

災害調査の先兵「無人移動体」

—危険・汚染区域調査のためのプラットフォーム—

久 武 経 夫

地震や津波、火山の噴火、水害、原子力施設の事故などの大規模・重大災害発生時に的確な応急措置を講じるために、迅速で正確な被災状況の把握が必要である。しかしながら災害発生時には、交通や通信手段が途絶する、2次被災の懸念等により立入りが規制されるなど、被災状況の把握が困難となる場合が多い。被災状況把握の遅延などが原因し、組織的な救援活動の開始に1週間～数十日要した事例がある。

救援や復旧の人員や機材の投入の時期や規模の判断に必要な情報として、被災の規模と状況、道路やトンネルが安全に走行できるか、堤防や崖部に決壊や崩壊の危険が無いか、火山活動が沈静化しているか、などがある。これら被災の情報をいち早く掌握するために、調査・監視機器を搭載した各種の「小型無人移動体」の研究が進められ、一部実用に供せられている。

本報文では、危険・汚染区域の調査に活用可能な、地上、空中、海洋分野における小型無人移動体開発の現状と近未来の展望について述べる。

キーワード：災害調査、無人移動体、自律航行、自律走行、無人ヘリコプター、無人船舶、無人飛行船

1. はじめに

災害時の被災地調査には、有人飛行のヘリコプターの使用が一般的である。長崎県普賢岳、北海道有珠山、東京都三宅島などの火山災害においては、火砕流、土石流、有毒ガスの危険性からヘリコプターによる被災地調査が重要な役割を演じた。

一方、火口の直上や有毒ガスの存在など、有人での調査が難しい場所の調査に遠隔操縦型の移動機械（建設機械をベースとした災害調査車両）や自律移動型のヘリコプターなどの導入が始まっている。自律移動型飛行船（バルーン）による災害救援用の研究も進められている。これら無人災害調査機械導入の目的として下記の事項がある。

- ① 火口直上や有毒ガスなどが排出されている領域の調査
 - ② 建造物や高圧線などが存在する地表近傍の情報収集
 - ③ 監視や中継など滞在型業務への対応
 - ④ 災害時に迅速な現況把握を行うために廉価なシステムを広域配備する
- ①～④の目的を持った無人災害調査機械のベースマシンとして、様々な種類の無人小型移動体の研究が行

われている。これらの移動体の機能や研究動向を精査することによって、近未来の面的な災害調査体制のあり方が明らかとなる。

2. 災害調査用無人小型移動体

空・陸・海を移動可能な小型無人移動体の例として表—1に示した導入例がある。いずれも、カメラ（ビデオカメラによる動画撮像、デジタルスチルカメラ、暗視・熱画像カメラ）、計測器（測量機、その他）を搭載し、災害地などの調査を行なうために開発されたものである。

多くは研究途上であるが、一部実用機として配備されている。潜水艇はダムゲートのケーソン、港湾施設などの水中構造物の観察、無人双胴船は水面下の3次元地形図の作成を目的に研究されたものであるが、災害時の水中の被災調査にも活用可能なプラットフォームとして表に加えた。次章以降に表—1中の機械の一部を詳述する。

3. 各種の小型無人移動体

- (1) 飛行体による空中からの調査
 - (a) 各種の飛行体と特徴

表一 陸空海の災害調査用プラットフォーム導入研究例






	ベースマシン	移動制御	システム名称	調査機能	研究・開発・保有	現 状	
空 中	ヘリコプター	自律航行	無人調査機械	ビデオ/スチール/赤外カメラ	北海道開発局	実運用	
		自律航行	監視・測量調査用無人ビークル	カメラ、カメラと連動のレーザー距離計、他	ヤマハ発動機、カーネギーメロン大学、他	高機能化開発中	
		自律航行	被災地支援システム（ホビー用ヘリの高機能化）	ビデオ/赤外線/魚眼カメラ搭載を想定	千葉大学	自律航行研究中	
		遠隔操縦	自律型空間情報取得システム	デジタル撮像	北海道東海大学、東亜建設工業	研究中	
		遠隔操縦 自動帰還	災害現場・危険地帯での観測や資機材運搬	カメラ 飛行状況の PC 表示	グランテクニカ、富士重工業	開発中	
	バルーン	係留型	手動移動	気球空撮装置	CCD カメラ	北海道開発局他	実運用
	自律航行型	自律航行	被災者探索用飛行船	地上の音声受信機（注2）の信号受信	東京大学理化学研究所	研究中	
	無人飛行機	経路教示				実運用	
陸 上	油圧シヨベル	CAT 4t 級 非搭乗型	遠隔操縦	無人調査機械	映像（含赤外）、地盤硬度・サンプル採取	北海道開発局	実運用
		日立 4t 級 非搭乗型	遠隔操縦	火山探査移動観測ステーション	映像（含赤外）、風圧・温度、噴石サンプル採取、地震計設置	東北大学、日立建機	研究中
		20t 級揺動油圧シヨベル	遠隔操縦	超遠隔型ラジコン油圧シヨベル	映像、他 原子力施設用	防衛庁	実運用
	4WD ATV	自律走行	災害調査車両	測量・気象調査・監視 警備	カーネギーメロン大学、ヤマハ発動機	開発中	
水 上	ジェットボート/14 feet （注3）	自律航行	港湾監視・海底測量	高感度カメラ、水中カメラ サイドスキャンソナー	ヤマハ発動機	開発中	
	外洋用モーターボート/ 排水量型船型	自律航行	環境（大気・水質・他）観測	水質観測機器他/700 hr 連続 航行可	東海大学、ヤマハ発動機	実運用	
	双胴船	自動航行	無人双胴船（自動ペルーガ）	マルチブーム音響測深機	北海道東海大学、東亜建設工業	研究中	
水中	潜水艇	自律航行	自律型 海中ロボット	レーザーポインタ、CCD カメラ	東京大学	研究中	

注1：自律航行の他、遠隔操縦、教示などによる自動走行などの機能も有している。

注2：音声受信機：被災地の音声情報を受信しバルーンに向けて送信する IDC（知的データキャリア）

注3：搭乗（2人）も可能。

表二 無人飛行機と特徴

項 目	飛行船型バルーン （繫留型・非繫留型）	ラジコンヘリコプター	パラプレーン （パラシュートプレーン）	カイトプレーン	無人航空機
外 観					
飛行制御方法	繫留型は、支持ロープ2本で位置決めと繫留、非繫留型は遠隔または自律操縦	遠隔・自動・自律操縦	パラシュートにプロペラで送風し浮力と推力を得る	帆の原理を利用した小型簡易飛行機	詳細不詳
プラットフォームの操作特性および安定性	支持ロープで制御するため、専門のオペレータが不要。ロープを操作する地上作業員の移動スペースが必要	遠隔操縦は高度な技術が必要で、操縦に全神経の集中が必要なため連続10分以上の機体安定化・撮影が困難。自動・自律システム開発済み	エンジンと左右旋回制御のみで操作が簡単。失速が少なく飛行安定性が良い	操作技術の習得が容易。飛行安定性に優れている。あらかじめ設定したルートを自動飛行する。ナビゲーション情報は基地局へ伝送される	詳細不詳
風の影響	飛行船型のため、風速8~15m/s程度で安定した位置を確保できる。火災時の乱気流が問題	機体が軽いため、風速10m/s強風時には、希望調査位置への誘導と静止が難しい	風の影響を受けやすい	風の影響を受けやすい	ある程度の強風でも可能
低速航行	可	超低空飛行	飛行速度は遅い	飛行速度は遅い	不可
空中での静止	長時間のホバリングが可能	ホバリング可能	逆風速と合致した場合可能	逆風速と合致した場合可能	不可
超低高度航行	可能	可/着地し土石等サンプル採取が可能	障害物回避要	障害物回避要	障害物回避要
安 全 性	ヘリウムガス充填のため爆発の危険はない。係留型は、支持ロープを操作する地上作業員が近付けない危険地域では採用不可	安全な場所から遠隔操作できる	同左 パラシュート翼と柔軟性パイプの組み合わせ機体により、万一の墜落でも壊れにくい	安全な場所から遠隔操作できる。低速航行のため、墜落時の損傷が少ない	安全な場所から遠隔操作できる。高速航行のため低高度航行時の障害物回避が困難
調査機器搭載例	遠隔操作型デジタルスチールカメラを搭載し撮影する	遠隔操作型デジタルスチールカメラを搭載し撮影する	カメラを搭載して撮影	TVカメラ・スチールカメラを搭載して撮影	赤外線センサ、光センサ、レーザー目標照射器
そ の 他	分解・組立てが容易 商用車で運搬可能				200 km 3~4 時間航行

災害時の空中からの被災地調査には、

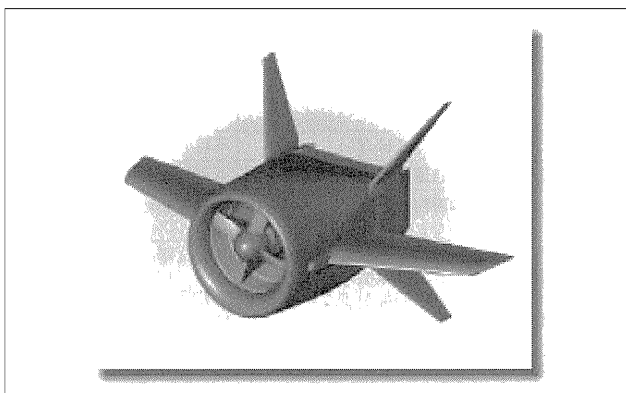
- ① 人口衛星 (地上 700~900 km)
- ② スペースシャトル (195~575 km)
- ③ 航空機 (SAR/10~12 km)
- ④ 航空機 (LIDAR/1.2~3.5 km)
- ⑤ 有人飛行のヘリコプター (0.3 km)
- ⑥ 非搭乗の小型無人飛翔体 (0.15 km 以下/航空法の規制)

などの手段が想定される。

被災規模や状況の概要掌握には超高度からの情報で判断可能であるが、道路やトンネルの安全走行の可否判断、堤防や崖部の孕みの状況など詳細で正確な情報の取得には、調査対象にでき得る限り接近する必要がある。災害直後に現地の状況が不詳な状況で、即応的で木目の細かな調査を実施するためには、上述の諸調査手段のうち、⑥項の非搭乗の小型無人飛翔体をプラットフォームとした調査体制の確立が有効である。非搭乗の小型無人飛翔体として、ラジコンヘリコプター、飛行船(飛行船型バルーン)、パラシュート飛行機(パラプレーン)、カイトプレーン、無人飛行機などがある。表一2にこれら無人飛翔体の特徴を示した。

表一2以外の飛翔体として、飛行機とヘリコプターを組み合わせ垂直離着陸とホバリングを可能とした「Bell Eagle Eye」、飛行船とヘリコプターを組合わせた「ヘルスタット飛行船」、ドラム缶型の「ゴールデンアイ」も存在するが、比較情報が僅少であるため表には掲載していない。

図一1の「ゴールデンアイ」は、垂直離着陸や空中静止が可能な無人偵察機である。人間が到達困難な地域の調査を目的に開発された。4基の翼が装備され、内部にダクトファン方式のプロペラエンジンを搭載している。エンジンを始動すると、4本足に支えられた本体が浮上し、垂直離着陸を実現する。離陸後に、翼を開き高速飛行できる。機体質量約 68 kg、可載質量



図一1 ゴールデンアイ (米 Aurora Flight Sciences 社が開発中、<http://www.aurora.aero/>)

20 kg と軽量で、60 分間空中静止が可能、離陸後は最高時速 300 km/h で飛行、連続 4 時間の航行性能を備えている。*

(b) 飛行船とヘリコプター

① 飛行船 (バルーン)

火山など余震の恐れや、崩壊や決壊の予兆があり、有毒ガスの噴出など、被災地調査に際して定位置から長時間連続して情報収集を行う必要が生じる。この目的には、浮上のためのエネルギーを消費せずに空中に滞留可能な気球が最適なプラットフォームである。

エンジン音などを発生しない静粛な移動体で、地震などに際し瓦礫に埋もれたり、建造物などに閉込められた被災者の音声を通じた探索が可能である。

この飛行船は、ヘリウムの温度変化によって二重構造の内側の袋が膨張・収縮し、ブローアが外袋の空気を出し入れして圧力と外形を一定に保つ構造となっている。飛行船搭載の加速度計とジャイロの情報を基準に、搭載 CPU ボードが 4 つのロータ (ファン) で構成する駆動装置、後部のテールロータを制御し、ヨー (飛行姿勢) と速度を制御している。

制御システム及び駆動装置は、外部からのプロポーショナル指令による駆動モードおよびゴンドラに搭載するノート PC からの自律駆動モードの 2 つの制御モードを備えている。制御モードは、無線で切替えをしている。地上のデータキャリアとの通信用に、リーダ/ライタとノート型 PC とを搭載している。地上の基地では、小型のラップトップ PC が無線 LAN に接続され、センサ等から検出された情報収集を行っている。

飛行船の位置は、地上に設置した測量用のトータルステーションのレーザー光が飛行船に貼付した反射シート (ミラー) を追尾して反射してくる方向と時間により測定する仕組みである。トータルステーションの主な仕様は、最高回転速度 50°、追尾角速度 10°/s、追尾距離長 700 m、測距精度 ±2 mm である。

位置認識に GPS の利用も想定しているが、狭い調査エリアで搭載機器の質量が 1~2 kg 程度であれば、大型化をして搭載重量を増やすより、反射系を使ったトータルステーションの採用でペイロードを下げるなど、全体システム構成としての最適化を図る必要がある。

飛行船による諸計測時の機体の安定化機能に関しては、飛行船の大きさと風などによる揺動など設計的な要因、計測時等の大気の実定性、搭載する位置認識システムと機体の位置制御機構、搭載測量機器とデータ

* 機体質量 7 kg の小型機も開発され、危険・汚染地域の調整用プラットフォームとしての活用も期待される。

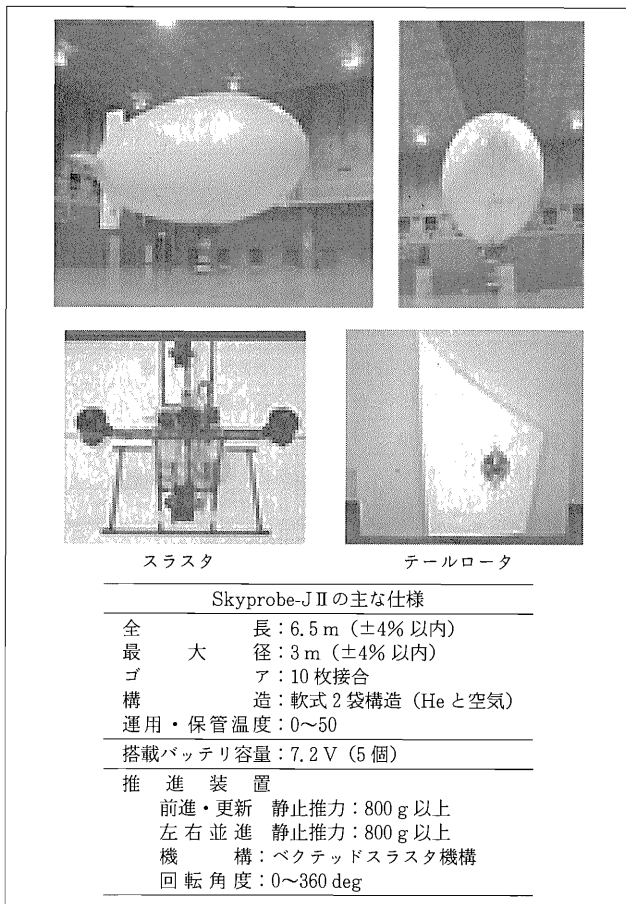


図-2 飛行船とその仕様 (東京大学浅間研究室)

処理機構に依存する。細部の検討は未了であるが、高度 100 m で数 cm 程度の精度での計測に対応が可能と想定される。

強風、突風、地震で誘発する火災に伴う乱気流対応には、安定性を増すためにある程度の大型化、位置や姿勢制御の高速化なども必要である。図-2 に東京大学・浅間研究室等が開発中の飛行船 Skyprobe-J II と主な仕様、図-3 に同飛行船の制御システム構成を示した。

② 無人ヘリコプターによる被災地調査

遠隔操縦型 (ラジコン) ヘリコプターの用途は、農業散布が主であるが、空撮、測量、送電線・道路・ダ

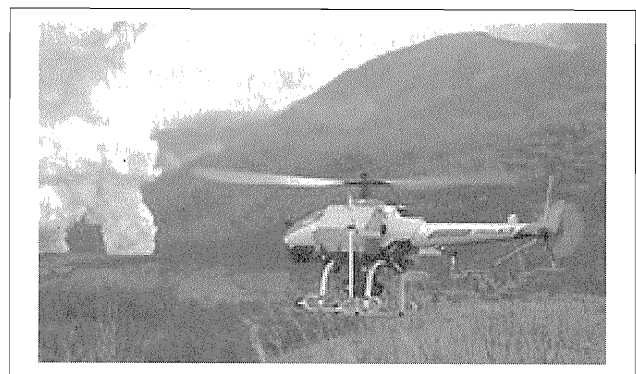


写真-1 有珠山における火口監視 (Yamaha 製 RMAX)

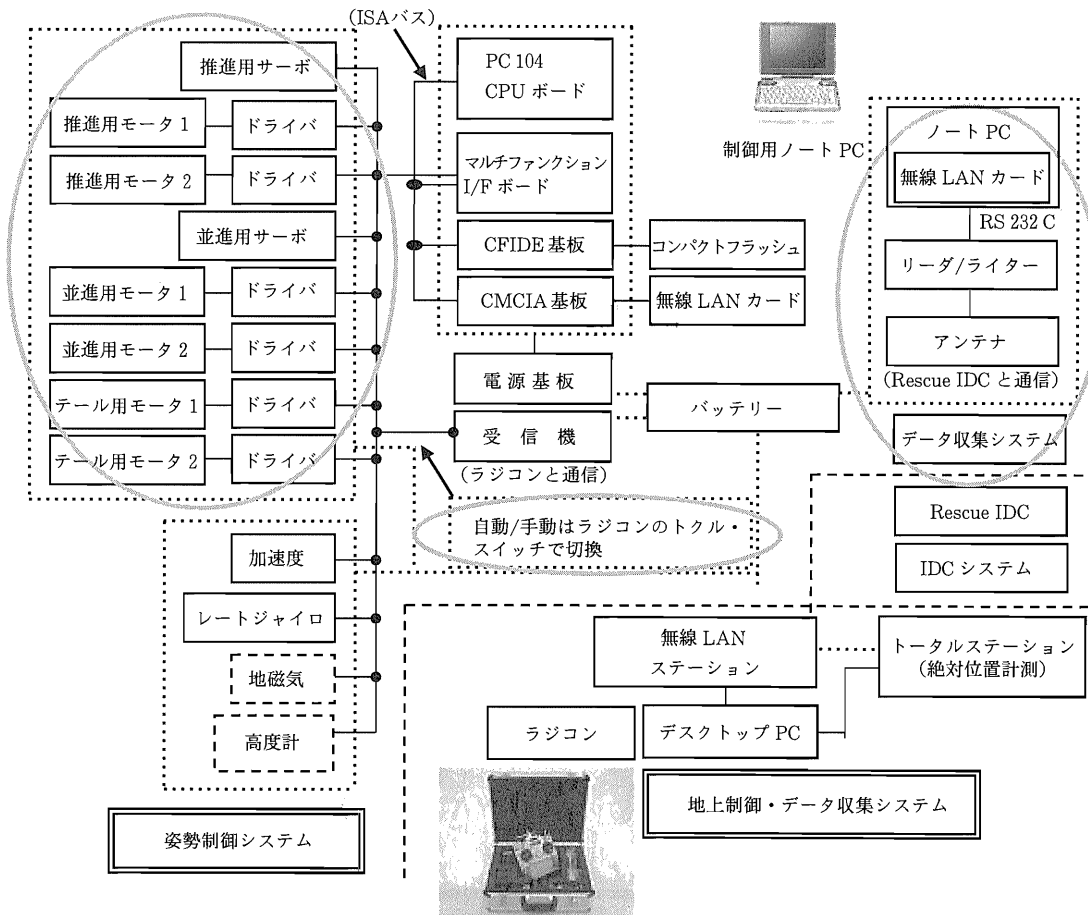


図-3 飛行船の制御システム構成 (東京大学浅間研究室)

ム・河川・森林の監視や保守，水稻リモートセンシングなど植物生育調査，火山など災害地調査など多くの分野で活用されている。日本全国で2,000台を超えるラジコンヘリコプターが稼働しており，0.2%程度が自律型の無人機である。写真-1に北海道開発局が災害調査機械として導入した自律型ヘリコプターを示す。

自律型ヘリコプターは，慣性航法センサ，GPSセンサ，データ用通信モデムと画像用通信モデムおよびカメラ装置を搭載している。慣性航法センサは，3軸加速度計，3軸光ファイバージャイロ，地磁気方位センサで構成され，機体の姿勢角と加速度を算出する。3軸の位置と速度は，RTK（リアルタイムキネマティック）方式のディファレンシャルGPSで算出する。これらのセンサフュージョンを通じて，高精度で安定した，位置，速度，加速度，姿勢角，姿勢角速度の状態量を算出している。

データ用通信モデムは地上側から機体側へGPSの補正データや操縦指令およびカメラ装置への指令を送信している。また，機体側から地上側へは，ヘリコプターの位置や速度，姿勢などの情報を送信している。機体前方にはカメラが搭載されていて，これらの画像は画像用通信モデムにより，地上側へ送られる。このカメラには，機体の振れを低減するための安定装置がつけられている。また，カメラと連動したレーザ距離計により，映像までの距離を測定することができる。

地上側には，補正用のGPS地上局，通信用モデム，モニタ（操縦用と画像），機体操縦用のコントローラ，

表-3 小型無人ヘリコプターの仕様例

機能項目		仕様値	備考	
機体基本機能	機体重量	69 kg		
	実用载荷重量	25 kg	燃料満タン時	
	滞空時間	60分		
	運行距離	1,000 m		
	対地高度限界	150 m	航空法の規制値	
飛行	操縦支援	遠隔操縦	離着陸時姿勢制御モード付き	
		PC支援遠隔操縦	操縦アイコン又はジョイスティック操縦/恒速航行等	
		自律帰還制御	電波断時自動帰還	
		自律航行制御	工程を事前に入力	
機体性能	航法センサ	加速度センサ分解能	0.01 G	
		3軸ジャイロ	0.002度/s	
		磁気方位センサ	分解能	0.1度
			応答時間	0.1~24秒
		RTK-GPS分解能	水平	20 cm
垂直	30 cm		機体停止状態	
計測機能	カメラ類有効画素数	操縦用 CCD カメラ	>25万画素	
		調査用 CCD カメラ	>34万画素	
		調査用赤外カメラ	>6万画素	

カメラ操作のジョイスティックが設置されている。操縦用モニタには，機体からの位置，速度，姿勢などの情報が表示される。プログラム飛行経路や速度操縦コマンドなどによっても，機体へ操縦指令を与えることができる。映像モニタでは，目標物の画像と位置の座標が表示される。図-4に自律システム構成例，表-3に小型無人ヘリコプターの代表的な仕様例を示す。

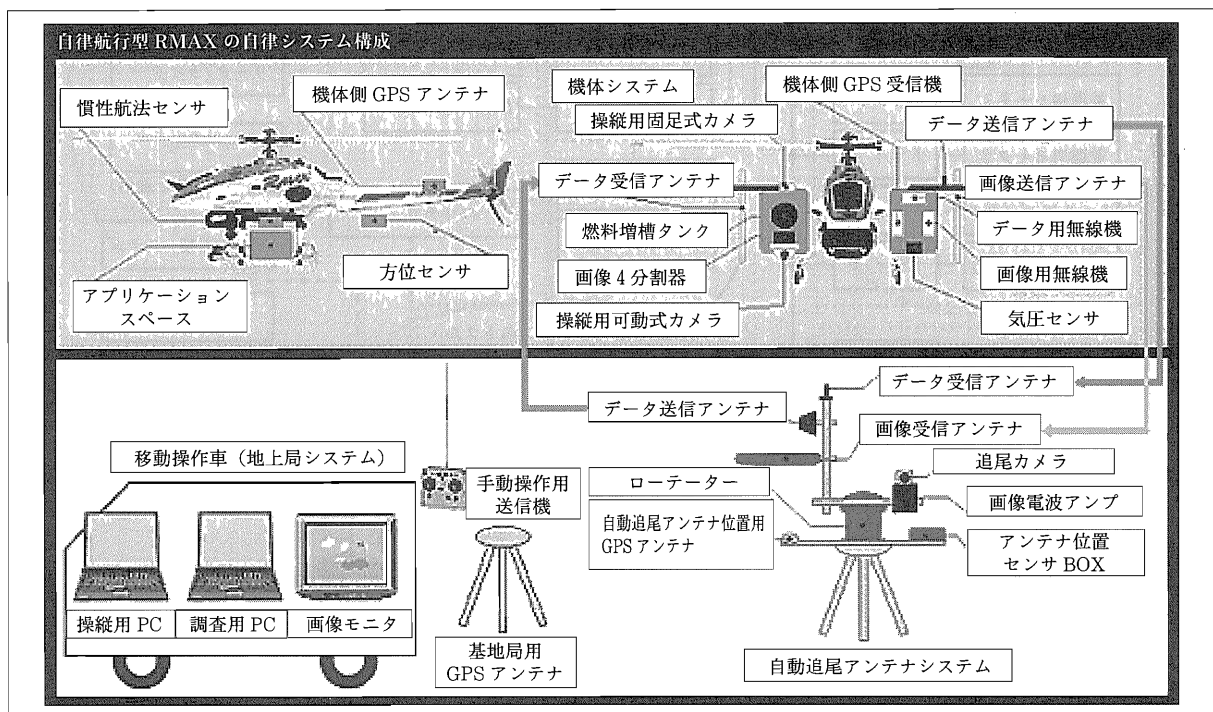
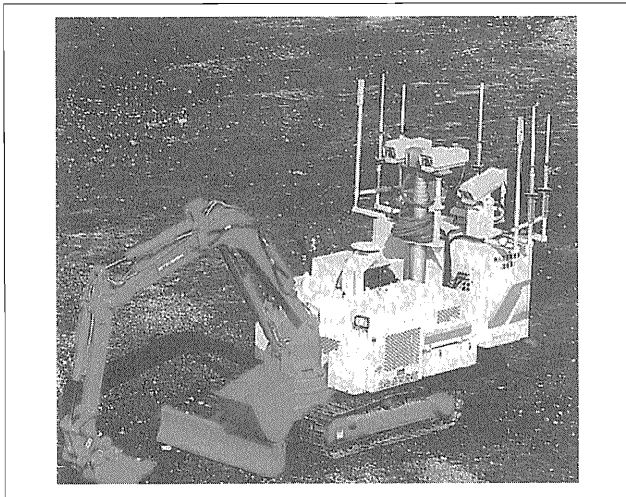


図-4 自律システム構成例（ヤマハ発動機株式会社）

(2) 陸上走行型災害調査機械

(a) 建設機械系災害調査機械

火山噴火や地震災害の場合、被災細部の状況把握、継続的な監視と計測、救援や復旧活動のために導入する建設機械類の誘導などの機能発揮は空中からの被災調査のみでは達成できない。北海道の有珠山の火山災害直後に北海道開発局が導入した「災害調査機械」は、写真—1の自律航行型のヘリコプターと写真—2の災害調査車両で構成されている。



写真—2 災害調査車両 (国土交通省北海道開発局)

建設機械をプラットフォームとした災害調査機械は、人間が近づけない火口近傍、火砕流の危険のある場所まで遠隔操縦で移動し、動画・静止画の撮像、地表の温度分布計測、噴石の採取、爆風の風圧計測、地震計の設置などを行う。災害復旧や火砕流・土石流の誘導路の構築を行うための機械の投入を前提として、噴石などの堆積厚さ、地盤の硬度などの計測も実施する。

機械やカメラ類や計測器の設定と操作は無線遠隔制御で行う。離れた基地から機械や計測機器を操縦するオペレータには、映像情報の他、機械に搭載したGPSシステム、3軸の加速度センサ、3軸の傾斜センサなどの出力信号など操縦や調査に必要な機械の位置と姿勢情報が、無線を介して逐次提供される。機械の遠隔操縦と映像やデータの伝送には、双方向の2.4GHz帯のSS無線LAN等が用いられる。2.4GHz帯は指向性が存在するため、見通しが無い場合の電波断を避けるために、北海道開発局保有の災害調査機械は、基地と複数台の移動体が組んで無線中継を行う仕組みとなっている。

(b) 小型無人車両系災害調査車両 (UGV: Unmanned Ground Vehicle)

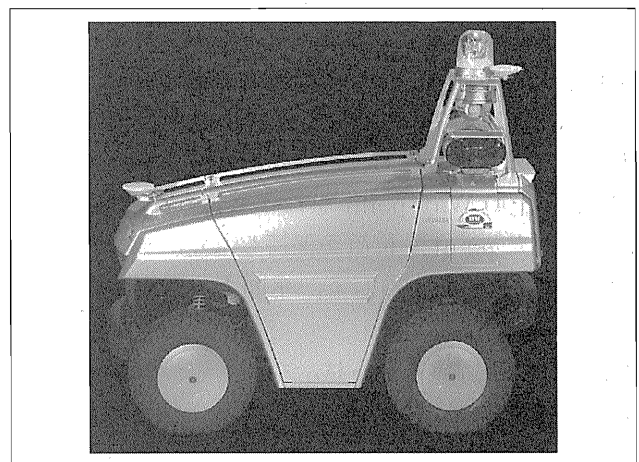
監視、警備、測量、気象調査等の業務を想定して、

ヤマハ発動機株式会社がカーネギーメロン大学と開発中の車両である。機動性、制御性、出動路面の多様性に対応可能な4輪駆動のAT車がベース車両として採用された。制御機器やセンサ類の搭載と調査範囲等を考慮し、車両の可載重量150kg、連続走行距離150kmとした。車両上部のルーフレールに様々な装置の搭載が可能である。

自律走行(パストラッキング走行)、遠隔操作、有人操作の機能を有している。自律走行制御は、GPSと慣性航法の組合せによる測位システムを用い、約50cmの位置精度で行われる。走行ルートは、有人運転によるティーチングまたは、机上で地図上にウェイポイントを選択することで作製する。車載カメラ装置や散光警告灯のオンオフ、警告メッセージの発声と作動地点などのタスクは、あらかじめ設定し無人で行う。ティーチングモード時に走行ルートのみならず、有人操縦時の車載装置の動作や車速を記憶し、自律運転時にそのままに再現することも可能である。障害物を自動的に回避可能な自律走行の最高速度は、20km/hで、平坦であれば $R=4\text{m}$ のコーナも10km/h程度で旋回できる。

障害物認識には2基のレーザスキャナを用い、上記最大車速時においても、走破可能な約15cmの物体まで検知、回避する機能を有している。

遠隔操縦は、車両前後に搭載した2台の固定CCDカメラと、360度パンチルトカメラからの画像を見ながらジョイスティックあるいはPDAで行うことができる。これら画像、基地局からの指令、および車両からの各種情報はすべて無線LANを経由して授受される。車両の運動制御は専用の車両コントローラが、上位からの舵角指令値、車速指令値などにに基づき行う。これらの指令値は、自律運転及び遠隔運転時はすべて上位に設けた自律コントローラからEthernet及び



写真—3 小型無人災害調査車両のベースマシン

CAN を介して送られる。また、有人運転時は、ステアリングバー、アクセルレバー等の操作量に応じて車両コントローラが直接各アクチュエータを駆動するドライブ・バイ・ワイヤ方式となっている。写真—3 が小型無人災害調査車両のベースマシン、表—4 がその仕様である。

表—4 UGV の仕様

項目	仕様	備考
車両型式	Yamaha・YFM 660 グリズリー	小型の4輪駆動車
乾燥質量	450 kg	
最大積載質量	149 kg	
最高走行速度	20 km/h	
コーナ旋回時速度	10 km/h	
連続走行距離	150 km	自律走行時 R=4m 時
エンジン	水冷4サイクル660 cc	
動力伝達装置	AT車	
発電機容量	1 kW	
電力供給	DC 12 V, AC 120 V	
燃料タンク容量	20 L	
連続走行距離	100 km	

(3) 水上航行型災害調査機械 (UMV: Unmanned Marine Vehicle)

高速型 (UMV-H: high speed type) と外洋型 (UMV-O (Ocean Type)) の2つのタイプの水上航行型災害調査機械がヤマハ発動機株式会社等により開発されている。前者は高速性と機動性が特徴で、後者は排水量型船型で外洋での環境観測のように長時間の任務に適している。

(a) 高速型無人小型船 (UMV-H)

高速型自律無人小型船は、長さ 4.44 m、最大速力は 40 ノットである。エンジンは出力 89.7 kW のウォータージェットを1台搭載、燃料タンク容量は 80 L である。船型はディープ V である。船体のモールドは量産ボート用を用い、デッキのモールドは UMV 専用に製作した。デッキの後部の水密ハッチ下の運転席に2人が乗船、有人操縦も可能としている。

デッキにはリモート操作でフックが外れるスリング金具が付いている。小型のカッタに載せられ、水中カメラ (ROV) やソナーなど任務に必要な機器の搭載も可能な大きさである。あらかじめプログラムされた 100 点以上の Way point をたどるように巡航したり、決められた point で位置を保持したり、また、そこで ROV やソナーを下ろして、水面下の監視、調査などができる。

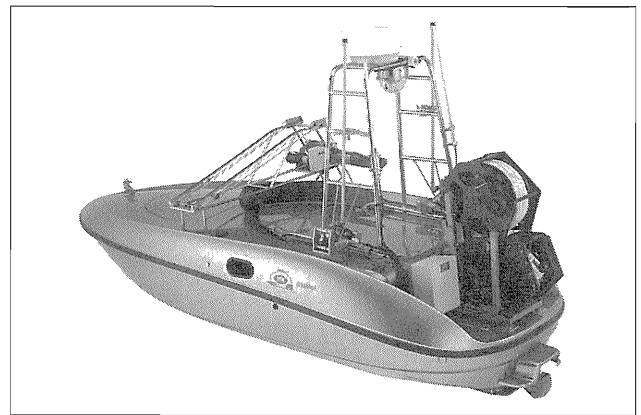
図—5 の制御システムは、ボートの操縦系と機器の制御系および地上の基地局とで構成されている。計測部には光ファイバージャイロスコープ、磁気方位センサ、3軸の角加速度計、RTK-GPS が用いられている。

これらのセンサは無人ヘリコプター用にヤマハ発動機が開発したものである。操舵、スロットル、前後進切換えアクチュエータとそのモータドライブも産業用ロボットに使用しているハードウェアとソフトを採用している。

操縦のアルゴリズムは、基本的には PID (Proportional Integral Derivative) 制御である。制御量を計算するために必要なボートの姿勢データは、無人ヘリコプターで確立したセンサのハイブリッドフィルタ技術や、通信の信頼性を判定する処理など高度なアルゴリズムを組込んでいる。また、ボートはブレーキがないからスロットルをオフにしても直ちには止まらない。またジェットボートはスロットルをオフにすると舵の効きが悪くなるという特性がある。そのため、スロットルを減速するタイミングやエンジン回転数を下げ過ぎないように制御アルゴリズムを工夫している。通信システムは、統合システムを構築しやすいように無線 LAN を使っている。

計測装置として、水中カメラ、IR テレビカメラ、レーダ、サイドスキャンソナーを装備した。水中カメラは、無線による遠隔操縦で海面に下ろしたり上げたりすることができる。位置検出用のトランスポンダが付いているため、その位置もモニタできる。ROV やソナーの揚降装置は、小型、軽量である必要から、この UMV のために特別に設計した。

写真—4 が、高速小型船自律無人船、表—5 が同自律無人船の仕様、図—5 が高速小型船自律無人船の制御システム構成図である。



写真—4 高速小型船自律無人船 UMV-H (ヤマハ発動機株式会社)

表—5 高速小型船自律無人船 UMV-H の仕様

項目	仕様	備考
型式	YAMAHA	小型高速船
全長	4.4 m	
最大速力	40 knot	
エンジン出力	89.7 kW	ウォータージェット×1台
燃料タンク容量	80 L	

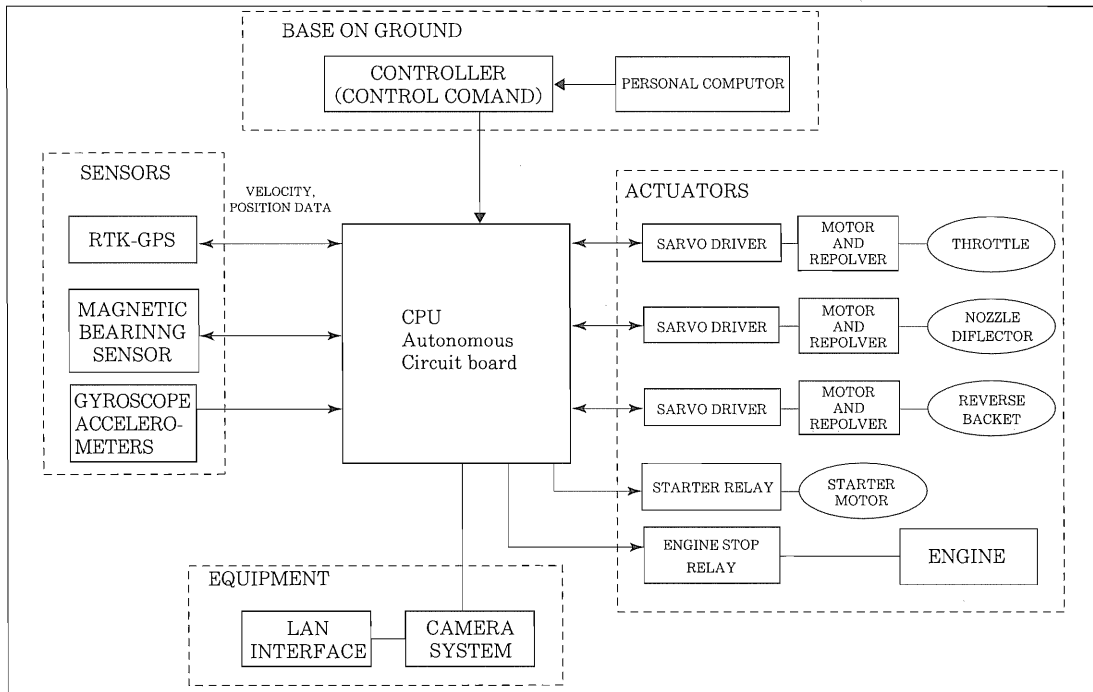


図-5 高速小型船自律無人船の制御システム構成図 (ヤマハ発動機株式会社)

(b) 外洋型小型無人船 (UMV-OUMV-O (Ocean Type))

外洋型小型無人船は、排水量型の船型を持った外洋クルージング型の自律船舶である。長時間、長距離クルージングの能力を生かした海洋の大気や水質等の環境観測が主な用途である。

1号機は、大気と水質観測機器を搭載し、日本の科学技術振興事業団に納入した。「かんちゃん」と命名され、2001年3月～2003年10月までに15回以上の観測を実施し、合計移動距離4,723 kmを達成した。

表-6 に仕様、図-6 にシステムを示す。

トラックの運送や揚げ降ろしなど陸上運送を考慮し

表-6 外洋型小型無線船仕様例

Dimension	Size	7.99 m (L) × 2.80 m (B)
	Displacement	3.5 tons
Specifications	Construction	FRP
	Propulsive power	DC motor & Screw
	Electric Power	Diesel engine DC dynamo (24 V, 1.2 kW) AC dynamo (100 V, 1.2 kW)
	Fuel	Light oil (700 L×2)
Performance	Speed	4 knot (all karm)
	Cruising time	700 hours (without maintenance)
Sensors	Surface water & YOYO	Conductivity (Salinity), Temperature Turbidity, Chlorophyll fluorescence
	Atmosphere	NO _x , SO ₂ , O ₃ , Aerosol

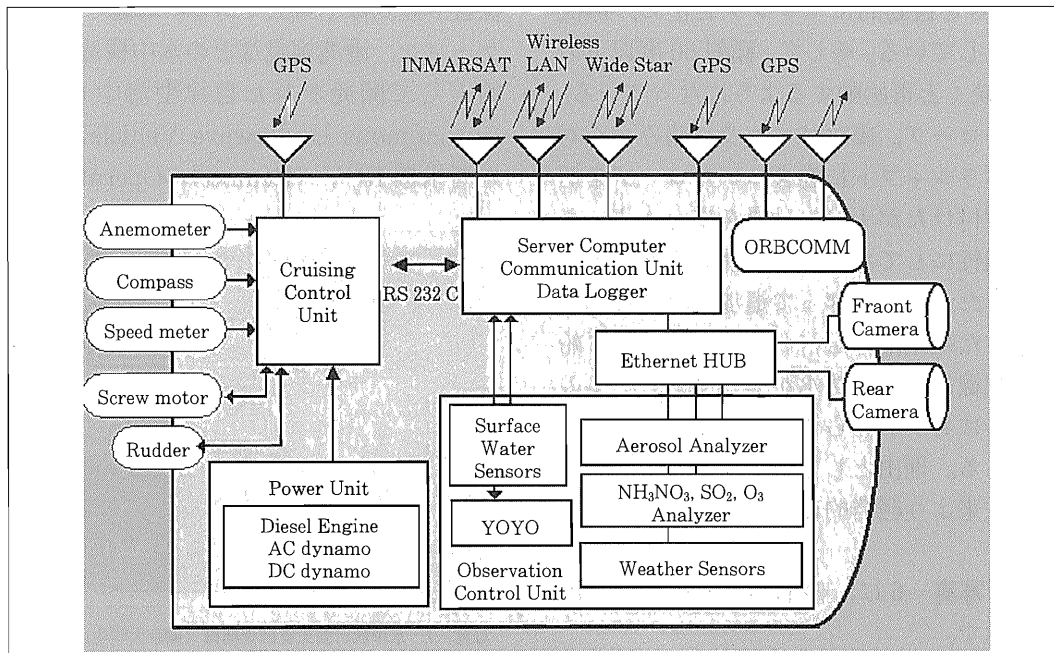


図-6 外洋型小型無人船のシステム構成 (ヤマハ発動機株式会社)

決定された全長 7.99 m の船体は、セールボートの型を使っている。推進システムはシリーズハイブリッドであり、推進モータは DC マグネットモータである。推進用と観測機器用の電力を確保するためディーゼルエンジンを搭載して DC 24 V 及び AC 100 V の発電機を駆動している。燃料は 1,400 L で 700 時間の連続運転が可能である。船内は Bulkhead で 3 区画に仕切られ、船首部は大気分析機器とコンピュータ、中央には海水分析機器、船尾区画には発電機とバッテリー等の動力関係が設置されている。

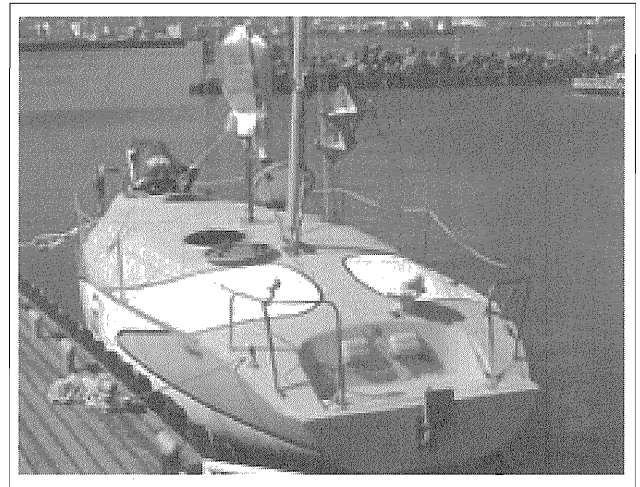
位置の通信機能が途絶えると撤収が不可能になるため、通常は日本海沿岸 200 マイル以内で利用可能な Wide-Star (4,800 bps)、非常用として INMARSAT (2,400 bps)、すべての機能が停止して漂流状態となっても位置だけは監視できるように独立したバッテリーを電源とする GPS 装置付きの ORBCOMM 通信システムの 3 種類の衛星通信システムを搭載している。その他、港への出港や入港時など伴走艇から手動操縦できるように無線 LAN を搭載している。

マストには前方と後方を監視するため Web カメラを備え、この画像を通信システムを通してリアルタイムに地上でモニタできる。

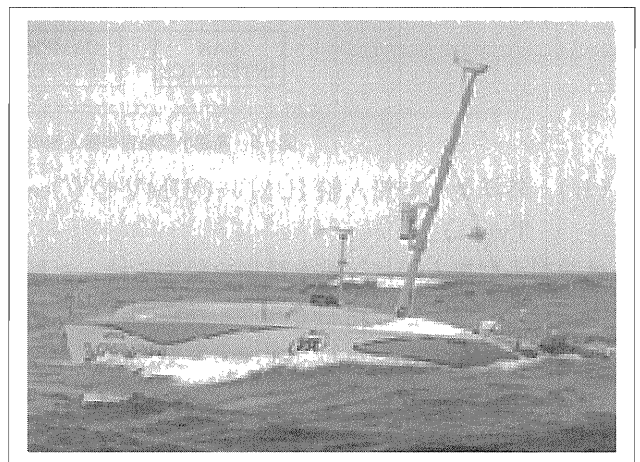
ステアリングシステムは、通信制御部から Way Point の指示を受取り、GPS による現在の位置と比較し舵を制御する。Way Point に到達すると (Way Point は、通常半径 50 m の円に設定している) モータの回転を停止して漂流状態に入る。そして、この円を外れると自動的にモータを回転させ再度舵を制御する。荒れた海で船のローリングが大きい状態でエンジンを運転するとダメージの可能性があるので、傾斜角度が 60 度を超えると自動的にエンジンを止め、漂流状態になるようにしている。そして、傾斜 60 度以下の状態が 10 分以上続くと再始動するようになっている。

漂流中の魚網やロープ、藻がプロペラに絡みつく対策として、プロペラシャフトに巻きついたロープを切断するカッタを取付けたが十分な効果を果たさず、多少の速度性能を犠牲にしてプロペラ全体を取囲むケージをつけて対処した。運用に伴って追加される計測機器や艀装を想定した電気配線も行われている。特に船内から船外への配線は完全な防水が必要である。その他細かなトラブルにもかかわらず、この船のユーザの評判は好意的である。理由として台風や荒天の中を生還した実績や、従来より経済的に観測ができた、等が挙げられる。

写真—5 および写真—6 に、停泊中と航行中の外洋型小型無人船を示す。



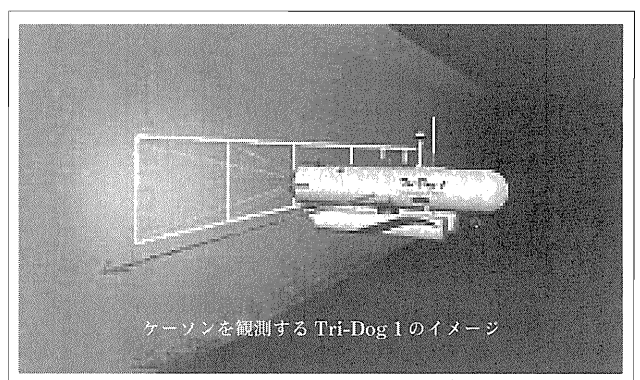
写真—5 外洋型小型無人船 (停泊中/ヤマハ発動機株式会社)



写真—6 外洋型小型無人船 (航行中/ヤマハ発動機株式会社)

(4) 水中航行型災害調査機械

地震などによる地殻変動、火山活動、気候変動などの調査に、地表面積 70% を覆っている水中や水底の探査や観測は不可欠である。写真—7 は、ダムの水門、ケーソン、港湾施設などの水中構造物の監視などを目的として開発された自律型海中ロボット (AUV: Autonomous Underwater Vehicle) である。有索無人潜水機 ROV (Remotely Operated Vehicle) とは



写真—7 水中航行型災害調査機械 (東京大学生産技術研究所・浦研究室)

異なり、動力供給や情報授受用のケーブルを持たないため、障害物に絡むことなく、水中を自由に動き回り、対象物に近づいて海底や水中構造物の観測を行う。観測対象物までの距離と角度値は、搭載したレーザポイントの反射点を CCD カメラで確認し、反射点と対象物間の距離を計測するアクティブセンシングに拠っている。表一7 に、水中航行型災害調査機械の仕様例を示す。

表一7 水中航行型災害調査機械の仕様例 (Tri-Dog/東京大学生産技術研究所・浦研究室)

Length over all	1.85 m
Breadth over all	0.58 m
Depth	0.53 m (0.90 m including antennas)
Dry weight	170 kg
Operating depth	max 100 m
Maximum speed	2 knots
Duration	2 h
Structures	Aluminum Pressure Hulls (Main cylinder×1, Battery cylinder×2)
Actuators	100 W Thrusters×6 (Rotation, Amp. feed back)
Processors	Intel Pentium MMX 233 MHz×3 (High level, Low level, Vision)
Sensors	Attitude and Heading Reference System Doppler velocity log Electromagnetic flow meter Pressure sensor (Depth sensor) Real-time kinematics GPS Acoustic ranging sensor×8 CCD Camera with pan & tilt mechanism
Communications	Transponder wireless LAN 430 MHz wireless modem for RTK-GPS
Lights	24 W Arc lamp×2
Batteries	25.2 V Ni-Cd battery 20 Ah×4

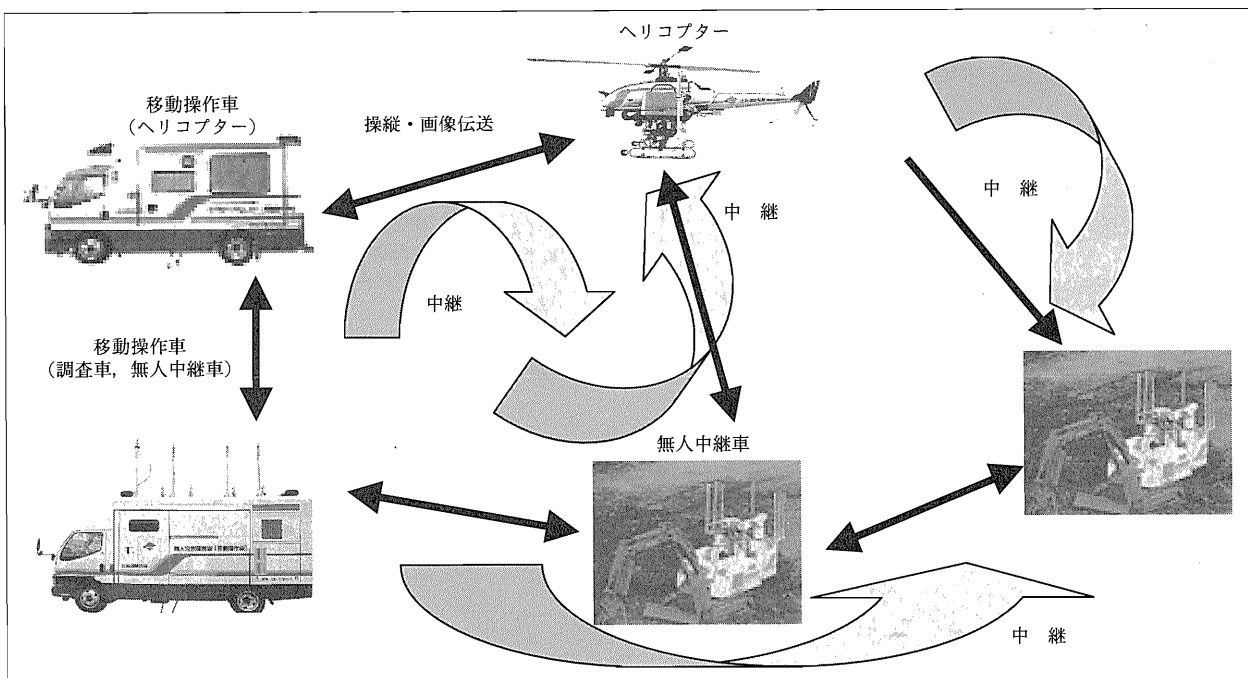
水中バックホウの研究では、水中超音波トモグラフィーによる対象物の立体視などの情報を基にロボットの運動を制御する研究も行われている。

4. 空・陸・海の連携に向けた展望

2000年3月の有珠山噴火災害に際し、広域・長期間の立入り規制により災害対策に必要な調査に支障を来たした。この経験を基に、国土交通省北海道開発局は、無人調査車両2台と無人ヘリコプタ2機で構成される「災害調査機械」を2001年3月に導入した。災害発生時に速やかに、陸・空両面から被災地調査を行い遅滞のない対策行動を行うためである。

現状では、陸・空の調査システムは独立しており、調査行動中の情報交流は無い。図一7のシステムは、両調査システムを無線 LAN で接続したものである。基地（移動操作車）2台を含めた6台の移動体が全て中継機能を持ち、相互に連絡し中継しあえば、電波断の懸念なしに広域な調査を実施できる。調査過程での情報の共有によって相互補完しつつ、無駄のない高度な情報収集も可能である。

無線 LAN の使用例として、国土交通省関東地方整備局利根川水系砂防工事事務所が2003年度に施工した、谷沢川水系での無人化施工がある。現場全体に有線と無線を組合わせた LAN を敷設して、8台の建設機械の統合管理を行った。従来、建設機械毎に割り当てていた電波の共有によって、中継や無線エリアの切替えを含め、3波の電波で全機械の制御信号の双方向



図一7 無線 LAN による陸・空の連携システムへの展開例

伝送を行った。当初は、機械搭載カメラや現場に敷設したカメラの映像も同一電波での伝送を想定して予備実験も行ったが、8カ月の工期の間でそこまでの展開は試みられていない。LANシステムの更なる展開として、防災等用に敷設した既設の監視用映像、センサ、通報システムなどと連係した広域の情報共有も想定したが、十分な未来展望の検討を行うに至らずに無人化施工は完了した。無線LANは、新潟中越地震の救援活動時に問題となった混信などによる通信障害を回避する手段、限られた電波資源を有効に利用する手段でもあり、利用システムの研究継続を期待したい。図7に、北海道開発局保有の無人調査機械を例とした無線LANによる陸・空の連係システム例を示す。

5. おわりに

建設機械ロボット化に向けた組織的な研究が始まっているが、空陸海の小型移動体の分野では、自律移動と調査・監視作業の自動化研究が先行している。これら小型移動体の無人化技術には、建設機械の無人化に



写真—8 無人ダンプトラック研究用スケールモデル
(新キャタピラー三菱株式会社)

供せられる共通的なセンシングや制御技術が多く含まれている。これら新技術の転用によって、建設ロボット化の実現を早めることができる。

写真—8は、新キャタピラー三菱株式会社が、1982～1989年に実施した、オフロード型大型ダンプトラックの無人走行開発の過程で使用した基礎研究用のスケールモデルである。超小型のシミュレーションモデルを用いて最適走行制御や障害物回避の手法研究を行う、低コストで効率的な実験環境を創出した。

JCMA

《参考資料》

- 1) 増田裕・柳原序・今井浩久・佐藤彰(ヤマハ発動機(株))：「無人システム最近の開発状況」, ヤマハ発動機(株)技術資料, 2004
- 2) M.W. McKee: 「VTOL UAVs Come of Age: US Navy Begins Development of VTUAV」, The American Helicopter Society (AHS) International
- 3) 野波健蔵(千葉大学)：「3.3.3. 自律型クローラ・レグロボットと自律型ラジコンヘリコプタによる被災地支援システムの開発」 pp. 244-271
- 4) 千葉誠・熊井敬明・吉住年行・鈴木昭彦：「ITを活用した無人調査機械の開発」, 建設の機械化, pp. 49-54, 2002.3
- 5) 久武経夫：「ロボット技術特集—CONET 2003 アカデミーロボットの開発状況—大学など公的機関における建設ロボット研究—」, 建設の機械化, pp. 44-51, 2004.1
- 6) 上瀧實・増田稔, 他：「ムバコンによる自律型空間情報の試み」, 電気学会(函館)発表予稿集, 2003年5月
- 7) 増田稔：「自律型測深システム「自動バルーガ」の開発」マリンボイス, 21巻, No. 225, pp. 11-13, 2002
- 8) 高田知典・掛橋孝夫：「飛行船型バルーンとデジタルステルカメラを用いた空中写真測量システムの開発」, 建設の機械化, pp. 17-22, 1995.8
- 9) 永田隆・志村靖彦・宮里剛・秋田徹：「ラジコンパラシュート飛行機によるリモートセンシング」, 骨材資源学会誌, 1989年, pp. 20-22
- 10) 山崎文雄：「自然科学研究科都市環境システム専攻博士前期過程 都市システム構造解析特論, 第5回リモートセンシングによる災害把握講義資料」2004.5.18
- 11) 近藤逸人・浦環・能勢義昭：「自律型海中ロボット“Tri-Dog 1”の設計とミッション」, 生産研究, Vol. 52, No. 5, pp. 243-246, 2000.5

【筆者紹介】

久武 経夫(ひさたけ つねお)
株式会社インロード・ネット
代表取締役
システムテクニカル株式会社
社長
(<http://www.systemtec.co.jp/>)

