナの向き調整を自動で行う自動追尾型アンテナとの構成とした。

インマルサットは、地上 3,600km の静止衛星を 3 機(スラヤは 2 機)利用して全世界で利用可能とし、電話、データ通信などを提供している。特徴としては、最大 492kbps のデータ通信と音声との同時利用が可能である。但し、両者ともに日本エリア上空は 1 機だけで運営している。

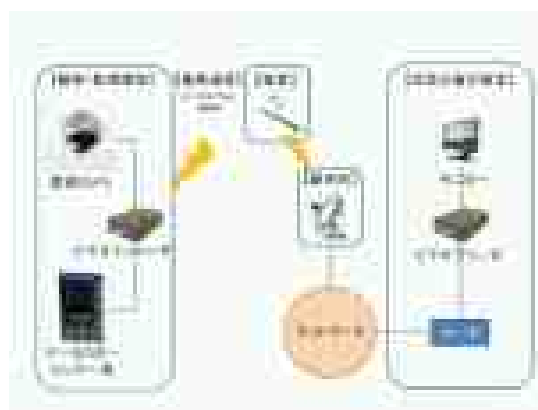


図 7.2.1-5 衛星データ IP 通信構成

3 社の中ではワイドスター だけが国内向けであり、2 機の衛星で冗長性を備えているため安定性に優れている。

表 7.2.1-4 各社の主な仕様

製品名	Explorer 32V	Thuraya Star Voyager	衛星対応・準衛星対応
製品写真			
販売事業者 通信サービスエリア 日本国内/海外/アジア	衛星 インマルサット社 インマルサットIP通信 日本エリア/海外/アジア	1社、スラヤ社 Thuraya IP Voyager 日本エリア	1社、ワイドスター社 ワイドスターIP 日本エリア
通信速度	304kbps 254kbps	492kbps 492kbps	384kbps 384kbps

### 大容量伝送 500kbps 以上

携帯電話 IP 通信 4G、無線 LAN 通信が大容量伝送となるが携帯電話 IP 通信 4G は山間部等ではサービスエリア外であるため、無線 LAN 通信のみを対象とした。

コンシューマ向けの屋外対応無線 LAN と長距離専用無線 LAN の 2 機種について調査した。

表 7.2.1-5 2 社の主な仕様

種別	屋外用無線 LAN	長距離専用無線 LAN
型式名	WAPM-APG300N	FalconWAVE2.4G
メーカー	パツファロー	日本電業工作
無線 LAN 規格	IEEE802.1n/a/g/b	IEEE802.11g/b
伝送距離	2.4GHz 2,000m 5GHz 200m	6,000m
伝送速度	最大 300Mbps	54/48/36/24/18Mbps
無線周波数帯	2,412 ~ 2,472MHz 5,500 ~ 5,700MHz	2400 ~ 2483.5MHz
チャンネル数	13	13
送信出力	10mW/MHz 以下	10mW/MHz 以下
消費電力	12.6W	10.4W
重量	990g	340g

### 【屋外対応型無線 LAN】

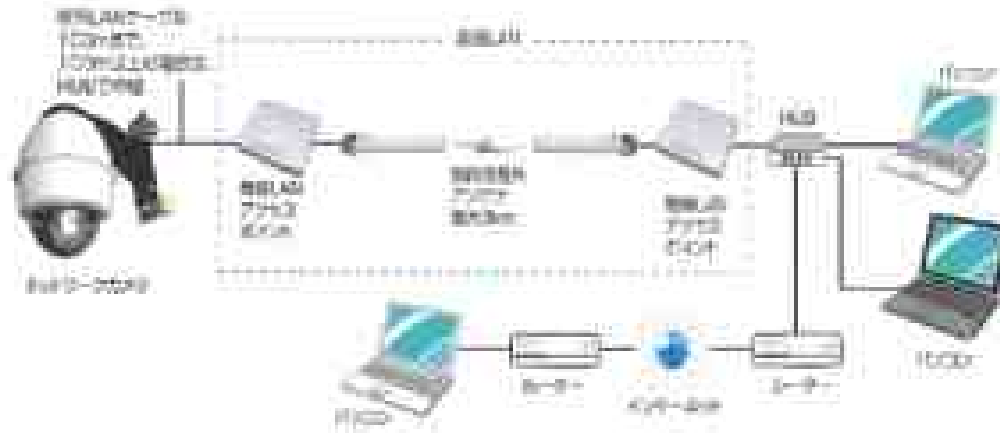


図 7.2.1-6 装置の利用イメージ

この装置は 2.4GHz と 5GHz の両方が同時に利用できるが 2.4GHz は伝送距離が長いので 2.4GHz を使用する。また、オムニアンテナ（無指向性）の場合アンテナ 2 本の利用が可能である。

### 【長距離専用無線 LAN】

この装置は長距離に特化した製品であるがオムニアンテナは 1 本しか対応しないのマルチプラットフォームには適さない。中継局と監視局間で利用に適する。



図 7.2.1-7 装置の利用イメージ

(4) 映像装置の調査

監視・調査用カメラは、ビデオカメラ + ビデオコンバータとネットワークカメラの2形態を調査した。

1) ビデオカメラ + ビデオコンバータ

アナログビデオカメラとビデオコンバータの組み合わせによる構成ではビデオコンバータを調査検討した。デジタルビデオカメラとフルハイビジョンビデオコンバータの構成も検討したが、ビデオコンバータが非常に高価であるため、4セット購入を考えると採用することができない。また、耐震と耐衝撃性に対応していない。なお、下表の製品は解像度 720 x 480 で安価である。

表 7.2.1-6 ビデオコンバータの主な仕様

製品名	メーカー	機能	画像圧縮	画像解像度/ビデオ出力	最大fps	入力/出力コネクタ	価格	環境	消費電力	重量	遅延
Q7401	AXIS	Encode	H.264 MotionJPEG	D1:720 x 480 4CIF,2CIF,CIF,QCIF	30	BNCコンポジットビデオ	¥4,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	8~20VDC MAX 7.2W	335g	400ms
M7001	AXIS	Encode	H.264 MotionJPEG	D1:720 x 480 4CIF,2CIF,CIF,QCIF	30	BNCコンポジットビデオ	¥2,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	POE	82g	400ms
P7701	AXIS	Decode	H.264(MPEG-4 Part10/AVC) MPEG-4 Part2 MotionJPEG	NTSC 720 x 480 VGA 640 x 480 SVGA 800 x 600 HDTV 720p 1280 x 720	30	RCAコンポジットビデオ DVI-I (デジタル) DVI-I (アナログ)	¥70,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	8~20VDC MAX 8.3W	318g	400ms

2) ネットワークカメラ

最近、特に監視カメラとしての需要が増大しているためにメーカーと機種が豊富で機能も進化している。カメラとビデオエンコーダが内蔵されているので取扱が用意で耐震・耐衝撃性に優れている。ビデオデコーダはパソコンのソフトエンコーダを利用して閲覧する形態となる。短所は遅延が多いことである。

ネットワークカメラの2大メーカーであるパナソニックとアクシスコミュケーションズの製品を調査・検討した。

耐震・耐衝撃性に優れたアクシスの Q3505-VE9mm を選定した。

表 7.2.1-7 ネットワークカメラの仕様比較

製品名	メーカー	機能	画像圧縮	画像解像度/ビデオ出力	最大fps	入力/出力コネクタ	価格	環境	消費電力	重量	遅延
Q3505-VE9mm	アクシス	Encode	H.264 MotionJPEG	D1:720 x 480 4CIF,2CIF,CIF,QCIF	30	BNCコンポジットビデオ	¥4,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	8~20VDC MAX 7.2W	335g	400ms
Q3505-VE9mm	アクシス	Encode	H.264 MotionJPEG	D1:720 x 480 4CIF,2CIF,CIF,QCIF	30	BNCコンポジットビデオ	¥2,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	POE	82g	400ms
P7701	AXIS	Decode	H.264(MPEG-4 Part10/AVC) MPEG-4 Part2 MotionJPEG	NTSC 720 x 480 VGA 640 x 480 SVGA 800 x 600 HDTV 720p 1280 x 720	30	RCAコンポジットビデオ DVI-I (デジタル) DVI-I (アナログ)	¥70,000	0-50 20-80%RH (結露不可)	8~20VDC MAX 8.3W	318g	400ms

(5) 通信用アンテナと外枠フレームの干渉検討

ジンバル構造のメインフレームに取り付けた無線 LAN と衛星のアンテナと外枠フレームが 15 度の傾斜地に設置した場合においても、干渉しない位置に取り付けるための検討を SketchUp2015 で行った。

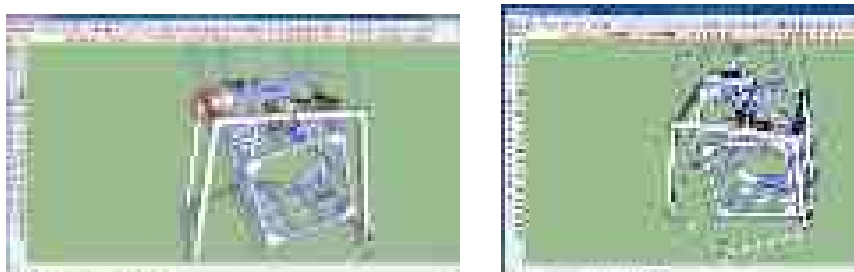


図 7.2.1-8 X 軸 15 度傾斜 (衛星アンテナが干渉 内側に移動)

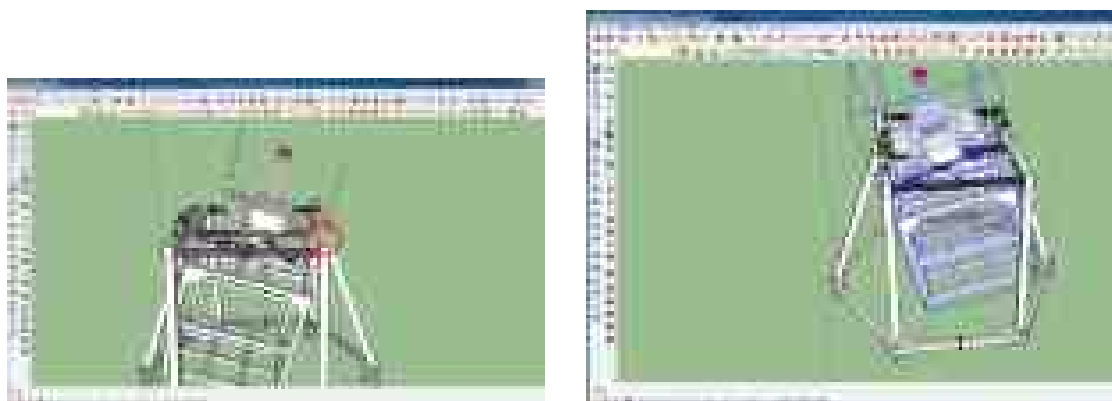


図 7.2.1-9 Y 軸 15 度傾斜 (無線 LAN アンテナが干渉 内側に移動)

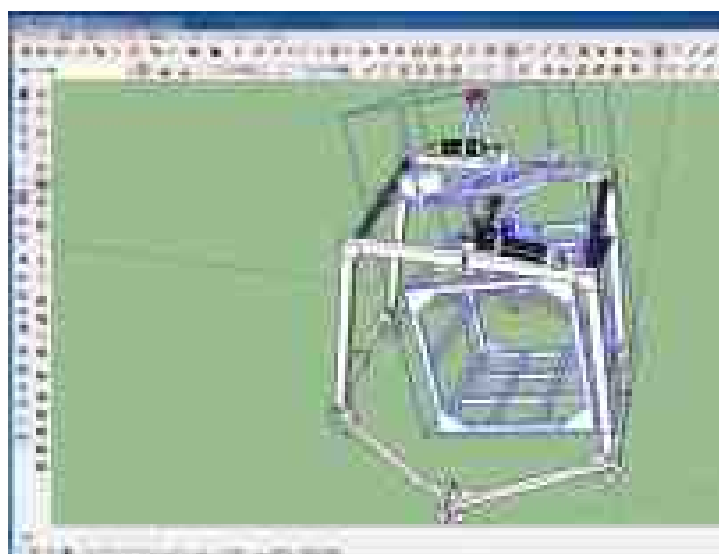


図 7.2.1-10 XY 軸 15 度傾斜干渉修正後

(6) 映像装置の画角検討

今回選定したネットワークカメラの画角が妥当かと外枠フレームに阻害されない位置を検討した。SketchUp にはアクシスのカメラが用意されている。

1) Q3505-VE9mm の画角イメージ

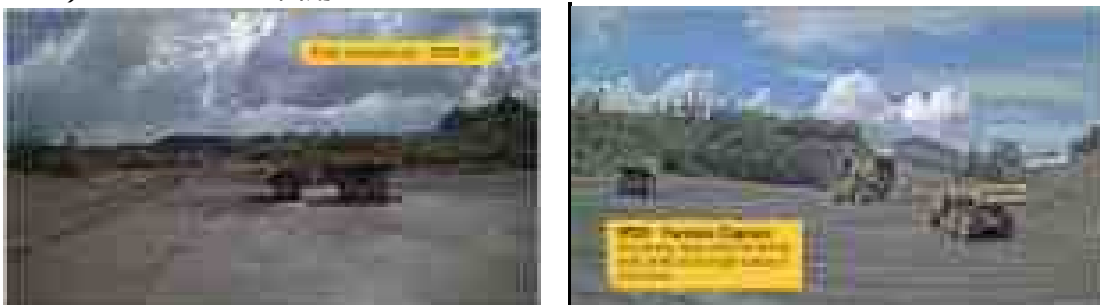


図 7.2.1-11 サンプルイメージ

2) 外枠フレームとのカメラ取り付け位置検討

Y 軸方向には真正面に外枠のフレームがあるので、位置を確定するため SketchUp で検討した。図 7.2.1-12 に適当な位置に取り付けた画角と右にずらしてフレームが極力入らない位置に調整した画面を表示している。図 7.2.1-13 は調整完了後の全体図である。

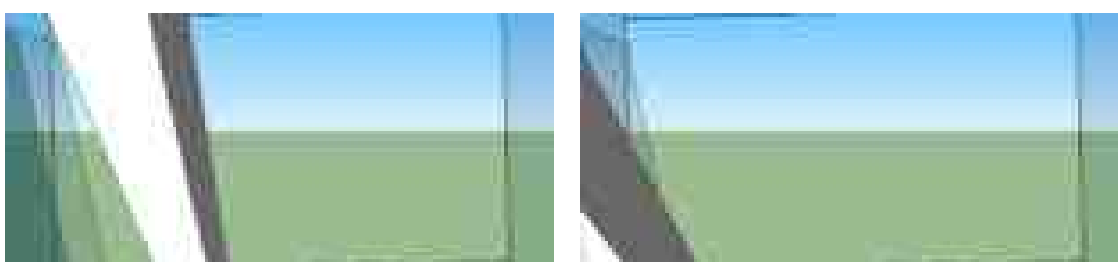


図 7.2.1-12 外枠フレームの映り込み 右にずらした画像

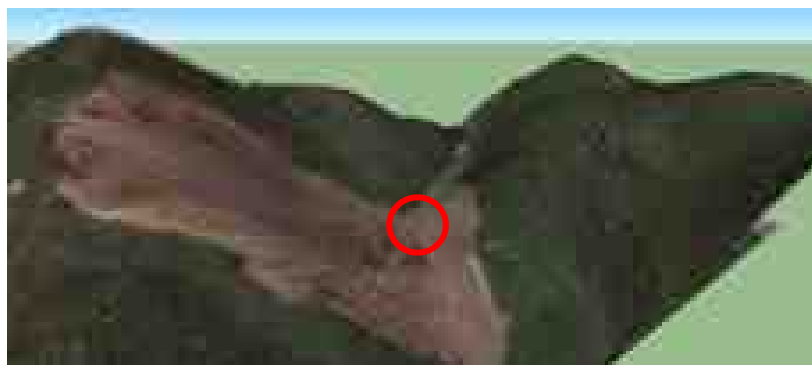


図 7.2.1-13 カメラとアンテナ取付調整後

図 7.2.1-13 の赤丸は、今回新たに設計した吊上げ用 VCT 装置のアンテナ接触防止柵である。

(7) 奈良県十津川村の土砂災害地での画角検討

SketchUp では GoogleMap を利用できるのので、マルチプラットフォームを設置して画角検討を試行した。



(十津川村長殿の土砂ダムの下流左岸部に設置)



(拡大図)

(画角図)



(カメラに映る画像)

図 7.2.1-14 十津川村長殿の土砂ダムにおける画角検討

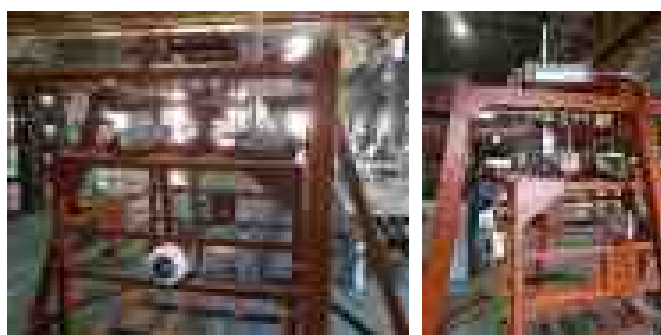


図 7.2.1-15 試作機へのカメラと無線 LAN アンテナ取付状況

( 8 ) 通信装置及び映像装置評価試験

MP に搭載可能な各種装置の性能と期待される所定の機能を評価するため、電界強度測定、通信速度試験、映像品質評価を行った。

1 ) 評価試験日時

平成 27 年 3 月 4 日 ( 水 ) ~ 6 日 ( 金 ) 9:30 ~ 17:00

2 ) 評価試験場所

( 国研 ) 土木研究所 建設機械屋外実験場及び舗装試験走路

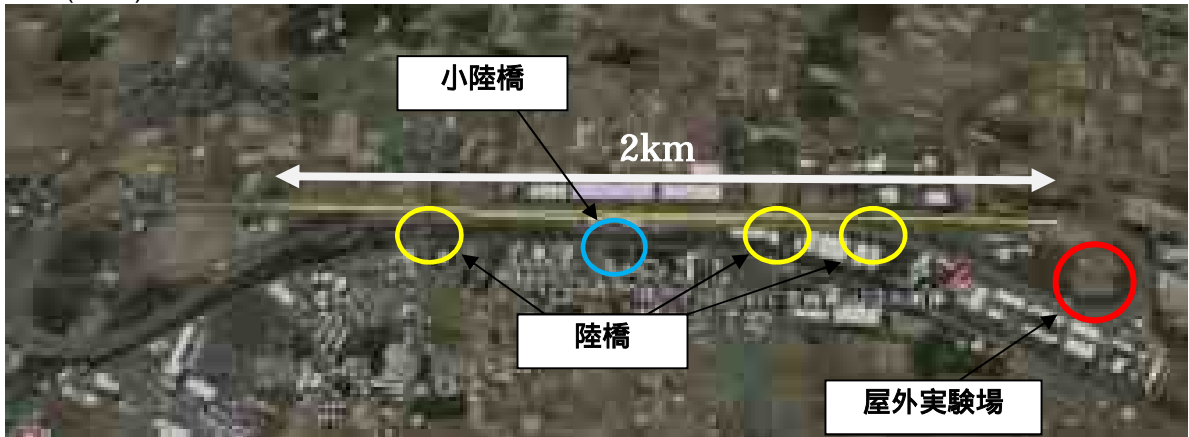


図 7.2.1-16 評価試験場所位置図

3 ) 評価試験項目

評価の試験項目は以下のとおりである。

- 無線到達距離確認実験(電界強度測定,通信速度測定)
- 無線装置切替え方法確認実験
- 映像品質評価

4 ) 評価対象装置

通信機器

- ・衛星データ IP 通信 ( インマルサット BGAN、ThurayaIP+、ワイドスター )
- ・FOMA 画像伝送 ( 西尾レントオール )
- ・長距離無線 LAN & 無線 LAN
  - ・長距離無線 LAN Falcon WAVE2.4G ( 日本電業工作 )
  - ・無線 LAN ( 西尾レントオール ) WPS-HP-G54 ( バッファロー )
- ・デジタル簡易無線静止画伝送 ( ニューゾーン )

映像機器

- ・Q3505-VE 22mm ( AXIS ) フル HDTV 屋外対応固定ドーム

5 ) 試験方法

通信の疎通確認

ネットワーク装置の場合、MS-DOS コマンド ( ping ) で往復の到達時間を測定する。一回目は ping のみで記録せず、2 回目以降は ping -n10 として、10 回連続測定を 3 回測定し平均を算出する。デジタル簡易無線の場合は要検討。



**電界強度測定**

対象装置で電界強度を測定する。衛星通信は調査中、携帯通信は相対値（％）、長距離無線 LAN 機種によっては dBm で測定できる。接続完了後 5 分間待ってから 10 回測定して平均を算出する。

**通信速度測定**

ノート PC2 台で通信速度測定ソフト jperf で測定する。電界強度測定後に 10 回測定して平均を算出。衛星通信と FOMA は、インターネットの Upload、Download の通信速度を測定する。10 回測定して平均を算出。

**映像評価**

通信速度により、解像度、フレーム数の組み合わせを選定し、所定のフレーム数が表示できるか判定する。

**到達距離確認実験（衛星通信と FOMA 以外）**

試験走路において、最大 2km まで 50m(要相談)間隔で上記 1)～4)の測定を行う。  
(50m, 100m, 200m, 300m, 500m, 700m, 1000m, 1500m, 2000m)

固定局においては、発電機、送信機、アンテナ用三脚、NotePC、ディスプレイ、HUB、机、椅子等を用意する。移動局は台車か自動車に受信機、アンテナ、ノート PC を用意し、電源は台車の場合発電機、自動車の場合は 100V の DC/AC コンバータとする。アンテナ同士の正対がわかる方式と距離を把握する方法を検討することが必要。

**無線装置切替え方法確認実験（衛星通信と無線 LAN、FOMA と無線 LAN）**

切替え可否を確認し、時間を 5 回測定し平均を算出。

インマルサットは固定 IP のみ、FalconWAVE2.4G はブリッジが出来ないので PC のルート設定が必要。他の機種も要確認。

**衛星通信による遠隔操作実験**

無線 LAN アンテナ同士の正対を衛星通信で操作が可能かの確認試験を行う。移動局のアンテナに PTZ 装置を取りつけてアンテナの操作を行い、時間遅れの影響を確認する。

6) 評価試験結果

(a)衛星通信比較試験

表 7.2.1-8 各衛星通信仕様

通信機	FalconWAVE	ThruWave Voyager	衛星対応-車載機車山
製品写真			
販売製造会社	英国、インマルサット社	米国、スティーブス社	日本、株式会社エヌエス
通信サービス内容	インターネット接続 インターネット回線100M	インターネット接続 ThruWave 2.4G Voyager 自動車専用	インターネット接続 インターネット回線 8M/10M/20M
日本国内でのサービス	東京都港区、札幌市、仙台市、新潟市、長野市、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県	東京都港区、札幌市、仙台市、新潟市、長野市、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県	東京都港区、札幌市、仙台市、新潟市、長野市、富山県、石川県、福井県、岐阜県、静岡県、愛知県、三重県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県、徳島県、香川県、愛媛県、高知県、福岡県、佐賀県、熊本県、大分県、宮崎県、鹿児島県、沖縄県
運用環境	地上 地上	地上 地上	地上 地上

(b)起動時間測定 「電源投入からインターネット接続まで(秒)」

表 7.2.1-9 起動時間測定結果

	1回目	2回目	3回目	平均値
Explorer325	69	67	73	69.7
ThurayaIP+	47	51	47	48.3
ワイドスターII	84	74	93	83.7



図 7.2.1-17 Explor325 測定状況

(c)インターネット速度測定 (Kbps)

表 7.2.1-10 インターネット速度測定結果

	1回目	2回目	3回目	平均値
Explorer325 (FPO)	261.33	264.56	272.82	262.7
(上)	250.00	257.01	254.39	253.8
ThurayaIP+ (FPO)	373.88	407.70	418.0	403.2
(上)	441.73	417.19	422.17	426.4
ワイドスターII (FPO)	48.79	46.71	79.89	61.79
(上)	113.5	30.58	83.46	74.44

(d)Round Trip Time (ping) 測定

表 7.2.1-11 インターネット速度測定結果

	1回目	2回目	3回目	平均値
Explorer325	690	1653	1730	1420.7
ThurayaIP+	1044	1044	1049	1045.3
ワイドスターII	3216	3243	1042	2132.7

(e) 伝送速度測定 (ワイドスター )

測定方法 iperf 連続 10 回測定を 3 回繰り返し平均を算出。



図 7.2.1-18 ワイドスター 測定状況



表 7.2.1-12 伝送速度測定結果

伝送速度測定	
回数	伝送速度 (Mbps)
1	82.7
2	80.0
3	87.7

図 7.2.1-19 ワイドスター 測定画面

(f) 衛星アンテナ 15 度傾斜による伝送量の影響度測定 (Explorer325 )

自動追尾機能の確認を行った。

電源オンでまず GPS の位置情報から鉛直方向の確定をし、その後に受信電界強度による水平方向の確定を行い追尾する。



図 7.2.1-20 Explorer325 傾斜試験状況

表 7.2.1-13 傾斜試験受信感度測定結果

アンテナ上げ 傾斜角度	受信感度 (dBm)
フラット	84.6
東15° 上げ	83.9
東15° 上げ	83.9
西15° 上げ	82.9
西15° 上げ	84.2

インマルサットは南西の方角に位置するため仰角が小さい場合悪くなる。

表 7.2.1-14 傾斜試験インターネット速度測定結果

項目	傾斜試験			傾斜試験			傾斜試験		
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目
ダウンロード速度 (Mbps)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
アップロード速度 (Mbps)	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5
平均値									

7) 携帯電話 IP 通信 (FOMA 画像伝送)

(a) 起動時間 「電源投入からインターネット接続まで (秒)」

表 7.2.1-15 起動時間測定結果

項目	1回目	2回目	3回目	平均値
立ち上げ時間 (秒)	28	28	28	28.0

(b) インターネット速度測定 (Kbps) 電界強度 -87dBm 程度

表 7.2.1-16 インターネット速度測定結果

項目	1回目	2回目	3回目	平均値
FOMA (ダウンロード)	841.24	840.92	783.99	821.72
FOMA (アップロード)	1000.00	1000.00	1000.00	1000.00

(c) 伝送速度測定 (jperf)

表 7.2.1-17 伝送速度測定結果

項目	1回目	2回目	3回目	平均値
UDP (Kbps)	329	329	329	329
TCP (Kbps)	345	345	345	345



図 7.2.1-21 FOMA 伝送速度測定状況



図 7.2.1-22 FOMA 伝送速度測定画面

8) デジタル簡易無線静止画伝送 (ニューゾーン)  
 (a) 静止画像伝送時間 (秒)

表 7.2.1-18 伝送時間測定結果

	1回目	2回目	3回目	平均値
VGA(640x480)	72	83	76	80.3
QVGA(320x240)	40	38	39	39.0



図 7.2.1-23 静止画伝送システム構成図



図 7.2.1-23 前面パネル

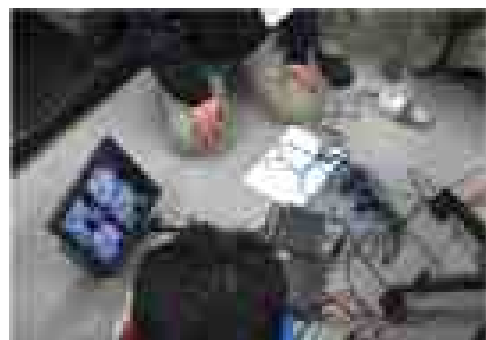


図 7.2.1-24 測定状況

操作がマトリックスボタンと状態表示が LED 点灯であるため、遠隔からの操作と状態確認ができない。

9) 無線装置切替え方法確認実験

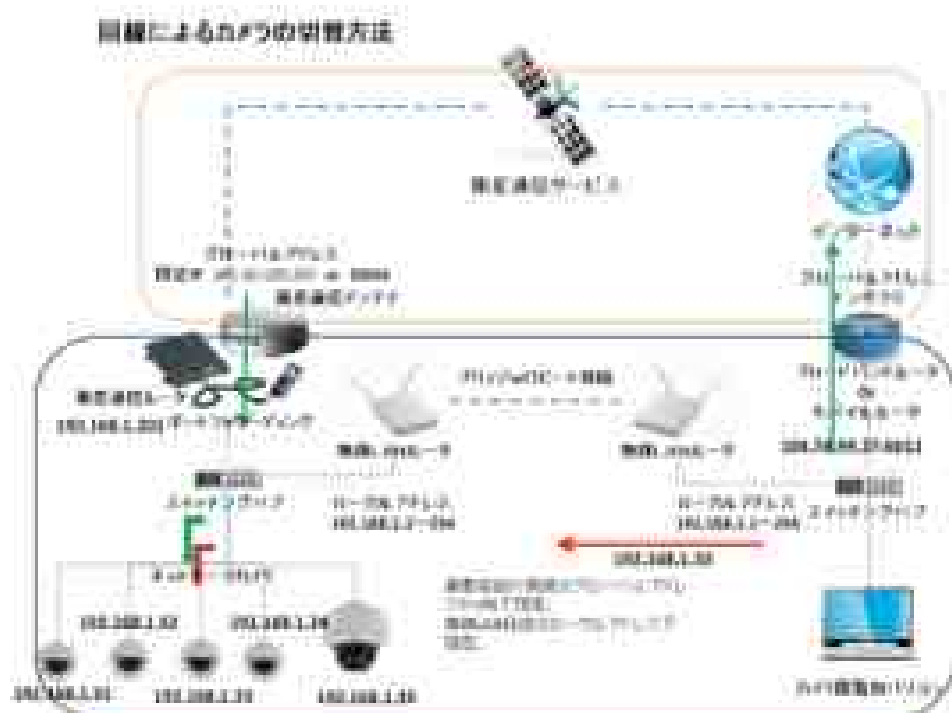


図 7.2.1-25 衛星と無線 LAN 構成図



図 7.2.1-26 衛星と無線 LAN 切替え状況

監視カメラ操作画面から接続先を変更するだけで切替えが可能であることを確認した。

10) 映像品質評価



図 7.2.1-27 Explorer325 480×270  
1 フレーム 6.3 秒

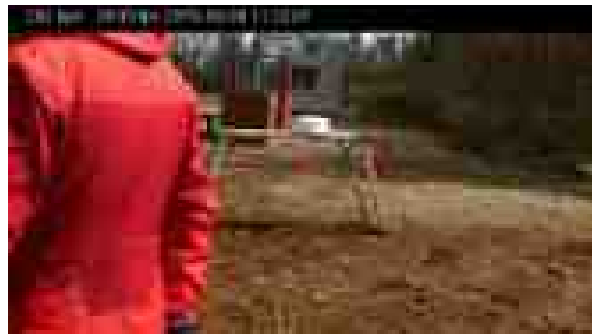


図 7.2.1-28 ワイドスター 480×270  
1 フレーム 6.2 秒 180~300Kbps

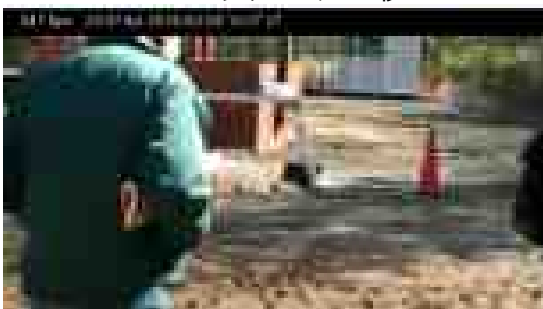


図 7.2.1-29 AirStation Pro 480×270  
30 フレーム/秒 220~900Kbps

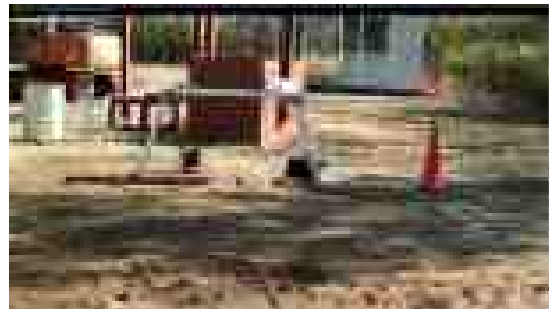


図 7.2.1-30 AirStation Pro 1280×720  
30 フレーム/秒 2.7~6Mbps

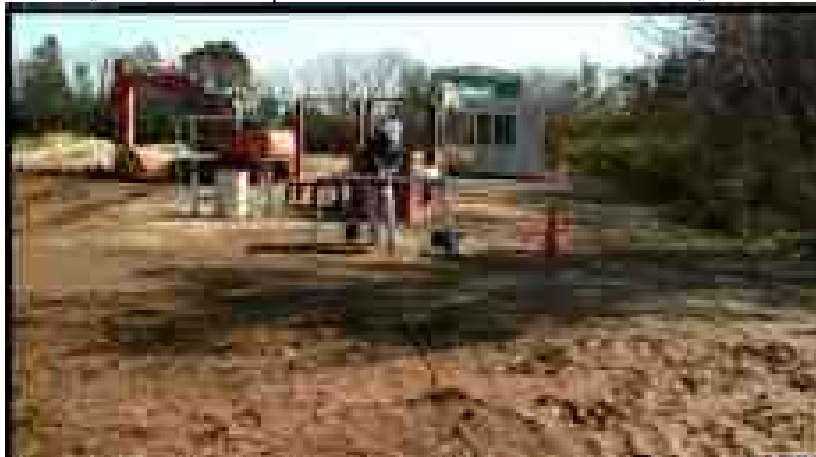


図 7.2.1-31 AirStation Pro 1920×1080  
30 フレーム/秒 5~12Mbps

11) 無線到達距離確認試験(電界強度測定,通信速度測定)



図 7.2.1-32 無線到達距離確認試験位置図

(a)長距離無線 LAN(日本電業工作 FalconWave2.4G)

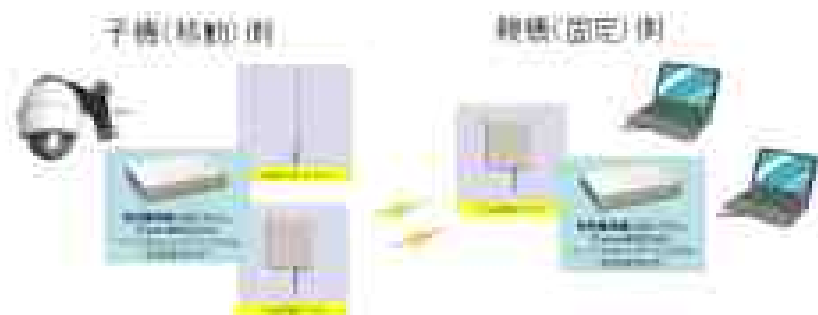


図 7.2.1-33 装置イメージ



図 7.2.1-34 装置測定状況





図 7.2.1-35 測定状況

(b)屋外無線 LAN(Buffalo AirStation Pro)



図 7.2.1-36 装置イメージ

(c)試験結果

- ・長距離無線 LAN(日本電業工作 FalconWave2.4G)

表 7.2.1-19 受信電力・伝送速度測定結果

距離 (m)	100	200	300	500	700	1000	1500	2000
平均 受信電力 (dBm)	-88.0	-90.0	-91.0	-91.0	-92.0	-93.0	-	-
平均 送信電力 (dBm)	-27.2	-40.2	-40.2	-42.2	-47.2	-57.2	-	-
平均 受信電力 (dBm)	91.0	-	-	90.0	91.0	88.0	88.0	88.0
平均 送信電力 (dBm)	-27.8	-	-	-46.8	-57.8	-68.8	-80.8	-88.8
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	13.2	12.4	12.4	12.2	12.2	12.2	-	-
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	12.2	-	-	12.0	12.0	12.0	12.0	12.4
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	17.8	16.4	16.2	15.2	14.8	14.8	-	-
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	17.8	-	-	16.2	16.2	16.2	16.2	16.0

- ・屋外無線 LAN(Buffalo AirStation Pro) 2.4GHz

表 7.2.1-20 伝送速度測定結果

距離 (m)	100	200	300	500	700	1000	1500	2000
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	28.8	-	21.2	11.8	12.4	7.4	-	-
平均 WEP 通信速度 (Mbps)	-	-	-	-	-	11.2	6.0	-

- Round Trip Time (ping) 測定 平均値 (ms)

表 7.2.1-21 RTM 測定結果

距離 (m)	100	200	300	400	500	1000	1500	2000
FalconWave 4G 標準型 (標準型)	2.8	1.0	1.0	1.0	2.0	12.0	/	/
FalconWave 4G 4G型	1.7	/	/	1.0	/	2.0	1.4	1.0
AirStation Pro 標準型 (標準型)	2.8	1.3	1.4	1.3	2.2	12.0	/	/
AirStation Pro 4G型	1.7	/	/	1.3	/	2.4	1.0	1.0

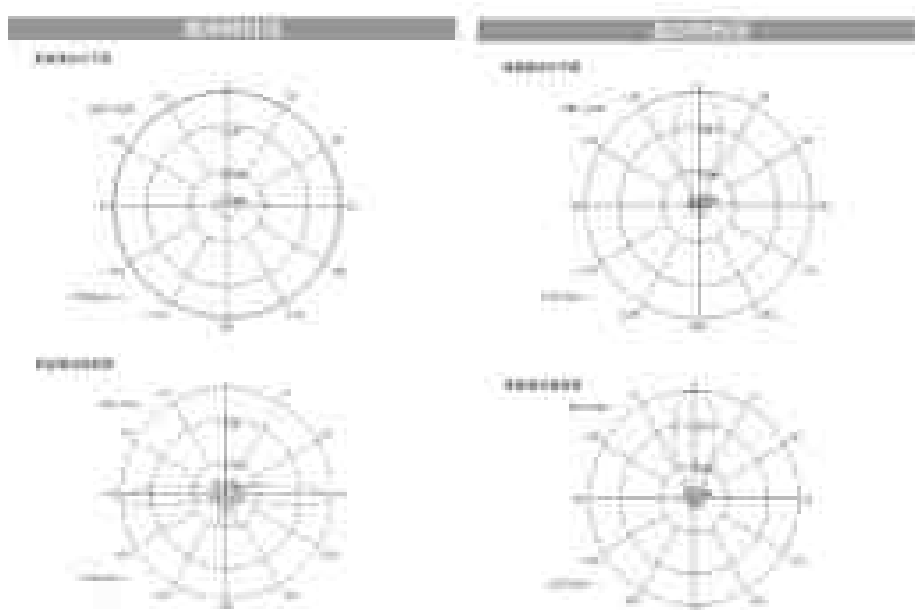
- アンテナ仕様
  - FalconWave 2.4G

表 7.2.1-22 アンテナの仕様

仕様項目	仕様内容	
	平面アンテナ	オムニアンテナ
アンテナ形式		
型名	APU15-024WNN5T	AMU10-024VNN5T
使用周波数	2400~2500MHz	2400~2500MHz
利得	公称15dB	公称10dB
指向性	垂直方向: 27度±5度 水平方向: 27度±5度	垂直方向: 10度±5度 水平方向: 全方向性

- AirStation Pro





オムニ（コーリニア）

八木式

図 7.2.1-37 アンテナ指向特性図

・無線到達距離確認実験(映像品質評価)



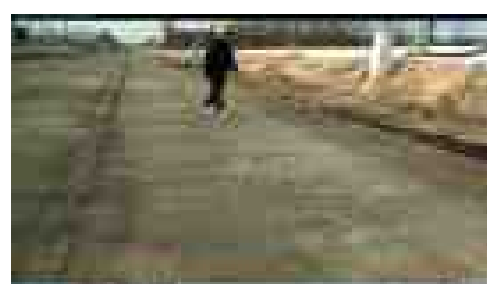
FalconWave オムニ 100m  
1440 × 1080 25fps 2.6 ~ 5Mbps



FalconWave オムニ 1000m  
1440 × 1080 25fps 3.1 ~ 6.4Mbps



FalconWave 平面 2000m  
1440 × 1080 25fps 1.7 ~ 2.2Mbps



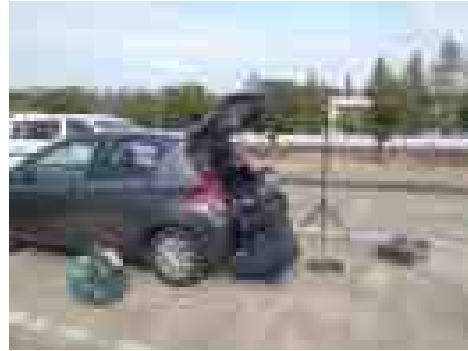
AirStation Pro 八木式 2000m  
1440 × 1080 25fps 1.7 ~ 2.3Mbps

図 7.2.1-38 映像品質評価

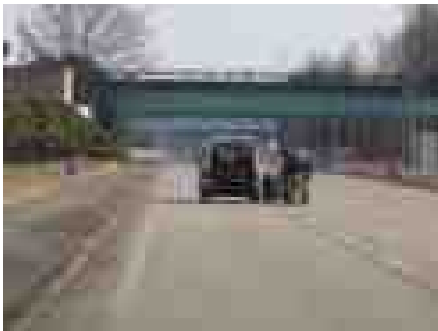
・実験状況



FalconWave2.4G 親機



Station Pro 親機



FalconWave2.4G 子機



Air Station Pro 子機



jperf 計測画面

図 7.2.1-39 実験状況

12) 評価試験結果

(a) 衛星通信比較試験

- ・3社の比較を検証した結果、ワイドスターが接続時間、伝送速度、RTTともに悪かったが実際の映像品質評価においては同等であった。
- ・衛星の仰角に関してはワイドスターが優れている。制約条件として、Explorerは南東、Thurayaは南西、ワイドスターは南の方角が開けていることが必要となる。

(b) FOMA 画像伝送

- ・FOMAのサービスエリアであれば上りの伝送速度として250Kbpsを期待できる。
- ・720×480で20fpsが可能だが今回確認することができなかった。

**(c)長距離無線 LAN & 無線 LAN**

- ・ともにアンテナの組み合わせで2 kmのフルハイビジョン伝送の確認ができた。
- ・オムニ（無指向性）アンテナは1 kmまでとした。今回のMPにはアンテナを対向するためのメカニックは搭載しないのでオムニの垂直方向の指向性を考慮した位置に親局を設置する必要がある。

**(d)デジタル簡易無線静止画伝送**

- ・周波数帯が低いので回り込みを期待していたが伝送時間も長く、操作性から遠隔操作には不適である。

**(e)衛星と無線 LAN、FOMA と無線 LAN の切替え確認試験**

- ・特に問題がなく、MPに適していることを確認した。

**(f)カメラ設置画角及びズーム確認実験**

- ・今回は選定機種 of 納期が間に合わず評価できなかった。

**(9)ヘリ搭載試験**

**1)試験概要**

マルチプラットフォームの構造体のヘリコプターによる吊上げ、飛行、設置の実験を行う際にネットワークカメラを搭載して映像を確認する試験を行った。

**(a)試験日時**

平成 27 年 3 月 11 ~ 12 日

**(b)試験場所**

静岡県富士宮市上井出 地内

大沢第2 場外離着陸場(ヘリポート)及び、場外離着陸場周辺大沢川扇状地地域

**(c)試験状況**

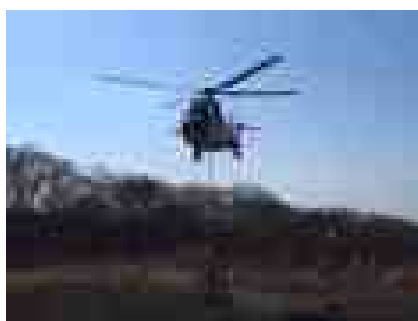


図 7.2.1-40 吊上げ状況

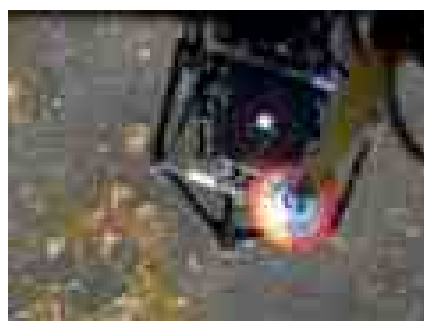


図 7.2.1-41 吊上げ把持直前状況



図 7.2.1-42 ネットワークカメラ取り付け後



図 7.2.1-43 飛行中の録画映像

**(d)試験結果**

ヘリ実験完了後に監視カメラの状態を確認したが特に問題はなかった。  
また、飛行中に SD カードに映像を記録していたので再生して映像を確認した。

**(10) 平成 26 年度のまとめ**

今年度はマルチプラットフォームに搭載する装置の全体像と各装置の特性を把握できた。  
また、評価試験によって課題も発見され、不足する機能や装置が見えてきた。

マルチプラットフォームの通信と映像装置のシナリオを作成し、システムの構成を検討した。

マルチプラットフォームに搭載すべく通信装置と映像装置の機種を選定し、その機能を評価した。

**7.2.2 平成 27 年度の開発内容**

**(1) 想定現場による位置関係の検討**

**1) 想定現場による MP、中継局、遠隔監視室の設置位置の検討**

平成 23 年台風 12 号土砂災害の奈良県赤谷地区を想定して、無線 LAN の伝送距離と見通しおよびアンテナの鉛直指向性を設置条件として位置を検討した。図 7.2.2-1 に検討結果を示す。



図 7.2.2-1 赤谷地区での設置位置

## 2) 想定自然ダムとMPの設置位置の検討

平成23年台風12号土砂災害の奈良県赤谷地区と長殿地区の自然ダムとMPの距離を検討した。図7.2.2-2に長殿地区の検討結果を示す。

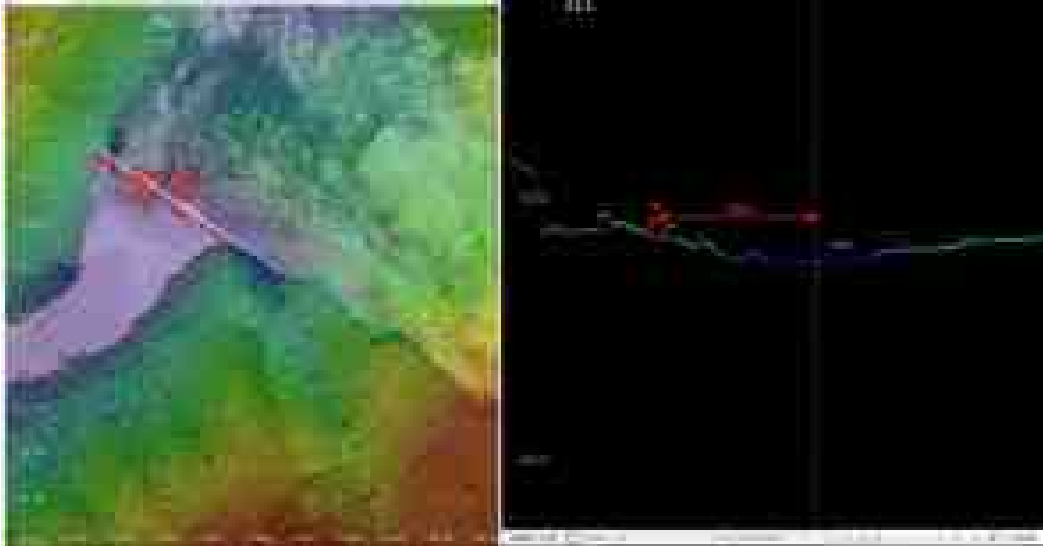


図7.2.2-2 長殿地区でのダム中心からの距離

## (2) 無線LAN中継伝送実験

無線LANによる映像および計測データの中継伝送実験と映像の昼夜間評価試験を以下の日程と場所において実施した。

図7.2.2-3に実験場所を図7.2.2-4に構成イメージを記す。

日時：平成28年1月19～20日(金)

場所：(株)フジタ 機械工場敷地内

実験および試験項目：

無線LAN中継伝送実験

映像昼夜評価試験

計測データ(GPS RTKデータ)取得実験

IP電源制御装置の機能確認試験



図7.2.2-3 無線LAN中継実験場所

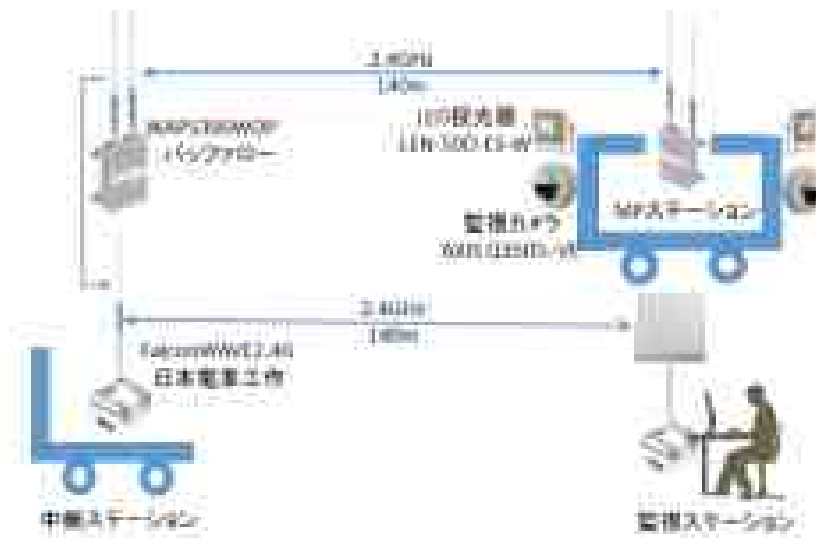


図 7.2.2-4 無線 LAN 中継実験機器構成イメージ

1) 無線 LAN 中継伝送実験

無線 LAN 中継は問題なく伝送することができた。ラウンドトリップタイム（往復遅延時間）は 4.7ms であった。1 台のカメラ映像（1920 × 1080 : 30fps）の伝送速度は 2 ~ 7Mbps で 2 台同時伝送では 8 ~ 16Mbps であった。



図 7.2.2-5 無線中継伝送実験結果



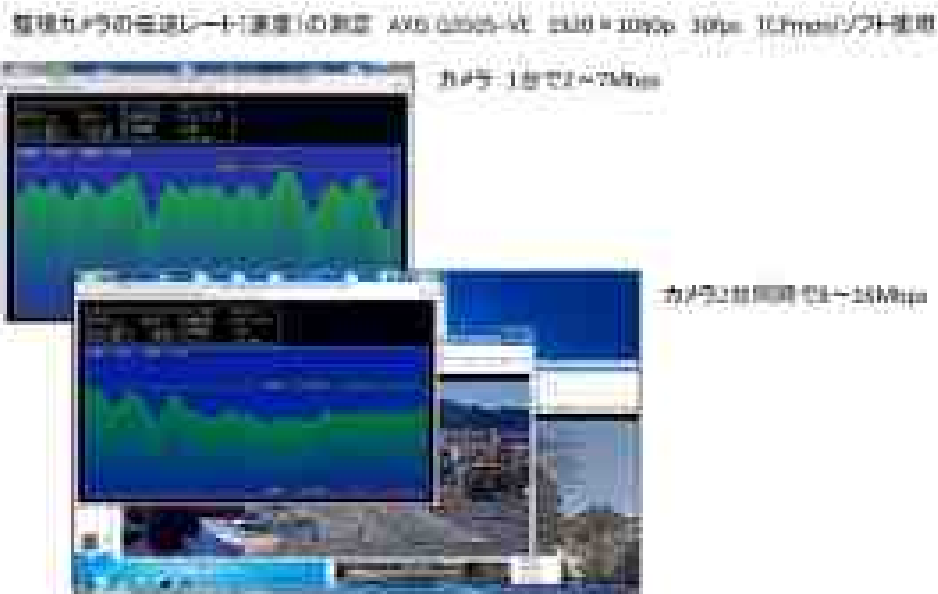


図 7.2.2-6 カメラ映像伝送速度の測定結果

2) 映像昼夜評価試験

中継伝送後の映像を評価した。フルハイビジョン(1920×1080)の解像度で30fpsの表示を確認し、100m先の28×20cmの文字を認識することができ、解像度およびフレームレートに問題はなかった。夜間はLED50Wで50m先の文字を認識することができた。



図 7.2.2-7 無線中継伝送映像評価



図 7.2.2-8 無線中継伝送夜間映像評価

### 3) 計測データ (GPS RTK データ) 取得実験

GPS - RTK データの中継伝送は問題なかった。NE とともに 9mm を確認した。図 7.2.2-9 に経時変化グラフを図 7.2.2-10 に GoogleMap 表示を示す。

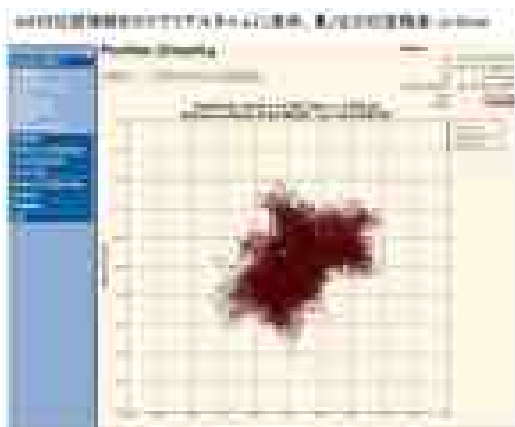


図 7.2.2-9 GPS - RTK 位置情報取得精度確認

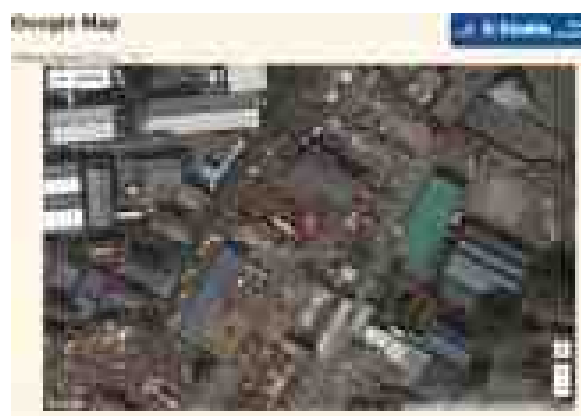


図 7.2.2-10 GPS - RTK 地図上表示確認

### 4) IP 電源制御装置の機能確認試験

IP 電源制御装置で LED 投光器の電流値を測定した。LED 投光器は 0.6A/個であった。遠隔で監視カメラと LED 投光器の電源の ON/OFF 制御を確認し、スケジュールによる自動 ON/OFF も確認した。



図 7.2.2-11 IP 電源制御装置の機能確認

(3) 搭載機器実装検討

主要搭載機器の一覧を表 7.2.2-1 に記す。図 7.2.2-12 に MP2 号機のプラボックスに実装設計中の状況、図 7.2.2-13 と図 7.2.2-14 に 1 号機と 2 号機の取付け状況を示す。

表 7.2.2-1 主要搭載機器一覧

MPステーション					中継ステーション				
名称	型式	メーカー	数量	単位	名称	型式	メーカー	数量	単位
屋外用アクセスポイント + コリニアアンテナ	WAPS300WDP	バッファロー	1	台	屋外用アクセスポイント + コリニアアンテナ	WAPS300WDP	バッファロー	1	台
SW16ポート	LSW4-GT-16NSR	バッファロー	1	台	屋外用アクセスポイント + コリニアアンテナ	FalconWAVE2.4G	日本電業工作	1	台
IP電源制御装置	IPPower9820	AVIOSYS	2	台	IP電源制御装置	IPPower9258T	AVIOSYS	1	台
監視カメラ	Q3505 -VE9m	AXIS	4	台	計			3	台
LED灯光器 (750W型50W)	LEN-50D-ES-W	日動工業	4	台	遠隔監視ステーション				
総合制御装置 + GPSアンテナ	RCL TV-320 (GNNSボード内蔵)	テクノバガード	1	台	名称	型式	メーカー	数量	単位
GNNSボード	BD982	ニコントリプル	1	台	屋外用アクセスポイント + 平面アンテナ	FalconWAVE2.4G	日本電業工作	1	台
計			14	台	監視及び制御用ノートPC	PC VJ27MC2NK	NEC	1	台
					計			2	台



図 7.2.2-12 MP2 号機の搭載機器プラボックス実装設計

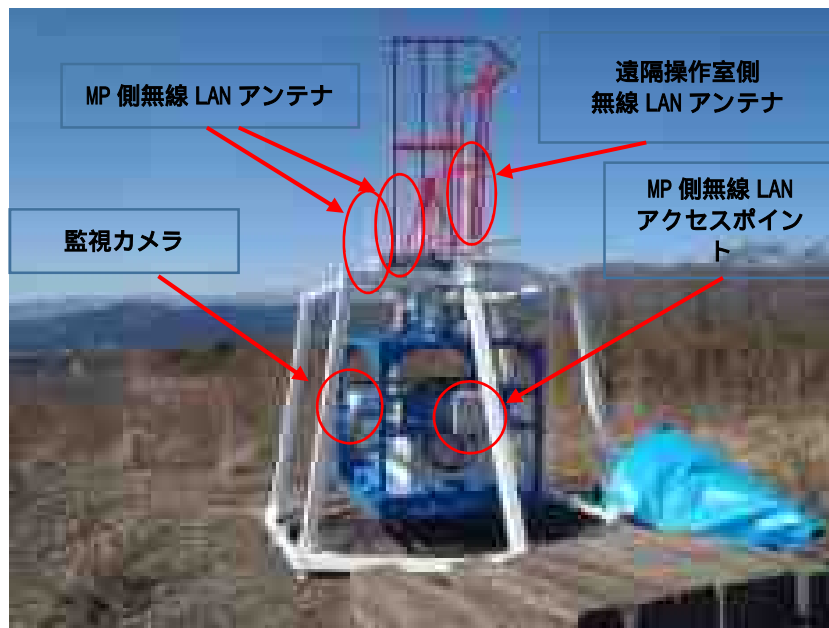


図 7.2.2-13 MP1 号機の搭載機器取り付け状況

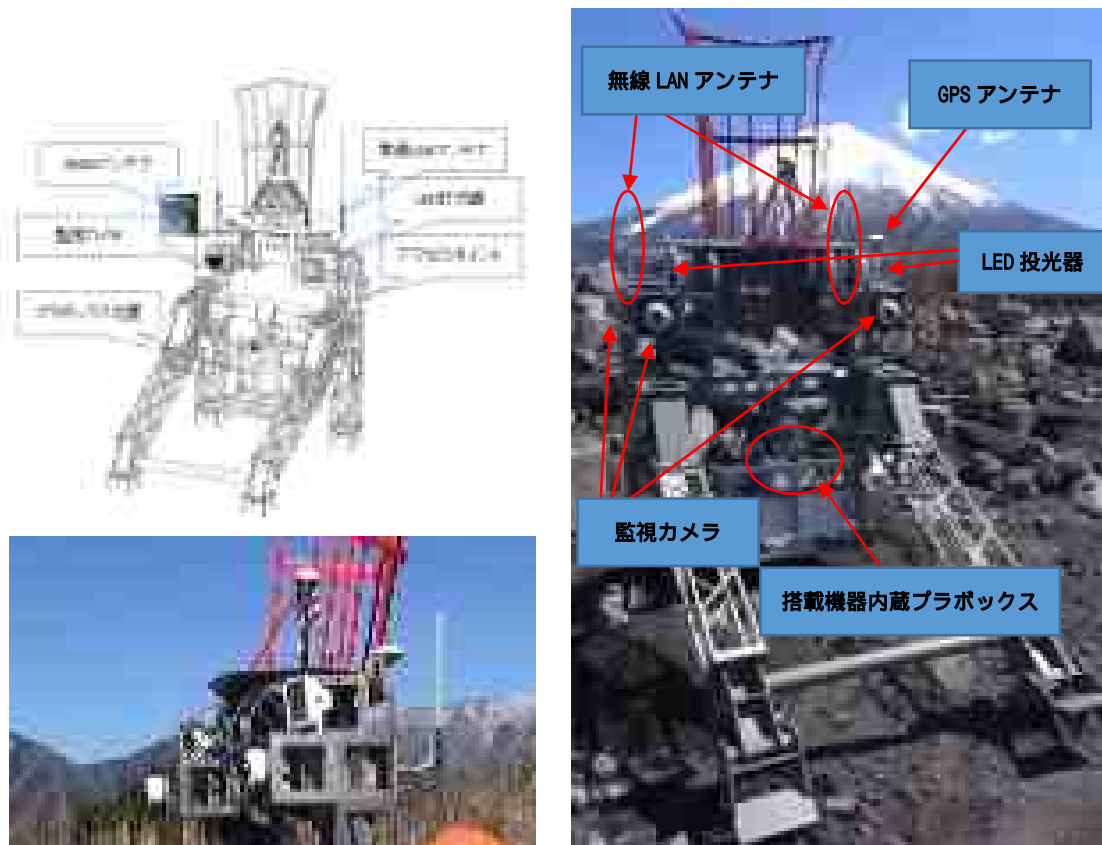


図-7.2.2-14 MP2 号機の搭載機器取付け検討と取付け状況

#### (4) ヘリ搭載飛行実験

平成 27 年度のヘリ搭載飛行実験において搭載機器が飛行後の投下に対して正常に動作するか。また、無線 LAN の中継により有効な映像が伝送できるかを確認するために下記の日時・場所において実施した。図 7.2.2-15 に実験場と各配置図を示す。

- ・実験日時：2016 年 3 月 17 日
- ・実験場所：静岡県富士宮市上井出地内 大沢川扇状地

実験内容は以下の項目を実施した。

- 無線 LAN 中継映像伝送実験
- GNSS の RTK 位置情報中継伝送試験
- IP 電源制御装置の機能確認



図 7.2.2-15 MP、中継局、遠隔監視室の位置関係図

#### 1) 無線 LAN 中継映像伝送実験

図 7.2.2-16 に無線 LAN 中継映像伝送実験の概要を示す。



図 7.2.2-16 無線 LAN 中継映像伝送実験概要

遠隔監視室から 2 号機まで通信確立後に ping テストした結果、ラウンドトリップタイムは平均 18ms (2~102ms) であった。この時の無線 LAN 電界強度は、-61.8dBm であった。伝送速度に換算すると 17.8Mbps 程度であり、フルハイビジョン映像を 2 画面伝送するために十分な能力である。図 7.2.2-17 にネットワーク死活監視の表画面を示す。

中継伝送された映像の品質としては、図 7.2.2-18 に表示されているとおりフルハイビジョン（1920×1080）のフレームレート毎秒 30 フレームを実現していた。

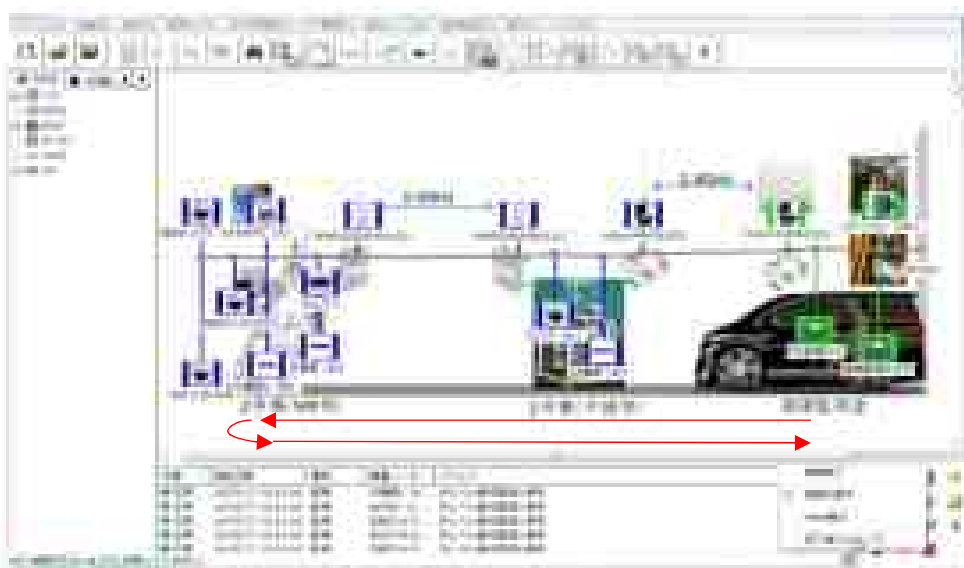


図 7.2.2-17 ネットワーク死活管理ソフト表示画面



図 7.2.2-18 中継伝送後の映像表示状況

カメラ 1 台で 1~4Mbps 程度の伝送速度となっている（図 7.2.2-19 参照）。ところがカメラ 3 台同時に伝送すると図 7.2.2-20 のように伝送速度が 8Mbps で頭打ちになっていた。このときに映像はコマ落ちが多く発生していた。そこでカメラ 2 台にしたところコマ落ち現象はなくなった。

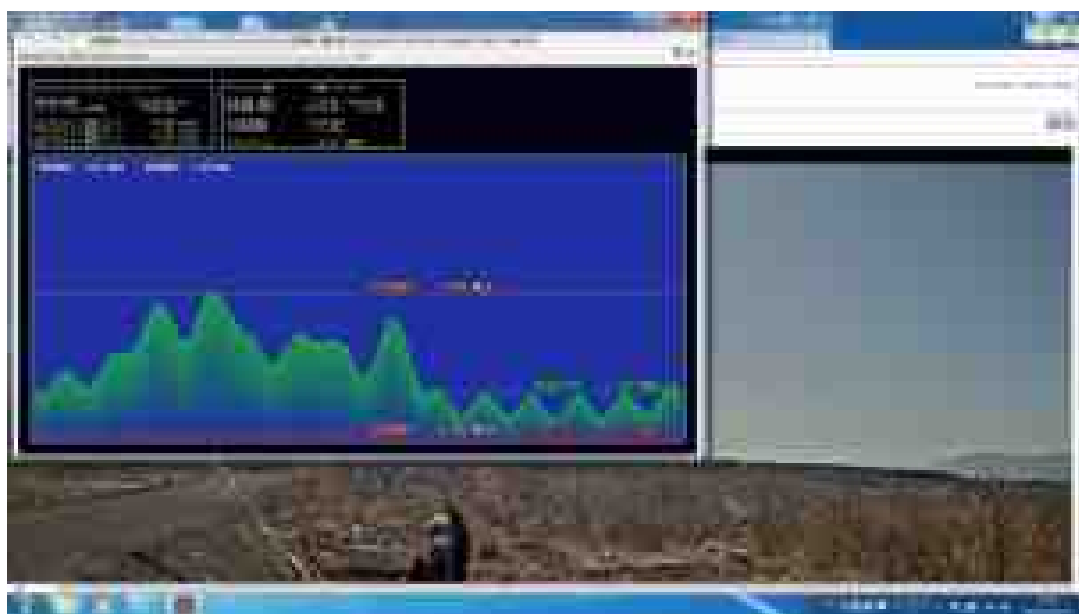


図 7.2.2-19 カメラ 1 台あたりの伝送速度



図 7.2.2-20 カメラ 3 台の伝送速度

## 2) GNSS の RTK 位置情報中継伝送試験

ヘリ飛行中に GPS 位置情報を毎秒記録して、表示したところ約半分は SBAS ディファレンシャル測位（静止衛星型衛星航法補強システム）であり、精度は 2~3 メートル。図 7.2.2-21 にヘリの航跡表示を図 7.2.2-22 に RTK 測位の Google Map 表示を示す。

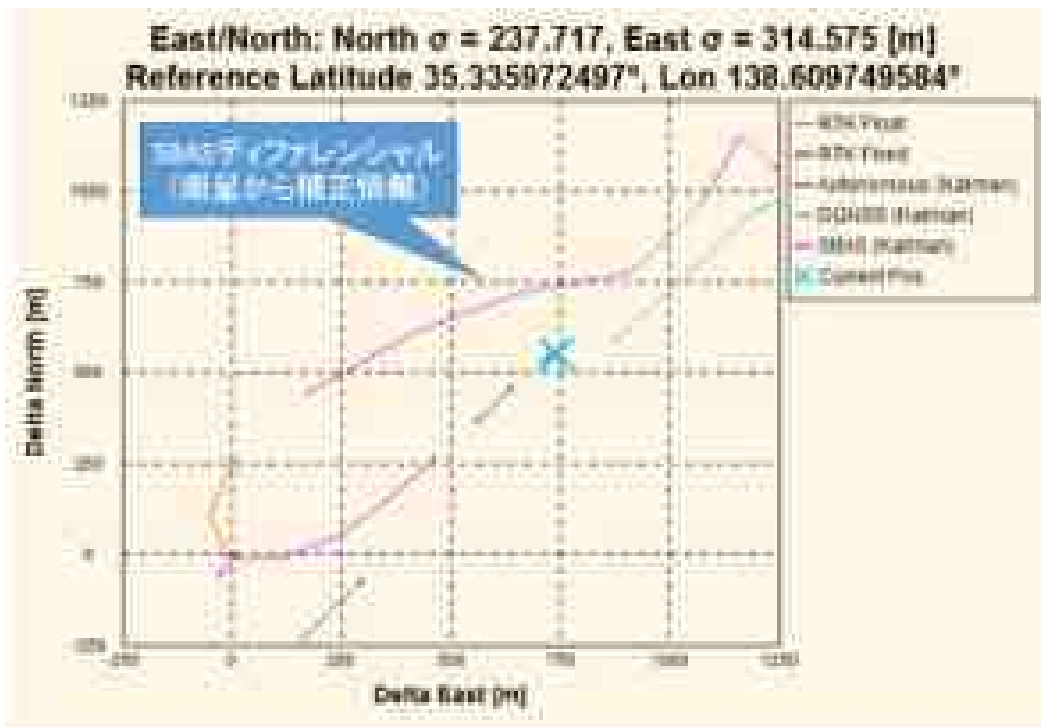


図 7.2.2-21 ヘリ航跡の表示



図 7.2.2-22 GPS-RTK 位置情報の Google Map 表示

### 3) IP 電源制御装置の機能確認

ヘリ飛行実験前に監視カメラと LED 投光器以外の電源を ON にして、MP 投下後に無線 LAN の接続が自動で行われた。その後遠隔で監視カメラの電源を ON にして監視カメラの映像が伝送されることを確認した。





図 7.2.2-23 ネットワーク死活管理ソフト表示画面

(5) 研究・技術開発の成果

通信・映像・GPS 関連の開発目標と開発成果を以下に示す。

表 7.2.2-2 開発の目標と成果

開発目標	開発成果
携帯電話や無線 LAN 等の複数の無線通信により、データ伝送および遠隔操作による山岳地等への適応性を確保できること。	携帯電話、衛星通信、無線 LAN の組合せで冗長化でき、回線の切替え・電源制御を遠隔で可能なことを実証した。
複数台のマルチプラットフォームにより無線中継として通信機能を保管できること。	異なるメーカー 2 台の無線 LAN 装置による中継をブリッジ接続で実証した。
監視カメラによる設置周囲の監視および調査機能を有すること。	監視カメラは同時伝送 2 台までとし、遠隔でカメラを切替える方法を実証した。
GPS による座標連続計測が可能で、かつ上記機能によりデータ通信ができること。	RTK 測位および SBAS ディファレンシャルの連続測位とデータ通信を実証した。

### 7.3 構造体の検討

#### 7.3.1 平成26年度の開発内容

##### (1) 構造体の制約条件の整理

いくつかある開発項目から制約条件を整理した。

ヘリコプターによる30分以上の空輸が可能な構造を持つこと。



図7.3.1-1 MPイメージ図

#### MPの設計強度は

クレーン等安全規則 第214条(玉掛け用フック等の安全係数)

事業者は、クレーン、移動式クレーン又はデリックの玉掛け用具であるフック又はシャックルの安全係数については、五以上でなければ使用してはならない。

2 前項の安全係数は、フック又はシャックルの切断荷重の値を、それぞれ当該フック又はシャックルにかかる荷重の最大の値で除した値とする。

これを参考にフレーム等の強度を吊り荷重の5倍の安全率で設計することにした。

ヘリコプターおよびVCT を利用した設置・回収を実施し、可能であること。

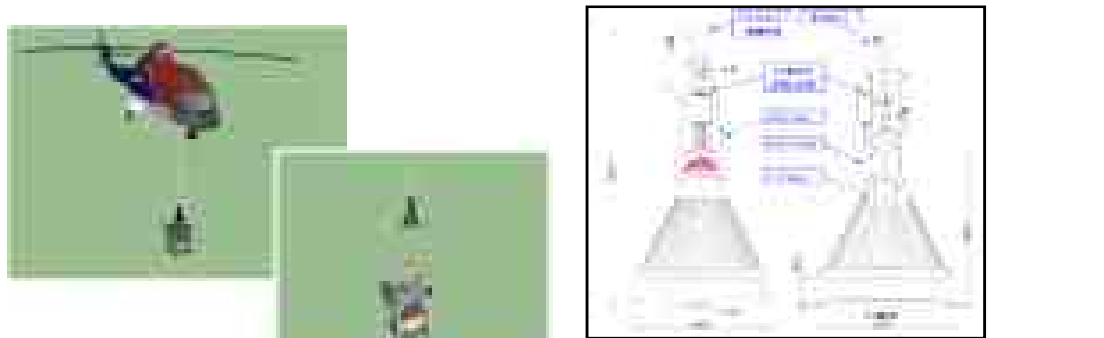


図7.3.1-2 VCT 利用設置・回収イメージ図と詳細

VCT (Vertical Capture Transporter)

上記の図のようにVCTをMCに取り付けても無線、カメラ、GPS等の計測機器が支障なく動作する構造であること。

マルチプラットフォームが15度程度の傾斜地でも設置可能であること。

条件整理WGで整理した15度程度の傾斜地でも搭載機器等が問題なく動作するように機器類を水平が取れる機構を組み入れる。

現在考えられる方式は次の三通りある。

a. 足の伸縮で水平をとる

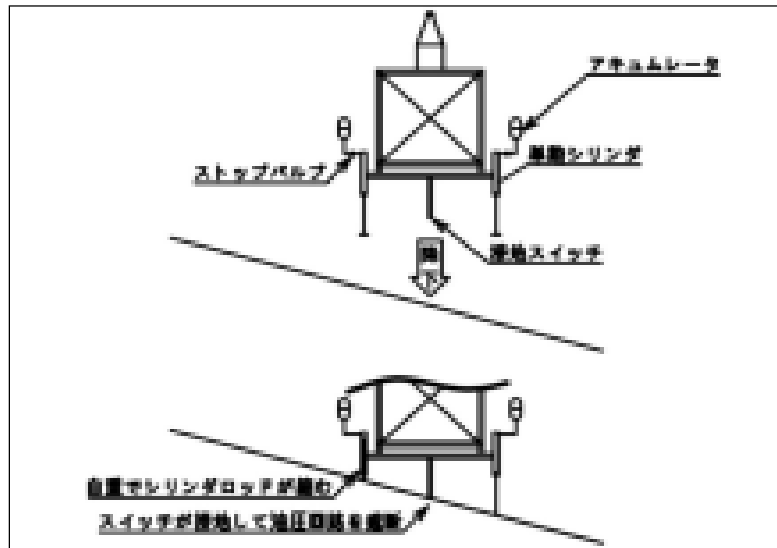


図 7.3.1-3 脚伸縮装置方式

b. 流体等で水平をとる

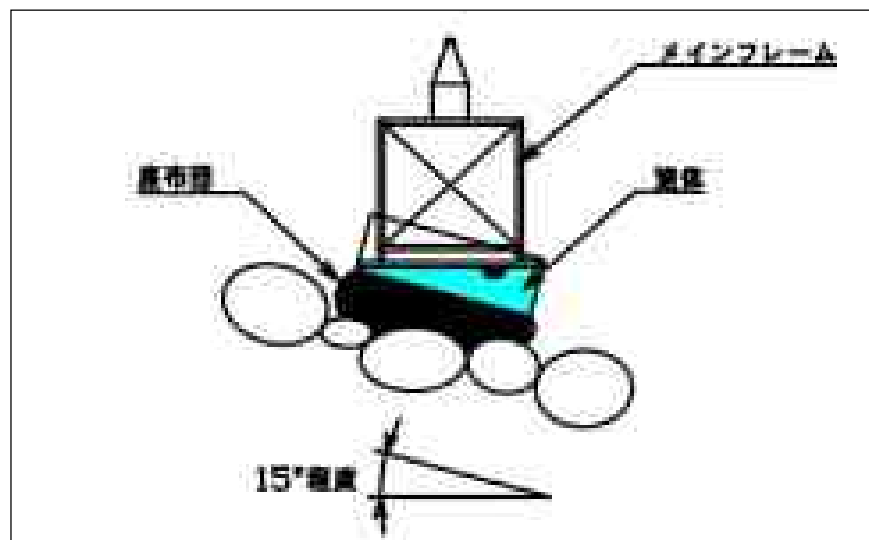


図 7.3.1-4 流体使用方式

c. ジンバル機構で水平をとる。

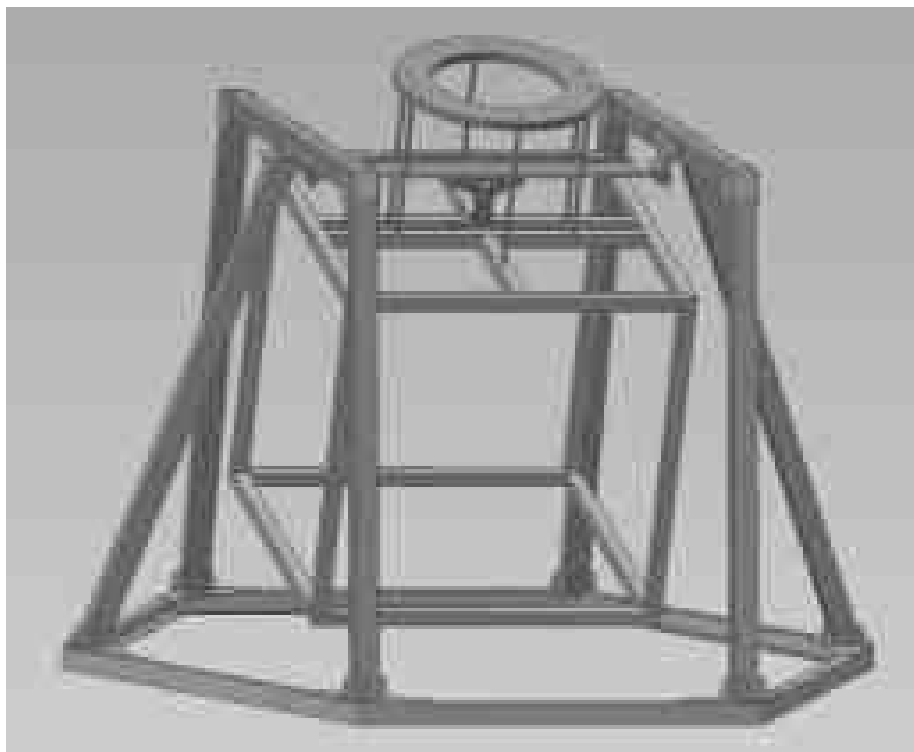


図 7.3.1-5 ジンバル方式

動力の要らない図 7.2.3-5 のジンバル方式は、動力の制限がある本ケースには最適であると考えた。ただし、搭載物と勾配による不陸の対応が必要となった。

発電機、太陽光、バッテリー等により搭載機器の稼働日数が3日以上確保できること。積載荷重の大半を占める電源が決定された後に、その他積載機器の重量を 200kg 程度として基本設計にはいる。



写真 7.3.1-1 バッテリーと発電機

以上を基本的スペックの整理とした。

## (2) 構造体の設計

### 1) ベース筐体の設計

電源についてはバッテリー、発電機、太陽光パネルなどがあるが、発電機ではなかなか3日以上の電源確保は難しく、太陽光では移動設置中に破損の恐れがある。こうしたことから、バッテリー搭載することを中心に構造体の設計を進めていくことにした。

まずは電源使用量からバッテリー容量を算出して実際のバッテリー稼働試験を実施して適切なバッテリー容量とその寸法と重量を求めた。これよりバッテリーローコで使用する標準的なバッテリーが適当という結論が出た。

これより寸法と重量は、下記となった。

バッテリーの寸法 1048×972×411

バッテリーの重量 752kg

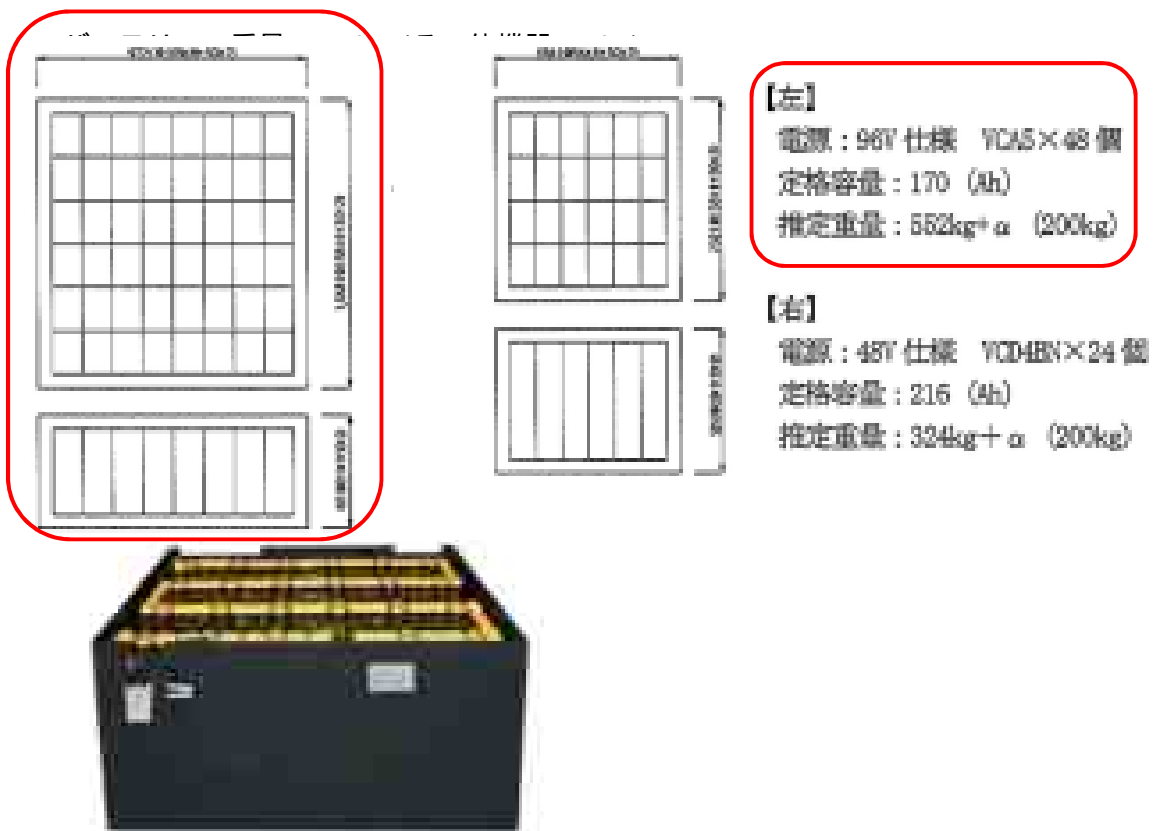


図 7.3.1-6 バッテリーの寸法

搭載重量は、上記に示すバッテリーと積載物を 200kg 程度とし、  
積載荷重は 752kg+200kg = 1000kg として設計をする。

また、バッテリーケースの大きさよりベース筐体の大きさは

寸法：1200×1200×1200

搭載重量：1000kg

とした。

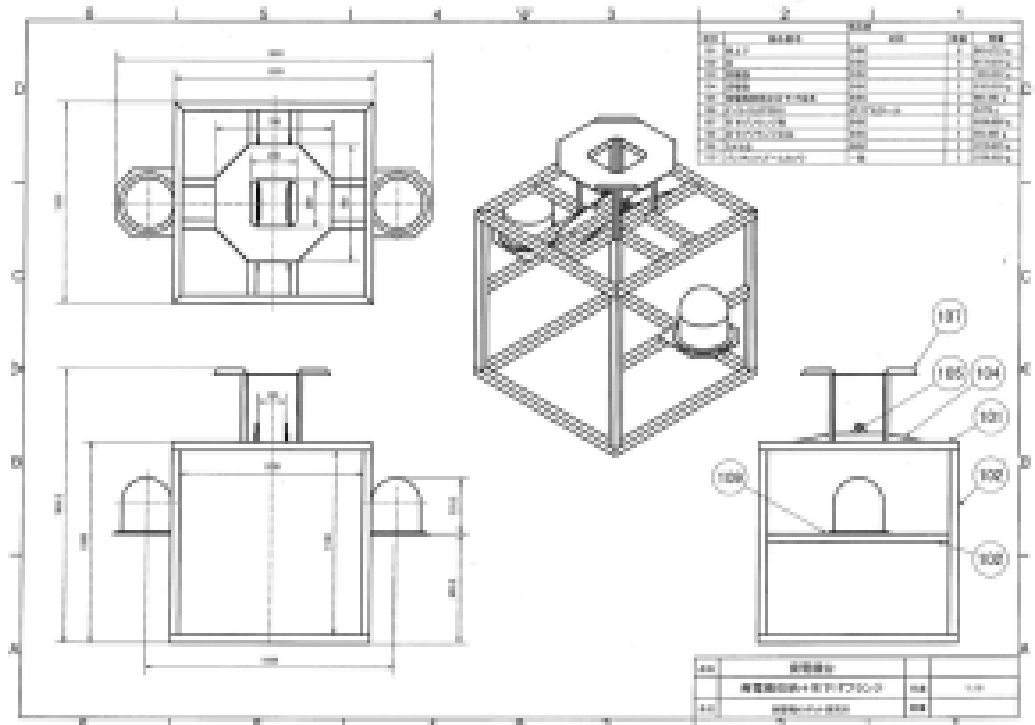
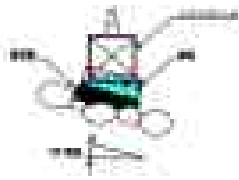

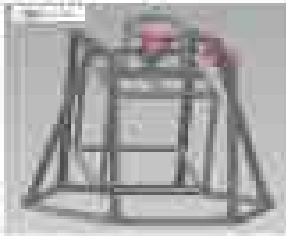


図 7.3.1-7 ベース筐体の図面

2) 伸縮方式の検討  
 水平方式の比較を下記に示す。

表 7.3.1-1 水平方式の比較

方式	高伸縮方式	縮伸縮設置方式	ジレックス伸縮方式
概要			
特徴	筐体で内径を調整する。コストもかからず不備の対応は容易と見られる。	センサー等で縮伸に高さ調整が可能。対応内径も15倍以上が可能かと考えられる。	引力により自然に水平がとれ電線は必要ない。
問題点	筐体として使用する物体を堅くしないと筐体壁に割れが出る。また耐久性或破損性には劣る。	電線が必要でバッテリーの消費に影響する。故障時の対応が難しくなる。	内径を変える外径が大きくなる。
経済性	◎安価	△高価	○中間
機能性	△	○	◎
総合評価	○(流動材料の検討をする)	△故障時災害地の状況を見ると難しい	◎電源要らずで災害地には適切な方式。

3方式の中で電源も必要が無いジンバル方式により開発を進める。また中継等で使用する事も考えて安価な流体使用方式も材料とも含めて基礎的実験をすることにした。

### 3) ジンバル方式による設計 (懸垂外枠)

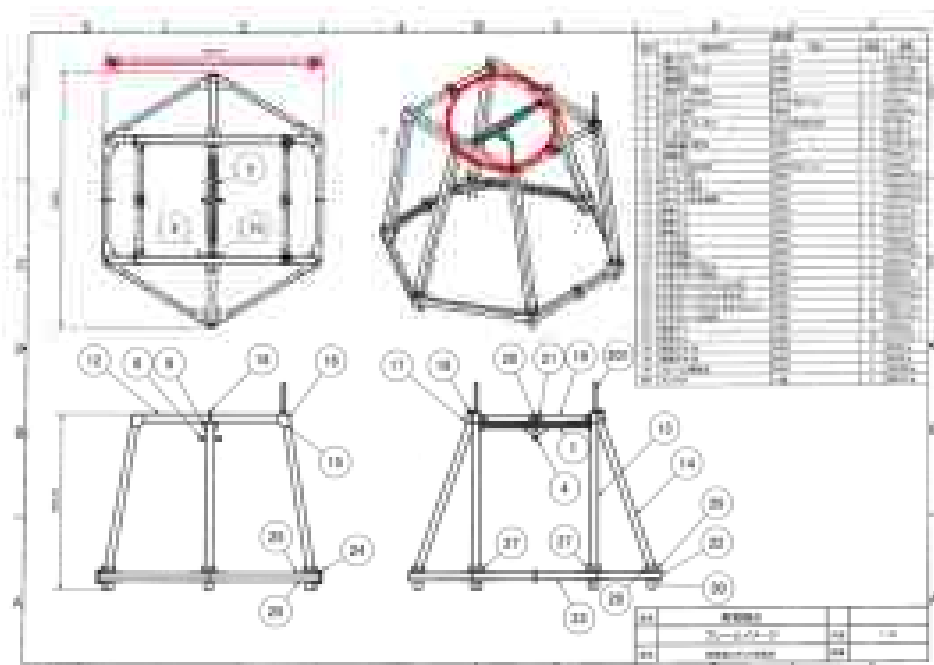


図 7.3.1-8 外枠図面

図 7.3.1-9 のように幅を 2,500mm 以内に納め、分解しなくても車で運搬可能な幅とした。

(筐体懸垂部)

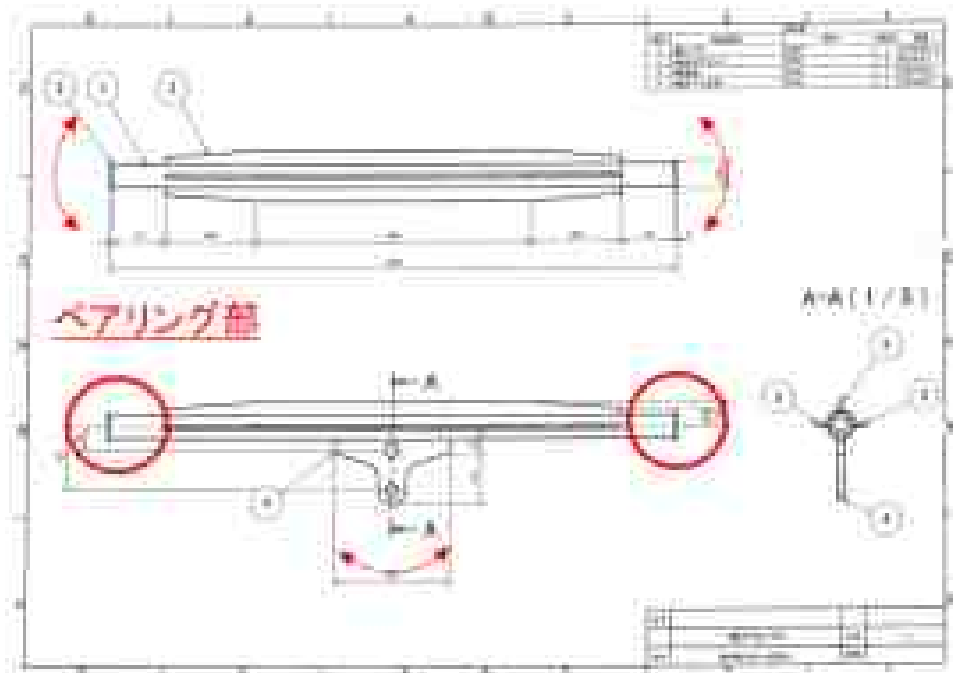


図 7.3.1-9 筐体懸垂部図面

(底部)

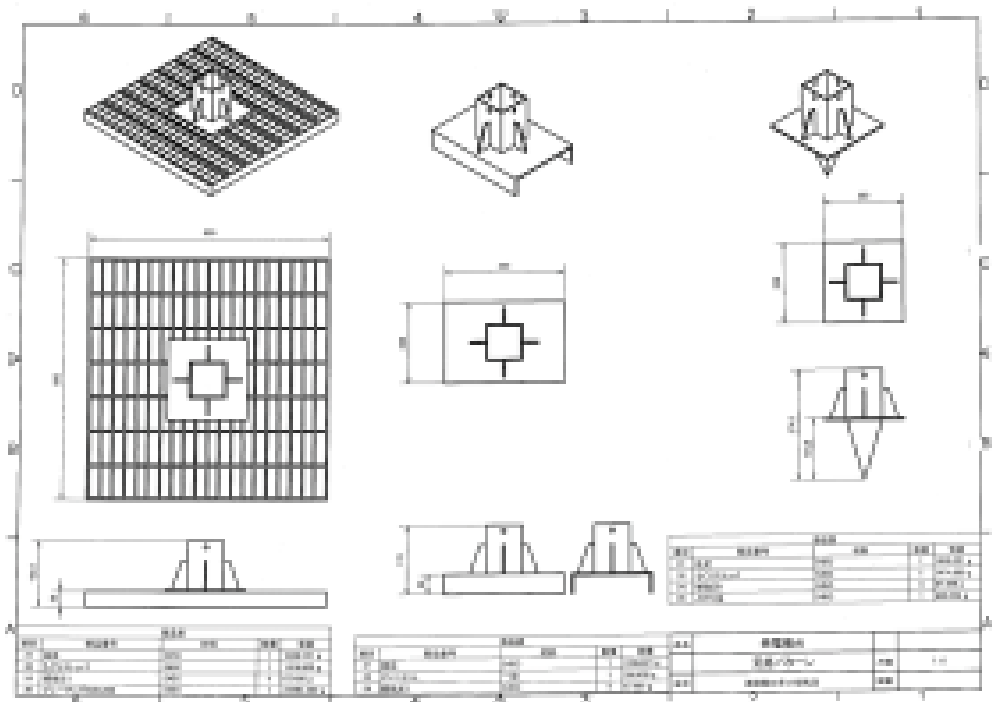


図 7.3.1-10 底部図面

(全体図)

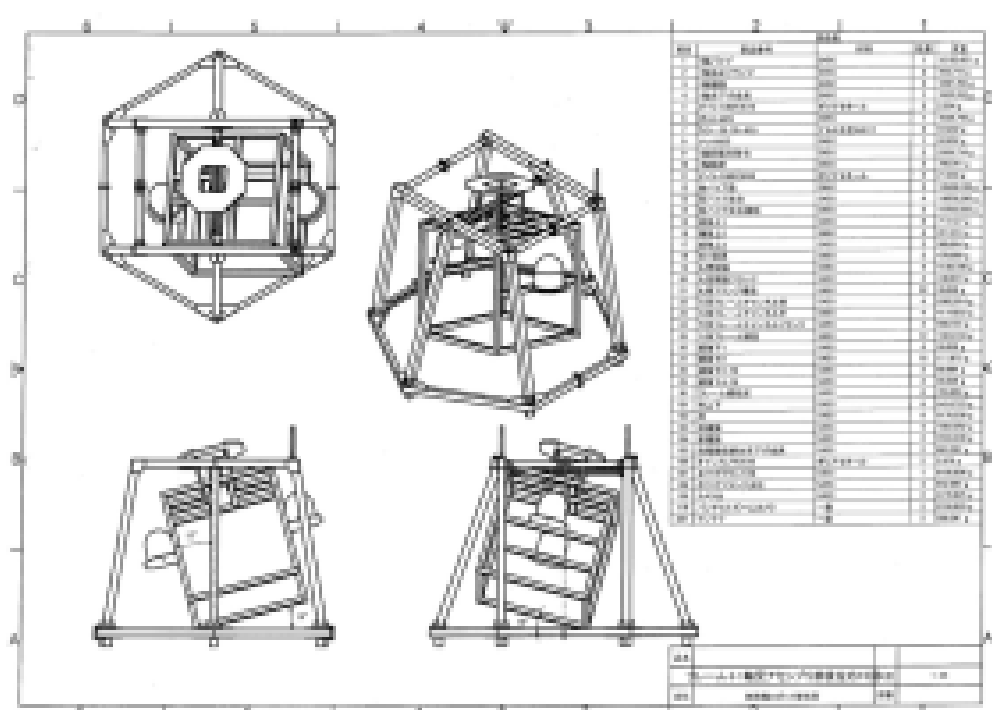


図 7.3.1-11 全体図

図 7.3.1-9~11 のようにジンバル式のMPを設計した。



(3) 製品の実験

1) 完成品によるクレーン実験

1 t ウエイトを載せて 15 度角度で完成試験を実施した。



写真 7.3.1-2 完成試験 2015.2.17(港製器)

2) ヘリコプターによる実証実験

完成した実機を使用したヘリコプター実証実験を実施した。バッテリーを搭載して設計積載重量でクレーンとヘリコプターによる走行、設置、回収試験を実施したが、シャフトのたわみ量は規定の  $1/200$  以内に収まり、実験終了後のMP各部の変形もゼロであり、強度的に問題ないことが実証された。



写真 7.3.1-3 ヘリコプター実験 (2015.3.12 富士砂防事務所)

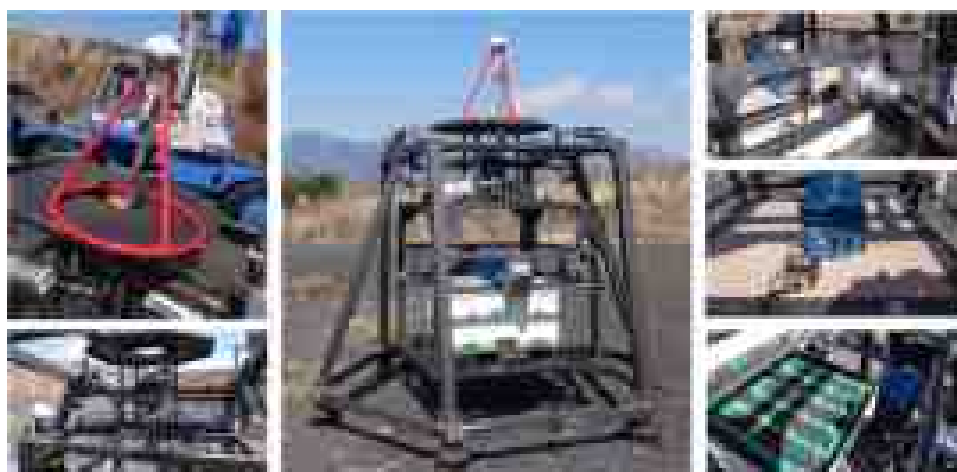


写真 7.3.1-4 MP搭載機器

(4) 流動化材を使用した方式による基礎実験

簡易的な水平機構の研究として流動化材を使用した基礎実験を実施した。

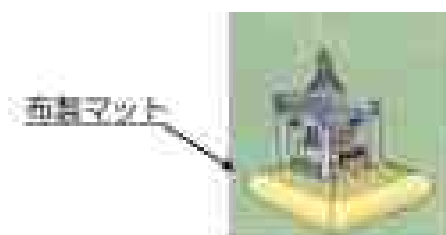


図 7.3.1-12 流体材料を使用したMPイメージ図

1) 材料の選定

流動化材の選定

流動化材の選定にあたり、複数の材料の検討を行った。下記に比較表等を示す。

表 7.3.1-2 材料の選定

			
	①砕石	②ポリプロピレン粒	③木屑ペレット
特徴	粒子径の幅広さが期待できる。	比重が軽く、摩擦係数・耐久性に優れる。	比重が軽く、摩擦係数が高いと期待される。
問題点	ペリロ部下で発生する塵	本実験でも試的に4万個の塵	経路中に発生あり。
経済性	材料費は中級	材料費が最廉	材料費は中級
採用	✖	△	○

### 外装袋の材料選定

外装袋の材料選定を行った。この材料選定で必要な特性を下記に示す。

- ・現場で不陸のある岩盤等で使用するため強度が強いこと。
- ・耐久性に優れ劣化しにくいこと。
- ・透水性、通気性に優れること（天候に左右されないこと）。
- ・価格が安いこと。

以上の点から、ポリエステル製の布袋を採用こととした。

写真 7.3.1-5 外装袋



## 2) 基礎実験

選定した流動化材を使用し基礎実験を実施した。具体的には、設置した時点の水平性について角度を計測した。

### 実験装置の概要

試験装置は実寸モデルの 1/16 相当の物とする。

表 7.3.1-3 実寸モデルと実験装置の比較

項目	実寸モデル	試験装置
布袋マット寸法 (m)	2×2×0.7	0.5×0.5×0.25
土荷重量 (kg)	500～600	36.8
単位面積あたりの圧力 (kg/cm <sup>2</sup> )	0.0125～0.0150	0.0147

### 材料の安息角計測

実験に先立ち木質ペレットの安息角を計測した。

貫通した筒に木質ペレットを詰め込んだ後、その筒を上へ引き抜く。

この時に広がった木質ペレットの径と高さから安息角を計算する。



写真 7.3.1-6 安息角の計測

写真 7.3.1-6 のように 3 回同様の実験を行い、平均値を算出した結果、安息角は 26 度であることが分かった。

#### 水平実験

設置した時点の角度を計測して水平になるか実験した。



図 7.3.1-13 実験概要

#### -1 考察変化させた項目

##### a . 容積率の変化

木質ペレット			
充填率	40%	60%	80%
重量	17.5kg	26.3kg	35.0kg

図-7.3.1-14 容積率とペレット重量

##### b . 荷重の変化

36.8kg と 75.1kg  
上載荷重を倍にした。

##### c . 設置方法

上下方向のみで斜面へ設置、平行方向と上下方向へ動かしながら斜面へ設置

##### d . 設置角度の変化

15 度と 23.4 度(準備した材料で最大)

-2 実験状況

袋の先端部にパイプレータの設置

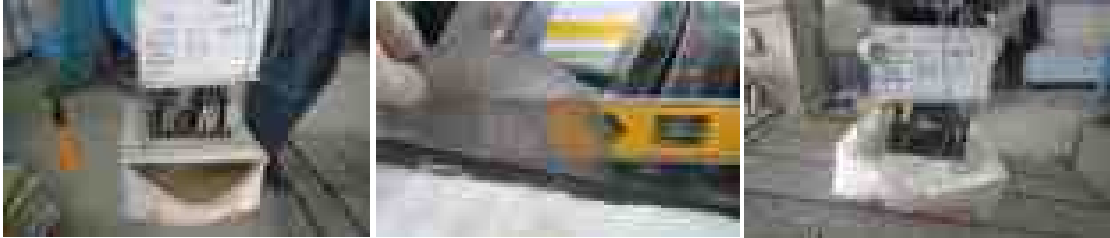


写真 7.3.1-7 実験状況

実験結果

実験結果を下記に示す。

表 7.3.1-4 実験結果

	斜面角度 [°]	荷重 [kg]	木質ペレット		実験結果
			重量 [kg]	充填率 [%]	布袋角度 [°]
1	15.0	36.8	17.5	40	10.0
2	15.0	36.8	17.5	40	10.0
3	15.0	36.8	26.3	60	12.0
4	15.0	36.8	26.3	60	11.0
5	15.0	36.8	35.0	80	11.0
6	15.0	36.8	35.0	80	10.5
7	15.0	75.1	35.0	80	11.0
8	15.0	75.1	35.0	80	12.0
9	15.0	75.1	35.0	80	8.5 パイプレータ
10	15.0	75.1	35.0	80	7.0 パイプレータ
11	15.0	75.1	35.0	80	6.5 パイプレータ
12	15.0	75.1	35.0	80	-3.0 横、上下方向同時移動
13	23.4	75.1	35.0	80	6.0 横、上下方向同時移動
14	23.4	75.1	35.0	80	4.0 横、上下方向同時移動
15	23.4	75.1	35.0	80	7.0 横、上下方向同時移動
16	23.4	75.1	26.3	60	3.5 横、上下方向同時移動
17	23.4	75.1	26.3	60	1.5 横、上下方向同時移動
18					

## 水平実験結果

水平実験の結果を下記に示す。

表 7.3.1-4 の通り、充填率、及び荷重の実験結果がどれも変わらず 10 度以上という不良な結果となったが、安息角の影響があると考えている。斜面角度は 15 度であるのに対し、木質ペレットの安息角は 26 度であり、安息角よりも斜面の角度は小さい。このことから、斜面に対して垂直に静的に接地させたこの実験においては、木質ペレットに流動性を与えることができなかつたため、斜面の角度に布袋が追従してしまう結果となった。

水平方向の速度を与えて接地させた場合に結果がよくなる点について、木質ペレットの流動性という点がポイントとなる。垂直に接地させた場合には、木質ペレットに流動性を与えることができなかつたが、この実験においては接地時に布袋が速度を持っているため、斜面へ接地した際に木質ペレットに衝撃が加わることとなる。この際に木質ペレットへ流動性が生まれるため、布袋が水平となるように木質ペレットが動き、良好な結果につながった。

斜面角度を急にした場合の結果について考察する。まず、充填率 80% の場合について、斜面角度以外は条件が変わらないにもかかわらず、実験結果は少し悪くなっているが、充填率の影響があると考えている。斜面が急になったため、布袋が水平を保つには、布袋により大きな変形が求められる。しかし、充填率が高いと布袋の変形量が限られてしまうため、実験結果が悪くなったと考える。充填率 60% の場合に結果がよくなった点も同様の説明ができると考えている。

## 7.3.2 平成 27 年度の開発内容

### (1) 1 号機の課題について

平成 27 年度の開発に際し、平成 26 年度に製作した 1 号機の課題について、取りまとめた。内容を下記に示す。

#### 十分でない礫などの地盤の凹凸に対応

推進委員会の先生方から出た意見の中で大きな課題であったのが、本当に 15 度程度の対応でよいのかという点であった。確かに現地で実験した際も傾斜がなくて礫などにより凹凸で局部的に 15 度程度は超えてしまい実際はこれ以上になるケースもあると考えられる。

設置の際選んで降ろせばよいとか、錘なので整地してから降ろせばよいという指摘もあったが、実際にもっと角度のあるところで必要ではないかという指摘に対しては現状のジンバル式では外枠の制約から難しいと考える。また実験時にジンバルのフレームが礫等の転石の上に乗ってしまうケースもあり構造的にも問題があると考えられる。

#### カメラ、アンテナの設置高不足

カメラの取付け位置は内枠部にしたことから 1 m 程度の高さでは場所によっては影になってしまう可能性があり十分とはいえなかつた。またアンテナに関しても 1.5 m 程度でももう少し高いほうが良いと考える。

#### アンテナの設置スペース不足

ジンバル方式は内枠と外枠の懸垂式二重構造なので上部にスペースをとりにくい。これがカメラ、アンテナ等の設置高が十分といえない結果となっている。また今後他の機器を設置するスペースは全く無く、拡張性が低い構造である。



図 7.3.2-1 1号機の課題

この課題にもとづき、平成 27 年度は、違ったアプローチで対応を検討することにした。

(2) 新構造体の計画

前述した問題を改善するべく新構造体のMPは下記のような籠構造から鳥居型へ変更することとした。



図 7.3.2-2 新MPイメージ図

(3) 新構造体の検討について

1) 低コスト化

最終目標の達成のために全体の予算の配分の中で、簡易的な中継型のMP製作費程度予算であったため、コストダウンを必要とした。

これにより主要フレームを展示用のシステムトラス、角ボックストラス(アルミ)をリース品を使用することにしてコストダウンに努めた。

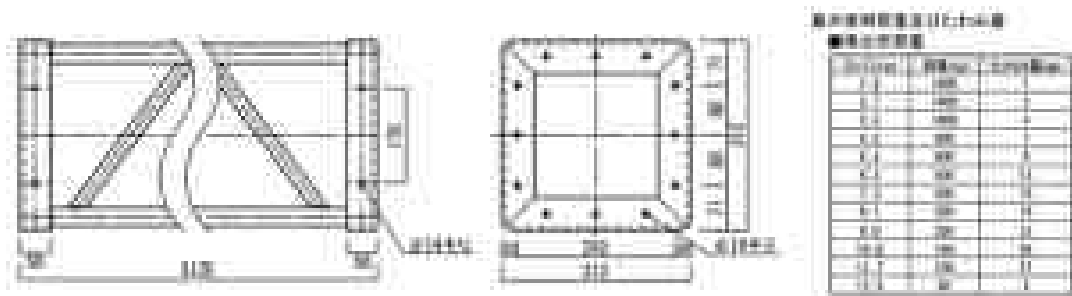


図 7.3.2-3 展示用システムトラス

2) 傾斜 30 度対応できるシンプルな開脚構造

傾斜 30 度まで対応可能な開脚構造で開脚角度は設置した傾斜で決定することになる。開脚部分がフリーであると安定することが難しいと予想したが機構が複雑になりトラブルの原因となると考えて敢えてフリー構造とした。ただし、バッテリー荷重等の重心が脚の外側にならないように転倒を考慮した。



図 7.3.2-4 傾斜 30 度対応のイメージ

3) 運搬搭載時の考慮

1号機のジンバル式は外枠の大きさは運搬車の幅に制約され、内枠の振り角度が決まってしまうが、そのようなことがなく、また運搬車搭載に支障のない構造とした。





【機器諸元等】

名称：災害対応マルチプラットフォーム2号機

型式：未定(2台目試作品)

自重：約1.2ton

寸法：2,212×3,741×4,228 (0度水平時)

搭載量：最大0.6ton(安全率5倍)

容量：約0.469 m<sup>3</sup>

製造者：港製器工業株式会社

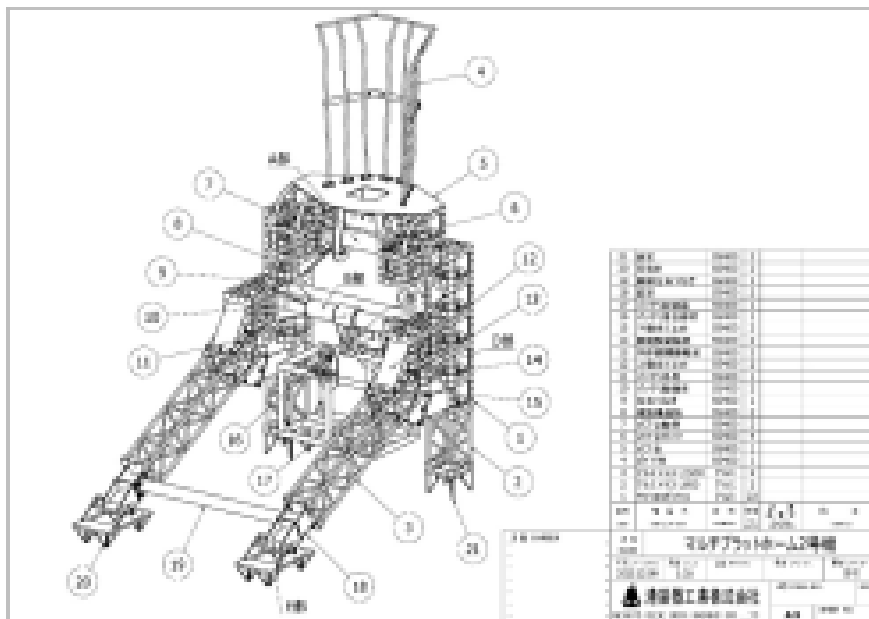


図 7.3.2-7 2号機部品表

(5) 製品の実験

1) 完成品によるクレーン実験

以上の最終図面により製作を行い、製作場所にて製品検査を実施した。



写真 7.3.2-2 2号機クレーン実験状況

#### 実施場所

大阪府高槻市唐崎中 3-20-7 港製器工業株式会社施設内

#### 実施日時

平成 28 年 2 月 18 日 13 : 00 ~ 15 : 00

結果 : メインシャフトの曲がりは 2mm 程度であり、問題はないと判断した。

#### ( 6 ) 完成品によるヘリコプター実験

以上の最終図面により製作を行い、製作場所にて製品検査を実施した。

#### 試験時仕様

名 称 : 災害対応マルチプラットフォーム 2 号機

型 式 : MPH2(仮称)

自 重 : 約 1.2ton

搭載量 : 最大 0.7ton(安全率 5 倍)

容 量 : 約 0.469 m<sup>3</sup>

搭載品 : 電源用バッテリー(VSC6-48 型、48V-258AH、524kg)

インバータ(電菱 SK3000-148 型、48V-3000W、9.8kg)

監視カメラ(Axis Q3505-VE 型)3 台

LED 投光器(LEN-50D-ES-W 型)3 台

無線 LAN 装置(WAPS300WDP 型)1 台, コリニア型アンテナ(WLE-HG-NDC/A 型)2 本

GPS アンテナ(ROVER )及び GNSS 移動局(BD982 型)1 台

各種コントローラー及び収納コンテナ

VCT パック Assy.

パック接続ワイヤー及び BC22 シャックル 2 個

総重量 : 約 1900kg

#### 実施場所

静岡県富士宮市上井出地内 富士山大沢ヘリポート及び富士大沢川扇状地

#### 実施日程

平成 28 年 3 月 17 日 09 : 30 ~ 15 : 30 ヘリコプター試験

#### 実施状況



写真 7.3.2-3 2 号機ヘリコプター実験状況



図 7.3.2-8 2号機による課題の改善状況

2号機のヘリコプターによる運搬と1号機を中継機として使用して無線の中継試験を実施した。



写真 7.3.2-4 中継機として使用中の1号機

**実験結果**

実験結果を下記に示す。

**a)ヘリの運搬時も大きな挙動も無く良好であった**

ヘリのホバリング時には、ヘリコプターのダウンウォッシュの影響により一般的な資材同様に緩く回転するが、制御可能であって問題はないと評価でき、かえって不整地への設置時に位置決めしやすい状態を形成するにっており良好でもある。

**b)10～25度の設置箇所にて問題なく設置可能であった。**

5箇所での設置状況や傾斜角度(最大約25度～最低約10度)の違う場所に設置作業を試みたが、何れも問題なく設置でき得ることを確認。

**c)フレーム強度について問題なかった。**

最終的なフレーム強度の確認計測において寸法Aの差異が大きかったことに関しては、サイコロフレームの接合が多く、ボルト接合によるフランジの取付穴とボルトの間隙のズレによるものと判断でき、ジンバル機構のシャフト類の撓みの増大では無い事を確認しており問題はない。



図 7.3.2-9 2号機のペリコプター実験まとめ

考察と課題

a)設置姿勢について

当初想定していた以上に前傾姿勢となった。この状態であるとガードも前傾になりVCTによる捕獲に支障が出るので、前足がフリーである点の対応が望まれる。

b)荷卸について

MPの積降、積込時に少し時間がかかった。荷の吊り位置等あらかじめ明確にしておく必要がある。

(7) 機体WGのまとめ

MP開発に当たっては下記の開発目標があった。当WGの直接の目標である1～3の項目については満足いく成果があった。

また他のWGの目標となる4～8についても1,2号機の構造で支障のなかったことから構造体WGとしては当初の開発目標はクリアして、実用可能な製品が完成した。

項目	概要	成果
1. ベルト駆動による駆動機構	ベルト駆動による駆動方式の採用が実現可能であったこと。	設計以上の駆動力を得ることができ、仕様を満たすこと。
2. ベルト駆動によるVCTによる駆動・制御	ベルト駆動によるVCTによる駆動・制御を実現し、可能であること。	1号機でのVCTによる駆動・制御を実現し、2号機でのVCTによる駆動・制御は実用可能なレベルで実現した。
3. 駆動機構の構造設計・製作への対応性	設計・製作への対応性を実現し、駆動機構の構造設計・製作が実現可能であること。	1号機での駆動機構の構造設計・製作を実現し、2号機での駆動機構の構造設計・製作を実現した。
4. 運転時騒音の抑制	騒音抑制対策を実施し、運転時騒音の抑制が実現可能であること。	1号機での騒音抑制対策を実施し、2号機での騒音抑制対策を実施した。
5. 機体の構造設計による安定性・信頼性の確保	機体の構造設計による安定性・信頼性の確保が実現可能であること。	1号機での機体の構造設計による安定性・信頼性の確保を実現し、2号機での機体の構造設計による安定性・信頼性の確保を実現した。
6. 機体の構造設計による駆動力の確保	機体の構造設計による駆動力の確保が実現可能であること。	1号機での機体の構造設計による駆動力の確保を実現し、2号機での機体の構造設計による駆動力の確保を実現した。
7. 監視カメラによる監視装置の設置	監視カメラによる監視装置の設置が実現可能であること。	1号機での監視カメラによる監視装置の設置を実現し、2号機での監視カメラによる監視装置の設置を実現した。
8. MPによる駆動機構	MPによる駆動機構の設計・製作が実現可能であること。	1号機でのMPによる駆動機構の設計・製作を実現し、2号機でのMPによる駆動機構の設計・製作を実現した。

図 7.3.2-10 機体WG開発目標の成果まとめ

(8) 今後の展開について

今後のMPの展開として以下にあげた項目が予想される。

土砂ダム対策

監視装置 + 土砂採取機能、排水ポンプ設置

火山災害対策

監視装置 + 火山堆積物採取機能、簡易シェルタ設置

水害対策

堤防決壊監視装置、通信中継システム、排水ポンプ設置支援

## 7.4 電源システムの検討

### 7.4.1 平成26年度の開発内容

#### (1) 電源供給方法の検討

電源供給システムの検討にあたり、供給方法について、バッテリーと発電機の比較を行った。下記に一覧表を示す。検討の結果、電源供給方法は、バッテリー供給のほうが適している（下記参照）という判断とした。

表7.4.1-1 電源供給方法比較表

	バッテリー（48V仕様 216Ah）	発電機（DCA-13LSYB 10kVA）
電源安定性	温度変化を含む耐環境性に強く、安定した電源供給が可能。	基本的には問題ない。ただし、突発的なトラブルでエンジン停止した時の考慮は必要。
筐体への搭載性	外形寸法：L732×W664×H526 正立方体に近く、重心バランスも比較的とりやすい。	外形寸法：L1,390×W650×H1,160 直方で高さがあるのが難点である。
重量	524kg（外箱重量は新トイ聞取り）	660kg（整備重量，燃料込み）
価格	1,825,000円（外箱込み VCC-6） （新トイ聞取り価格 BL255 搭載）	1,930,000円（定価） （デンヨー聞取り価格）
電子機器への影響	給電時に振動はない。よって振動対策は不要。発熱等もまったくない。	発電時に振動があるため、振動対策が必要。また、排気口や発熱の影響も一考する必要がある。
長時間化（現仕様比較）	低負荷の採用、機器の節電対策で発電機よりも長時間化が可能と考える。	低負荷の採用、機器の節電対策をしても最低限の燃料は消費するため、長時間化も限界がある。
長時間化（供給方法単体）	個体でより大容量のバッテリーがあるため、1週間までであれば可能と考える。	容量をあげても最低限の燃料は消費するため、1～2日程度の長時間化が妥当な線と考える。燃料供給方法を別途考慮すれば、長時間化が可能。
電源拡張性	太陽光発電と組み合わせることで電源の長時間化が比較的容易に可能と考える。	太陽光発電との組み合わせはバッテリーが介在することになるため、発電機単体としての拡張性はないと考える。
耐用性	一般的な運用で3～5年程度 ただし、保管状態による。	一般的な運用で7～9年程度 保管状態に影響はあまりない。
保管性	長期保管にはあまり向かない。	メンテナンス後に保管すれば影響はない。
保安管理	特になし。	10kW以上は電検3種等の資格が必要。60Hzで使用すると必要となる。
総合評価	保管性や耐用性に難はあるものの、拡張性や搭載性に優れる。	汎用機械であり、耐用性に優れるが、搭載性や拡張性等が劣る。

：非常によい      ：よい      ：普通      ：あまりよくない      ：工夫が必要

(2) 妥当性の確認方法

1) 確認の進め方

今後の予定として、下記のステップで確認を進めていきたいと考える。今回は、このうち、STEP1 について概略を示す。

- STEP1：模擬負荷 + 模擬バッテリーによる稼働時間計測
- STEP2：実装予定負荷 + 模擬バッテリーによる稼働時間計測
- STEP3：上記を踏まえた電源システムの構築

2) 模擬負荷 + 模擬バッテリーによる稼働時間計測 (STEP1)

目的

バッテリーによる電源供給の妥当性と一時的な傾斜に対する不具合の有無を確認する。

検証方法

電源供給の妥当性を確認するため、模擬負荷と模擬バッテリーによる稼働時間計測を実施する。

具体的には、模擬負荷と模擬バッテリーを下記のように接続し、稼働時間を計測する。なお、検証結果の信頼性を考慮し、検証を3回以上行い、最低値を最終的な結果とする。

VCC6 電力量 = 258 (Ah) × 48 (V) = 12,384 (Wh)  
ロス等を考慮した電力量 = 12,384 × 0.8 × 0.8 = 7,926 (Wh)  
稼働時間理論値 = 7,926 ÷ 500 = 15.85 (h) これを最低限クリアすることをまず確認する。

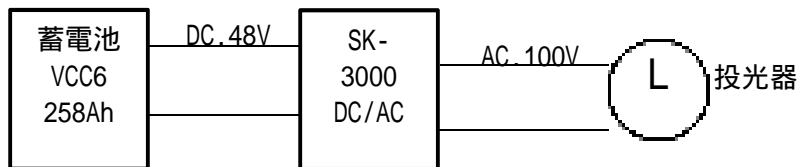


図 7.4.1-1 模擬負荷等接続図

次に、模擬バッテリーを一時的に傾けた状態での電源供給可否を検証する。傾斜角度は、設置条件 (15°) の 1.5 倍の 22.5° とし、供給時間は 10 分 (傾斜地に設置し、傾斜補正するまでの時間を想定) とする。なお、検証結果の信頼性を考慮し、検証を 3 回行う。また、それぞれの検証後、目視にて液洩れの有無を確認する。もし、1 回目の検証で液漏れが確認された場合には、傾斜検証は終了とする。

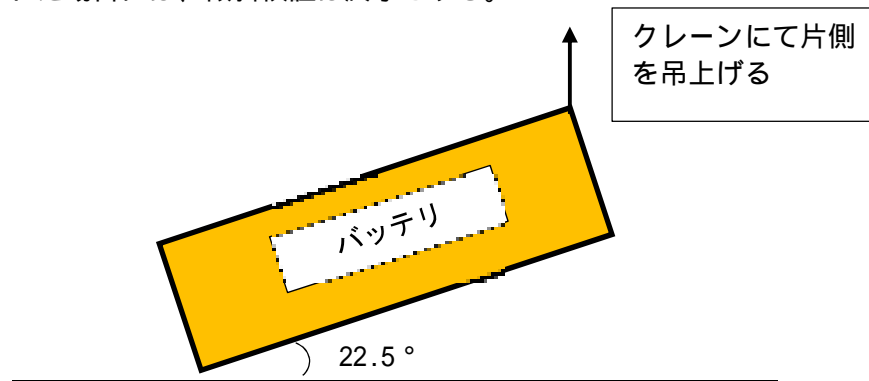


図 7.4.1-2 バッテリー傾斜検証概要図



検証時期、場所等

検証時期：10月後半 5日程度

検証者：田中（西松） 早瀬（大本） 佐藤（西尾） 吉田（先端）

場所：西松建設(株)平塚製作所殿（屋内）(打診中)

〒253-0111 神奈川県高座郡寒川町一之宮 6-1-1

- ・JR相模線「寒川駅」下車、徒歩約20分
- ・JR東海道線「茅ヶ崎駅」下車「神奈川中央バス53系統」下河原経由寒川駅南口行き乗車約19分「八角広場前」下車、徒歩約5分



図 2.3 西松建設(株)平塚製作所殿地図

使用機材類

使用機材類を下記に示す。

表 7.4.1-2 STEP1 使用機材類一覧表

名称	規格・仕様	数量	呼称	手配等	備考
機関車蓄電池	トEI BL255VCC6-48V 258Ah	2	基	レンタル	新トモエ
バッテリー充電器	VCC6用	1	台	レンタル	新トモエ
DC-AC インバータ	電菱 SK-3000 48V/100V	1	台	購入	
投光器	500W AC100V	1	台	レンタル	西尾レント
ケーブル類	VCT 他	1	式	購入	



写真 7.4.1-1 DC-AC インバータ



写真 7.4.1-2 機関車蓄電池

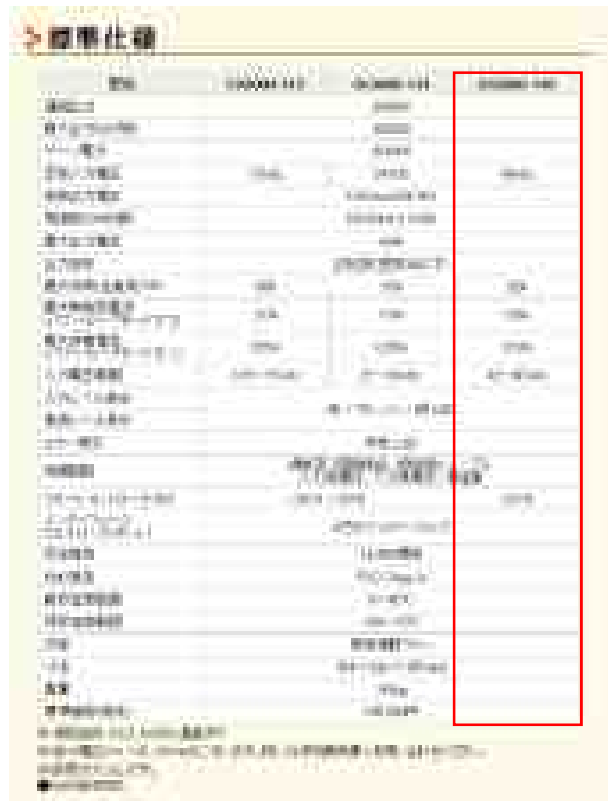


図 7.4.1-3 DC-AC インバータ仕様

概略工程

概略工程表を下記に示す。

表 7.4.1-3 検証概略工程表

	時間等	1日	2日	3日	4日	5日
BT1						
充電	8h(8:00 ~ 17:00)	—		—		
検証	22h(17:00 ~ 15:00)	—	—	—		予
BT2						備
充電	8h(18:00 ~ 2:00)	—	—	—		
検証	22h(17:00 ~ 15:00)		—	—		日
傾斜	2h(10:00 ~ 12:00)				—	

### (3) 電源システムの妥当性確認実験

#### 1) 概要

災害対応マルチプラットフォームの電源供給方法として、バッテリーによる電源供給の適性について、確認する。

#### 2) 確認方法

##### 確認手順

下記のステップで確認を進めていく。本書は、以下の項目のうち STEP1,2 の確認結果を示す。

STEP1：模擬負荷 + 模擬バッテリー（水平状態）による稼働時間計測

STEP2：模擬負荷 + 模擬バッテリー（傾斜角度 22.5°）による稼働時間計測

STEP3：実装予定負荷 + 模擬バッテリーによる稼働時間計測

STEP4：上記を踏まえた電源システムの構築

模擬負荷 + 模擬バッテリー（水平状態）による稼働時間計測（STEP1）

##### (a) 目的

バッテリーによる電源供給の妥当性を確認するため、模擬負荷におけるバッテリーの稼働時間を確認する。以下に概要を記す。

場 所：西松建設株式会社 平塚製作所

日 時：平成 27 年 1 月 30 日から 1 週間

##### (b) 使用機材

使用した機材一覧を下記に示す。

表 7.4.1-4 使用機材一覧表

名称	規格・使用	数量	単位	手配	備考
機関車用蓄電池	トEI BL255 VCC-48V 258Ah	2	基	レンタル	新トEI
蓄電池用充電器	VCC6 用	1	台	レンタル	新トEI
DC-AC インバータ	電菱 SK-3000 DC48/AC100V	1	台	購入	
投光器	500W AC100V	1	台	購入	
ケーブル類	VCT、IV、コネクタ等、圧着端子等	1	式	購入	
タイムカウンター	仏ロソ H7ET-N1	1	個	購入	
リレー	仏ロソ MY2 AC100V 用	1	個	購入	

##### (c) 検証方法

模擬負荷、模擬バッテリー、稼働時間計測器（タイムカウンター、リレー）を下図のように接続し、稼働時間を計測する。検証結果の信頼性を考慮し、**検証を 3 回**行う。最低稼働時間を最終結果とする。

バッテリー容量：258(Ah)（5 時間率）より

$$258(\text{Ah}) \div 5(\text{h}) = 51.6(\text{A})$$

消費電流 51.6(A) の負荷を 5 時間使用し続けることが可能である。

接続する模擬負荷の消費電力 500(W) より、DC 側の消費電流は、下記の式により求められる。

$$W(\text{電力}) = V(\text{電圧}) \times I(\text{電流})$$

$$500(\text{W}) \div 48(\text{V}) = 10.4(\text{A})$$

以上のことから、定格電圧 DC48(V) 消費電流 10.4(A)の負荷の連続使用可能時間は、下記のとおりとなる。

$$51.6(A) : 5(h) = 10.4(A) : X(h)$$

$$X \quad 24.8(h)$$

しかし、DC-AC インバータの変換効率 92%、使用するバッテリーの不均衡率等を考慮し、効率を 0.85 とすると下記のとおりとなる。

$$24.8(h) \times 0.92 \times 0.85 \quad 19.4(h)$$

計算上、投光器は、約 19.4 時間の連続点灯が可能である。

なお、タイムカウンタ、リレーの消費電力は合計約 1(W)であることから投光器の点灯時間に影響を及ぼさないものとした。

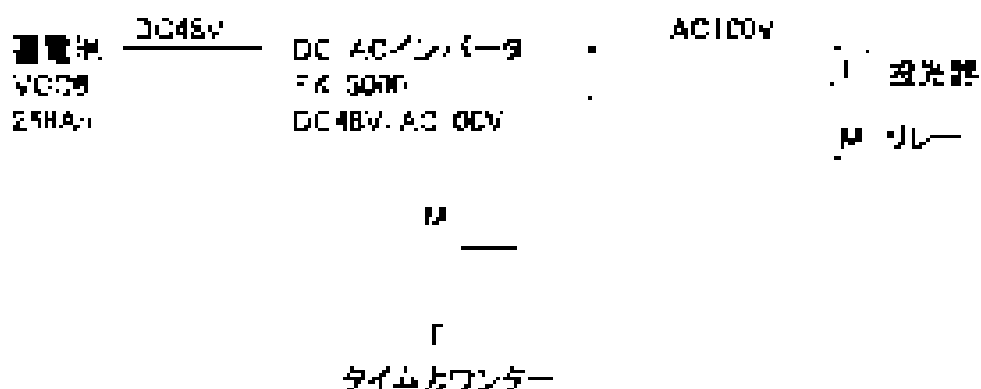


図 7.4.1-4 接続概要



写真 7.4.1-3 装置概要写真 (左: バッテリ 中央: DC-AC インバータ 右: 投光器)



写真 7.4.1-4 計測器（左：タイムカウンター、右：リレー）

#### (d) 検証結果

検証結果を下記に示す。

第 1 回目：18 時間 29.9 分

第 2 回目：20 時間 03.9 分

第 3 回目：19 時間 58.8 分

第 1 回目計測開始前にバッテリー電圧を測定したところ DC50.8(V)であった。一般的に満充電の状態は、定格電圧の 1.1 倍程度 (52.8V) である。2,3 回目は満充電後に計測を開始している。この件については、考察で述べる。

第 1 回目の計測後、投光器が消灯していることを確認し、投光器を接続した状態で、DC-AC インバータを再投入して投光器が消灯する直前の状態を確認した。再投入前は、DC47(V)であったが、再投入（および点灯）と同時に DC45(V)まで降下した。DC45(V)付近で暫く安定していたが、10 分経過後、徐々に電圧が降下し始め、DC43(V)まで電圧降下したと同時に、DC-AC インバータより低電圧遮断警報アラームが鳴り始めた。さらに電圧を測定し続けていると、DC40V まで降下したところで投光器は消え、アラーム音も消えた。DC-AC インバータの入力電圧範囲が、42V～60V であることから、投光器は、DC-AC インバータの低電圧遮断により消灯したものであると断定した。

なお、第 2 回目、第 3 回目は、時間計測のみを行った。

#### (e) 考察

計 3 回の稼働時間計測のうち、第 1 回目だけ、約 1.5 時間短い結果となった。この原因は、出荷元である新トモエ電機工業にて満充電後、出荷・輸送・実験準備および試運転等で時間が経過し、この間、多少の電力が消費されたものと考えられる。実災害現場においても、現地で充電できることは、想定しがたく、第 1 回目の実験と同様の時間等の経過は考慮すべきと考える。また、第 2 回目と 3 回目の結果は、ほぼ同様であるため、得られた結果の信頼性は高いと考える。

以上の結果より、バッテリーの効率（不平衡率等）を下記のとおりとし、以後の電力量算出の基礎とする。

**出荷基地にて充電し、災害現場へ搬入する場合**

$$18.5(\text{h}) \div (24.8(\text{h}) \times 0.92) = 0.81 \quad \underline{0.8 \text{ (この値を今後の基礎とする)}}$$

**災害現場にて充電できる場合**

$$20.0(\text{h}) \div (24.8(\text{h}) \times 0.92) = 0.81 \quad \underline{0.88 \text{ (参考値)}}$$

模擬負荷 + 模擬バッテリー（傾斜角度 22.5°）による稼働時間計測（STEP2）

(a)目的

電源システムが、路盤状況の悪い傾斜地への一時的な設置、または、輸送時の一時的な振れに対して電力供給が可能かどうかを確認する。

(b)使用機材

STEP1 で使用した機材に加えて、バッテリーを傾けるために天井走行クレーンを使用した。

(c)検証方法

STEP1 の検証方法に加え、バッテリーを 22.5° 傾けた状態で、電力供給が可能かを検証する。電力供給時間は、10 分間（傾斜地に設置し、傾斜補正するまでの時間を想定）とする。なお、検証結果の信頼性を考慮し、検証を 3 回行う。また、それぞれの検証後、目視にて液漏れの有無を確認する。もし、1 回目の検証で液漏れが確認された場合には、傾斜検証は終了とする。



写真 7.4.1-5 バッテリー傾斜状況（22.5°）



写真 7.4.1-6 角度計確認状況

(d) 検証結果

バッテリーを 22.5° 傾けたが、特に問題は発生しなかった。

(e) 考察

第 1 回目の検証後、バッテリーを水平状態に戻しバッテリーの蓋の周辺の様子を目視確認したが、液濡れ箇所は特になかった。以後、同様の検証を 2 回実施したが、特に液漏れ等は確認できなかった。

しかし、第 1 回目の検証後、ごく僅かではあるが、腐乱臭がした。2 回目以降は、特に異臭はなかった。これは、第 1 回目のみ、過充電によって、ごく微量の硫化水素が残留していたものと推測する。よって、実運用上、問題ないと断定する。

(4) 検証に基づく検討

1) 電力量再計算

上記検証の結果をふまえ、電力量を再計算した。再計算に使用する負荷は、まだ確定されていないが、構造体の水平保持機構で電力を使用しないため、その負荷を除外し、また、カメラ台数を増加したものとした。

算定結果より、検証に使用したバッテリーで当初目的を満足することがわかった。また、5 日弱の稼働までは耐えられることもわかった。

3 日稼働 算定結果 168.5(Ah) < 258(Ah) (バッテリー容量)・・・OK

5 日稼働 算定結果 275.5(Ah) > 258(Ah) (バッテリー容量)・・・NG

7 日稼働 算定結果 382.4(Ah) > 258(Ah) (バッテリー容量)・・・NG

2) 電源容量の増加の検討

前項の算出の結果、当初目的を満足することはわかったが、マルチプラットフォームに期待される7日(1週間)の稼働を満足するための電源容量の増加の検討を行う。

バッテリーをベースにした電源システムの容量増加は、下記の方法が考えられる。

単体バッテリー容量を増加させる。

供給電圧を上げる(バッテリー個数を増加させる)。

現在のバッテリーに太陽光を組み合わせ、ハイブリッド化する。

現在のバッテリーに発電機を組み合わせ、ハイブリッド化する。

、については、今回の検証の結果より、期待値を満足することはわかっている。今後、実施するヘリコプターによる実搭載試験の結果に基づくバッテリーの評価後に検討すべきと考える。については、技術的に非常に難しく、また、高価になることが予想されるため、検討から除外する。

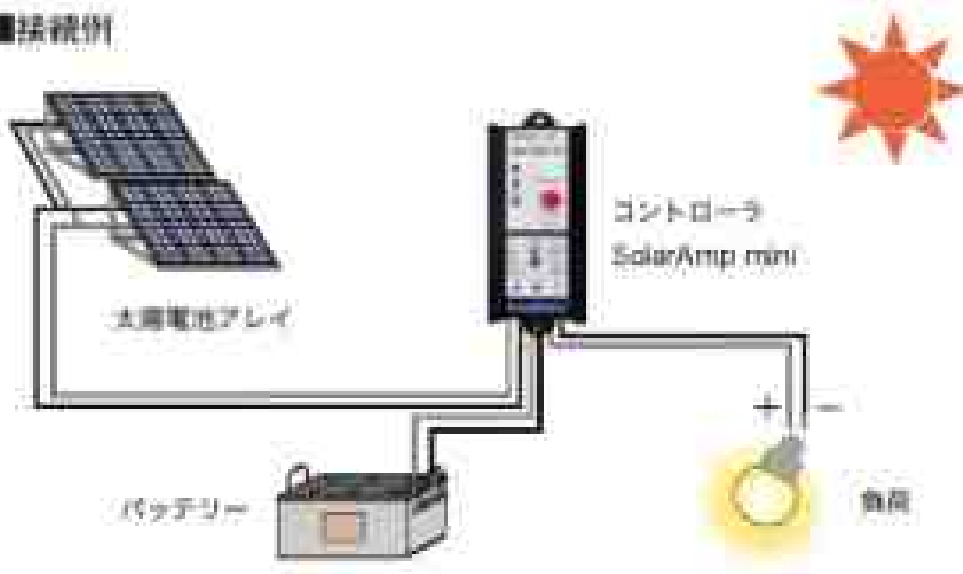
よって、当面は、の太陽光によるハイブリッド化について検討を行う。

表 7.4.1-5 市販バッテリー一覧表(抜粋)

品名	電圧(V)	容量(Ah)	重量(kg)	寸法(mm)	備考
ニッケル水素電池	1.2	100	1.2	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	200	2.4	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	300	3.6	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	400	4.8	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	500	6.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	600	7.2	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	700	8.4	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	800	9.6	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	900	10.8	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	1000	12.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	1200	14.4	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	1500	18.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	2000	24.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	2500	30.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	3000	36.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	4000	48.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	5000	60.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	6000	72.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	7000	84.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	8000	96.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	9000	108.0	100x50x100	
ニッケル水素電池	1.2	10000	120.0	100x50x100	

赤下線：今回のバッテリー 青下線：容量増加の場合の該当バッテリー

■接続例



7.4.1-5 太陽光パネルを使用したハイブリッドシステム例



(5) ヘリコプター実験

MP 構造体のヘリコプターによる吊上げ実験において、検証で使用した電源供給システムを搭載し、稼働状況を確認した。搭載した機器への電源供給およびバッテリー等に問題はなく、今後、これらの機器が搭載可能であることが実証された。



写真 7.4.1-7 ヘリコプター実験状況

7.4.2 平成 27 年度の開発内容

(1) 概要

平成 27 年度は、平成 26 年度の成果に基づき、ヘリコプタ実験において、MP ステーション(2号機)、MP 中継ステーション(1号機)にバッテリーを搭載し、電源供給状況、変化を確認する予定とした。また、他 Gr における通信機器の確定に伴い、稼働時間の再計算を実施した。結果を下記に示す。

MP ステーション : 3 日以上の稼働が可能(机上では 5 日)

MP 中継ステーション : 3 日以上の稼働が可能(机上では 45 日)

表 7.4.2-1 使用機器一覧表(負荷計算のもととなった機器類)

MP ステーション					MP 中継ステーション				
機種	型番	消費電力	稼働時間	備考	機種	型番	消費電力	稼働時間	備考
無線機					無線機				
電源供給装置					電源供給装置				
バッテリー					バッテリー				
通信機器					通信機器				
その他					その他				

表 7.4.2-2 MP ステーション必要電力量計算書

必要電力量計算書 (MPステーション)

品 名	規格・仕様	単価	数	数量	単位	消費電力	電圧	備考
電力ケーブル (10kV)	電力ケーブル (10kV)	1100	0	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
電力ケーブル (5kV)	電力ケーブル (5kV)	500	1	500	円	0	5kV	電力ケーブル
電力ケーブル (10kV)	電力ケーブル (10kV)	1100	1	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
電力ケーブル (5kV)	電力ケーブル (5kV)	500	1	500	円	0	5kV	電力ケーブル
電力ケーブル (10kV)	電力ケーブル (10kV)	1100	1	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
電力ケーブル (5kV)	電力ケーブル (5kV)	500	1	500	円	0	5kV	電力ケーブル
電力ケーブル	電力ケーブル (10kV)	1100	0	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
計				1100				電力ケーブル
	電力ケーブル (10kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (5kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (10kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (5kV)							電力ケーブル

表 7.4.2-3 MP 中継ステーション必要電力量計算書

必要電力量計算書 (MP中継ステーション)

品 名	規格・仕様	単価	数	数量	単位	消費電力	電圧	備考
電力ケーブル (10kV)	電力ケーブル (10kV)	1100	1	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
電力ケーブル (5kV)	電力ケーブル (5kV)	500	1	500	円	0	5kV	電力ケーブル
電力ケーブル (10kV)	電力ケーブル (10kV)	1100	1	1100	円	0	10kV	電力ケーブル
電力ケーブル (5kV)	電力ケーブル (5kV)	500	1	500	円	0	5kV	電力ケーブル
計				1100				電力ケーブル
	電力ケーブル (10kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (5kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (10kV)							電力ケーブル
	電力ケーブル (5kV)							電力ケーブル

(2) ヘリコプター実験

平成27年度の計画に基づき、ヘリコプター実験にて電源システムの確実性を確認することとした。下記に実験概要を示す。

1) 実験概要

日時：平成28年3月15日(火)～17日(木)

場所：富士山大沢川扇状地

1号機(中継機)搭載機器：中継用無線機器、IPカメラ×1台

2号機(MP)搭載機器：無線装置、GPS、IPカメラ×3台他

2) 実験工程および電源システム稼働工程

実験工程および電源システム稼働工程を下記に示す。

表 7.4.2-4 実験工程および電源システム稼働工程

内容	3月						備考
	13日(日)	14日(月)	15日(火)	16日(水)	17日(木)	18日(金)	
<b>1号機(中継機)</b>							
充電(港精器:高槻)		■					
輸送(高槻 富士扇状地)			■				
搭載機器取付調整			■				
稼働			■ 約2日(実負荷)				
撤去・搬出			■ 約3日(実負荷+無負荷)				稼働終了まで搭載機器に特段の変動はなし。
<b>2号機(MPステーション)</b>							
充電(西松建設:寒川)		■					
輸送(寒川 富士扇状地)			■				
搭載機器取付			■				
稼働			■ 約2日(実負荷)				
撤去・搬出			■				稼働終了まで搭載機器に特段の変動はなし。

3) 実験結果

電源稼働状況

1,2号機とも実負荷で2日間稼働したが、その間、特段の変化(外観等)、通信機器のトラブル、電圧変動等は見られなかった。非常に安定した供給状況であったと考えている。



写真 7.4.2-1 電源システム稼働状況(1号機)

#### 稼働後のバッテリーの状況

平成 26 年度も確認したが、ヘリコプター実験後のバッテリーの状況（液漏れや内部変形等）について、今年度も再度確認した。稼働後のバッテリーの状態は、使用前と特段変わらず、液漏れ等も見られなかった。



写真 7.4.2-2 稼働後のバッテリーの状態（特段の変化は見られない）

#### 4) 結論および考察

昨年度、机上検討結果より選定したバッテリー（電気車用鉛逐電池）について、昨年および今年度のヘリコプター実験を通じて、下記が確認できたと考えている。

搭載機器を 3 日以上稼働させることは可能である。

運搬時も含めて、温度変化や耐振動性に優れた安定性を有する。

重心バランスに優れ、また、それなりの重量を有する。

選定したバッテリーは、市場性があり、手配性もある。

電子機器への影響はまったくなかった。

長時間化や電源拡張性も、発動発電機と比較した場合、高いと考える。

ヘリコプターで運搬可能であり、稼働後の異常も見られなかった。

その一方で、下記の課題はあると考えている。

保管や維持性（定期的な充電）等に難がある。

現場での充電には、専用の充電器や 3 200V が必要である。

手配性はあるが、発電機に比べると納期が必要である。

これらの課題を解決するためには、

災害対応部局等により、必要な機器（ ）も含めて配備および準備されることが重要であると考えている。

## 7.5 クレーンおよびヘリコプター実験

### 7.5.1 平成26年度の開発内容

#### (1) 活動概要

昨年度平成26年の活動においては、マルチプラットフォーム試作構造体1号機に関し、構造強度をヘリコプター試験に先駆け、安全性を確認するために地上試験を実施した。まず、クレーンを使用して吊下げシミュレーション及び強度試験を製造元の工場敷地内において、当該開発研究者多数の参加を得て実施した。この結果、疑似傾斜地への設置を含め安全性及び強度機能に問題ないことを確認した。

このクレーン試験の結果を受けて、ヘリコプターによる吊下げ試験が実施可能と判断し、ヘリコプター実機を使用した模擬的な被災地を想定したフィールド試験を富士山大沢川扇状地(国交省管轄)に選定して計画した。試験当日(日程等は後述)は、推進委員会各位の参加及び当該開発研究者、関係事業者等多数の参加を得て、第1回ヘリコプター試験実施要領に基づき行い、結果的に問題なく試作構造体が優れた機能及び安全性を有することを証明することができた。しかし、緩傾斜斜面(15度以内)への限定対応であることや、監視カメラや映像を伝送する無線通信機器の搭載が出来なかったことにおいて、次年度での対応が必要であることとなった。

なお、試作構造体1号機に関しては、後述するVCTガイド枠の装備と、全体塗装を施した後に共同研究者の機材庫にて保管する事となった。

詳細を添付資料1, 2に示す。

添付資料1：平成26年度クレーン試験実施記録

添付資料2：平成26年度ヘリコプター試験実施記録



写真 7.5.1-1 平成26年度試作構造体1号機

## (2) 活動実施状況

下記に平成 26 年度の当グループのループにおける活動実施状況を示す。

### 1) クレーン試験関連

実施日程：平成 27 年 2 月 16 日(事前試験準備及び試験設定)

平成 27 年 2 月 17 日(クレーン試験)

実施場所：大阪府高槻市唐崎中 3-20-7 港製器工業株式会社施設内

実施者：マルチプラットフォーム開発 研究チーム

構造体 WGL：北原

クレーン・ヘリ試験 WGL：栗本

港製器工業(株) 新規事業部 担当責任者：清永

生産部 開発設計課 担当責任者：木村

### 2) ヘリコプター試験関連

実施日程：平成 27 年 3 月 11 日(試験準備作業)

平成 27 年 3 月 12 日(実機試験)

実施場所：静岡県富士宮市上井出地内 富士山大沢ヘリポート及び富士大沢川扇状地

実施者：マルチプラットフォーム開発 研究チーム

構造体 WG：北原、坂西

通信・映像 WG：野末、藤澤

ヘリ試験 WG：栗本、佐藤

中日本航空(株) ヘリコプター運航スタッフ

港製器工業(株) 構造体陸送及び組立スタッフ

望月自動車工業 クレーン運用スタッフ

## (3) 活動内容

下記に具体的な活動内容を示す。

クレーン試験に先立ち、試作構造体の構造再検討及び強度検討を実施し、搭載要領を 1.2ton から 1ton に変更

クレーン試験計画書の作成

クレーン試験事前準備を港製器工業にて行い、15° 擬似的傾斜面形成構造体の検証及び、試験手順に関しシミュレーションを実施

クレーン試験の実施

クレーン試験実施記録の作成

クレーン試験において問題が判明した項目に関し、試作構造体グループに報告して改善処置を検討

- ・問題点は別添資料：1 のクレーン試験実施記録の 8 . 項 結果評価を参照。

- ・移動ロボット研究所及び港製器工業にて改善対策を実施。

- ・改善結果を検証し、ヘリコプター試験に使用可能と判断。

ヘリコプター試験場所の選定

- ・つくばの土木研究所内、作業フィールドを現場調査、不適と判断。

- ・代替試験場所の選定に関し、中日本航空が知るところの富士山大沢川扇状地を選択。

- ・管轄する国土交通省、中部地方整備局、富士砂防事務所 富士宮出張所と使用許可に関し折衝。

- ・作業に関する航空関連許認可申請を中日本航空に依頼。

- ・航空運送に関する危険物申請(バッテリー)を実施。

ヘリコプター実験実施計画書の作成及び富士砂防事務所への提出

- ・大沢川扇状地の使用許可を得て、試験フィールドの選定を出張所の所長とともに選定確認。
- ・実験参加者名簿の提出。
- ・通信機器の作動に関しては、ヘリコプターの電波干渉試験が必要な事から平成 26 年度は見送ることとした。

試作構造体 1 号機への搭載物確認検討

- ・電源用バッテリーの固定状況及び安全性の確認を実施。
- ・西松建設平塚工場にて搭載バッテリーの状態を確認検討。

ヘリコプター試験実施要領の作成

- ・富士砂防事務所に試験実施要領を提出し、承諾を得る。

ヘリコプター試験事前準備の実施

- ・ヘリコプター受け入れ準備及び、ヘリポート現状確認。
- ・傾斜不整地の選定を富士山大沢川扇状地内にて実施。
- ・試作構造体の受け入れ及び組立支援。

ヘリコプター試験の実施

試作構造体 1 号機の完成

- ・VCT プラットホーム上に、VCT のガイド枠を考案して取付。
- ・構造体 1 号機を全塗装実施

## 7.5.2 平成 27 年度の開発内容

### (1) 活動概要

本年度の平成 27 年の活動においては、昨年からの事業計画引継ぎを受け、以下の改良と必要搭載機器類の装備を新設計にて製作することとなった試作構造体 2 号機に施すこととした。

- ・対応傾斜面角度を 30 度までとし、転石等の影響を受けにくい構造とする。
- ・陸送用トラックの小型化を可能とする寸法変更。
- ・無線 LAN アンテナの保護及び、ヘリコプター用 VCT の捕獲操作が長吊(20m 以内)でも容易となる VCT ガード枠の装備をする。
- ・作動及び操作可能な映像・通信機器類と GPS 及び夜間照明の搭載装備を行う。

以上の機能及び構造を有した、新設計の試作構造体 2 号機に関し、昨年度同様に構造強度及び機能確認のための強度確認試験を製造元の工場敷地内において実施した。今年度も昨年度に引き続き、クレーンを使用して基本的な強度及び機能に関してのみ安全性の確認を行い、当該構造体に関して安全性及び強度機能に問題ないことを確認した。

次に、映像・通信機器類の全てを搭載装備した試作構造体 2 号機において、ヘリコプター実機にて吊下げる前の安全確認として、ヘリコプター試験前日にクレーン試験を実施した。最大斜度 30 度における傾斜地設置・回収試験をヘリポート周辺の造成地法面を使用して実施した。この結果、下記を確認した。

試作構造体 2 号機の有効設置傾斜角度範囲内における可動脚機構の有効性を確認

前足先端部に装備された石突きユニットの性能・強度を確認

本体フレームの強度に関する安全性及び確実性を確認

搭載装備した映像・通信機器類と電源システムに装備上の問題もないことを確認

この確認等に伴い、ヘリコプターとの電波干渉試験を実施した。具体的には、ヘリコプター実機の横に試作構造体 2 号機をそのまま移動して設置した後、エンジンを始動した上で、双方共に干渉がなく通信等の機能が正常であることを確認した。

この翌日、昨年度同様場所の富士山大沢川扇状地内の第 8 床固工中央部において、被災地を模した疑似傾斜地 5 箇所(最低傾斜約 10 度～最大傾斜約 30 度以内)において、転地を含めた傾斜地搬送設置及び自動回収試験を実施した。この結果、本体強度及び機能等

に問題はなく優れた機能と性能を有する事を証明した。併せて、実施した長吊(15m)による VCT ガイド枠の有効性を確認する試験においても、その有効性に関し優れた機能を有する事も証明した。

また、同時に実施した映像・通信装置の伝送実験に関しては、試作構造体 1 号機に監視カメラ 1 台と無線 LAN 中継装置を組み込んで実験位置から約 100m 離れた場所に中継局として設置した。さらに約 70m 離れた場所に遠隔監視所を設置して映像・通信 WG の担当者が伝送される映像等の確認を実施したが、結果は問題なく良好であった。

詳細を添付資料 3, 4 に示す。

添付資料 3 : 平成 27 年度クレーン試験実施記録

添付資料 4 : 平成 27 年度ヘリコプター試験実施記録



写真 7.5.2-1 平成 27 年度試作構造体 2 号機

## (2) 活動実施状況

下記に平成 27 年度の当グループのループにおける活動実施状況を示す。

### 1) 工場試験関連

実施日程：平成 28 年 2 月 18 日

実施場所：大阪府高槻市唐崎中 3-20-7 港製器工業株式会社施設内

実施者：マルチプラットホーム開発 研究チーム

構造体 WGL：北原、坂西

実験 WG：栗本、河野

港製器工業(株) 新規事業部 担当責任者：清永

生産部 開発設計課 担当責任者：木村



2) 地上試験及び EMI 関連

実施日程：平成 28 年 3 月 15 日(試験準備作業)

平成 28 年 3 月 16 日(地上試験及び EMI)

実施場所：静岡県富士宮市上井出地内 富士山大沢ヘリポート周辺地域

実施者：マルチプラットフォーム開発 研究チーム

構造体 WG：北原、坂西

通信・映像 WG：野末、藤澤

実験 WG：栗本、河野、佐藤

中日本航空(株)：ヘリコプター運航スタッフ及び応援者

港製器工業(株)：構造体陸送及び組立スタッフ

望月自動車工業：クレーン運用スタッフ

3) ヘリコプター試験関連

実施日程：平成 28 年 3 月 15 日～16 日(試験準備、地上試験作業)

平成 27 年 3 月 17 日(実機試験)

実施場所：静岡県富士宮市上井出地内

富士山大沢ヘリポート及び富士大沢川扇状地

実施者：マルチプラットフォーム開発 研究チーム

構造体 WG：北原、坂西

通信・映像 WG：野末、藤澤

ヘリ試験 WG：栗本、河野、佐藤

中日本航空(株)：ヘリコプター運航スタッフ及び応援者

港製器工業(株)：構造体陸送及び組立スタッフ

望月自動車工業：クレーン運用スタッフ

(3) 活動内容

下記に具体的な活動内容を示す。

急傾斜対応型の試作構造体 2 号機の製作を決定

製造元に、試作構造体 2 号機の強度検討書の作成依頼

構造体 2 号機の強度及び斜面对応機構の安全性を確認するための工場試験の実施に  
関し、対応する試験要領を作成

クレーンを使用した強度確認のための工場試験を実施

・試験要領に従い、吊下げコンテナのジンバル軸の撓みの有無を検証

・可動脚の制限範囲を確認するとともに、ストッパーやヒンジの強度等について検証

強度確認用工場試験実施記録の作成

工場試験において問題が判明した項目に関し、構造体 WG に報告して改善処置を検討  
電源収納用吊下げコンテナの外形寸法が選択したバッテリーが収納できない寸法で  
ある事が判明、早急に作り直すこととなった。

監視カメラ 4 台の装備位置の検討において、サイコロフレームの追加が必要と判断  
改善結果を検証し、ヘリコプター試験に使用可能と判断

地上及びヘリコプター試験場所の選定

・昨年同様の環境が必要と判断し、同じ場所の富士山大沢川扇状地に決定。

・作業に関する航空関連許認可申請を中日本航空に依頼。

・航空運送に関する危険物申請(バッテリー)を実施。

ヘリコプター実験実施計画書の作成及び富士砂防事務所への提出

- ・大沢川扇状地の使用許可を得て、試験フィールドの選定を実施し決定。
- ・映像・通信装置による監視カメラ画像の伝送試験に関する中継局の設定位置と遠隔監視所の設営場所を選定確保。
- ・実験参加者名簿(本年度は総計 53 名の参加)の提出

試作構造体 2 号機への搭載物確認検討

- ・電源の上に防塵防水型のポリカ製収納コンテナに各種機器類を収納して固定する方法を確認。

地上及びヘリコプター試験実施要領の作成

- ・富士砂防事務所に試験実施要領を提出し、承諾

地上及びヘリコプター試験事前準備の実施

- ・ヘリコプター受け入れ準備及び、ヘリポート現状確認
- ・ヘリポート周辺において、クレーンを使用した地上試験による最大 30 度の傾斜を確保出来得る傾斜不整地場所を選定
- ・ヘリコプター搬送・設置回収試験における傾斜不整地の選定を富士山大沢川扇状地内にて実施
- ・試作構造体 1 号及び 2 号機の受け入れ及び組立支援。

地上試験及び EMI (電波干渉試験)の実施

ヘリコプター試験の実施

## 7.6 研究・技術開発の成果

本研究開発の開発目標と開発成果の対比を示す。

表 7.6-1 本研究開発の開発目標と開発成果の対比表

本研究開発の開発目標	本研究開発の開発成果
ヘリコプターによる <u>30 分以上の空輸が可能な構造を持つこと</u>	平成 26 年度および平成 27 年度のヘリ実験において、 <u>開発目標を達成することを確認した</u> 。また、空輸後のフレームに <u>変形等がないことも併せて確認した</u> 。
ヘリコプターおよび VCT を利用した <u>設置・回収を実施し、可能であること</u>	上記 2 カ年のヘリ実験にて、 <u>実際に設置・回収を数回繰返し実施し、可能であることを確認した</u> 。併せて、 <u>設置・回収の効率化のためにガイド枠も製作した</u> 。
マルチプラットフォームが <u>15° 程度の傾斜地でも設置可能であること</u>	平成 26 年度の研究開発にて <u>15° 程度の傾斜対応力を確認した</u> 。平成 27 年度の研究開発にて <u>30° 程度の傾斜対応力を確認した</u> 。
発電機、太陽光、バッテリー等により、搭載機器の <u>稼働可能日数が 3 日以上であること</u>	<u>バッテリーを選択し、工場試験にて 3 日以上稼働可能日数であることを確認した</u> 。また、ヘリ実験にて搬入から搬出までの <u>3 日間稼働させた</u> 。
携帯電話や無線 LAN 等の複数の無線通信により、 <u>山岳地等で稼働が可能であること</u>	通信等試験にて複数の通信手段により <u>通信が可能であることを確認した</u> 。併せて、 <u>山岳地等での通信シナリオを策定した</u> 。
2 台以上のマルチプラットフォームによる <u>無線中継により、通信機能を補完できること</u>	平成 27 年度のヘリ実験にて <u>2 台の MP による通信試験を実施、通信機能を補完できることを確認した</u> 。
監視カメラでの遠隔地の監視(直接視通のない状況での監視) <u>ができること</u>	上記 2 カ年のヘリ実験にて、 <u>実際に監視カメラを搭載し、遠隔地の監視が可能であることを確認した</u> 。
GPS による <u>座標連続計測が可能で、かつ上記機能によりデータ通信ができること</u>	平成 27 年度のヘリ実験にて、 <u>実際に GPS 機器類を搭載し、MP 位置座標についてデータ通信が可能であることを確認した</u> 。

## 8. 研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名(雑誌のときは雑誌名、巻号数、論文名)	刊行年月日	刊行書店名	執筆者氏名
刊行書籍等はなし。			

## 9. 研究成果による知的財産権の出願・取得状況

知的財産権の内容	知的財産権の種類、番号	出願年月日	取得年月日	権利者名
知的財産権の出願等はなし。				

## 10. 成果の実用化の見通し

本研究開発の実用化の現状と今後を下記に示す。

### 【実用化の現状】

2年間の研究開発をふまえ、当初の目標を達成した2基（監視装置、中継装置）の実用化をした。監視装置は、映像監視・位置管理が可能であり、中継装置は、監視装置からの監視等データの受信および基地までの送信機能を有している。現在は、共同研究者の所管工場にて保管中である。

### 【実用化の今後】

今年度、本研究の成果を各種学会、シンポジウム、展示会等で広報する予定である。

また、本研究成果のユーザとなりうる施設管理者等に対して、個別に広報し、必要に応じて、保管している装置のデモ等を行う予定である。

## 11. その他

特になし。