

# 修士学位論文

## 衛星を利用した災危情報と 自律型移動体への応用について

---

平成 26 年度

(2015 年 3 月)

東京海洋大学大学院  
海洋科学技術研究科  
海運ロジスティクス専攻

品川小百合

## 目次

<b>1章 序論</b> .....	3
1.1 はじめに.....	3
1.2 研究背景と目的.....	3
<b>2章 衛星システムとサービス概要</b> .....	5
2.1 全地球航法衛星測位システム.....	5
2.2 地域航法衛星測位システム.....	9
2.3 準天頂衛星システム.....	9
2.4 災害危機通報.....	18
2.4.1 サブメータ級測位補強サービス.....	22
2.4.2 一般的な活用例.....	23
<b>3章 自律型移動体の現状</b> .....	29
3.1 UAV.....	29
3.2 小型ボート.....	32
3.3 自律型乗用車やラジコンカーなど陸上移動車.....	35
<b>4章 GPS・QZSS ロボットカーコンテスト</b> .....	37
4.1 卒業論文で製作した自律型ロボットカー.....	37
4.1.1 ロボットカーの機構.....	37
4.1.2 ロボットカーの構成.....	37
4.1.3 ロボットカーの外装.....	37
4.1.4 マイコン.....	38
4.1.5 mbed.....	39
4.1.6 control.cpp の内容.....	40
4.1.7 アルゴリズム.....	43
4.2 準天頂衛星を介した災害情報の受信.....	44
4.2.1 QZPOD.....	44
4.3 GPS/GNSS ロボットカーコンテスト.....	46
4.4 ロボットカーの走行結果と出場したロボットカー.....	50
<b>5章 総括</b> .....	54
<b>参考文献</b> .....	55

# 1 章 序論

## 1.1 はじめに

私は大学時代の卒業論文に「GPS を利用した自律型移動体に関する研究」というテーマで研究を行った。私はプログラミングの知識があまりにも乏しいため、なるべくわかりやすく取り組みやすいラジコンカーを用いたこの研究を先生に薦められた。そこでは自律型移動体の簡単な誘導プログラムを書き、走行実験などを行った。この時は実際に自律型移動体であるラジコンカーを走らせ、プログラムに書かれている速さと舵角と実際に走らせたそれらを比較してプログラミングし何度も誘導を行うことを繰り返し考えた通り動くことを確認し、その結果この年の GPS ロボットカーコンテストで準優勝するという成果を出した。多大なる技術を他者からもらいつつも上記のような成果を出せたものの、私はラジコンカーの誘導が面白いという程度のことしかこの当時は理解できなかった。だが大学院に入り、日本の地域航法衛星測位システムである準天頂衛星システムの提供するサービス概要の存在、特に災害時や危機的状況に陥った際に発信される情報について知った。今の段階ではまだ準天頂衛星は一機しか打ち上がっていないもののその有用性は例え一機だけであろうと GPS と併用して利用すれば位置精度が上昇することは私にも理解できた。また、この GPS から情報を受信して自律型移動体に届け指示を出すという技術は、ラジコンカーで誘導だけではなく、利用したよりもより多くの場所で利用できるのではないかと考えるようになったのである。

## 1.2 研究背景と目的

全世界に広がる GPS は位置測位を行うという点において大変重要なシステムである。だがこれだけでは今現在日本における測位においてその精度は十分ではない。そこで GPS だけに頼るわけではなく、日本近郊上空限定で浮かんでいる人工衛星により、従来の GPS だけではなく高度で正確な位置情報を受け取れることを可能とする衛星を打ち上げた。今まで米国の GPS に依存した状態から脱却し、地形条件に左右されない安定した測位システムのサービスを受けることが期待されている。それゆえに今、日本の衛星測位システムである準天頂衛星システムが脚光を浴びている。

東日本大震災により災害時の通信の在り方が政府、自治体、通信関係者等で再検討されている。東日本大震災で現実起きた通信上の問題点を検討し ICT 技術によるソリューションを見出すことは喫緊の課題である。

つまり近年の異常気象、地震の増加により地殻変動の監視から測地、測量、天気予報また 2 次災害を防ぐ観点からも、また人がうまく立ち入ることができない場所で行う災害救助や監視、探査のためにカメラやロボットなどといった機械を用いることで人の安全性を向上させている。そのため自律型ロボットの需要が高まり、実用化が進み製作も増加し続けている。ロボットの歴史は 20 世紀中ごろからとまだ短い、かつては大まかな力仕事しかできなかったロボットだが今では人のようなタイプや、細やかな作業を行える高度な技術を持つ物も存在する。

そこで本研究では上記のことを理解し実感する第一歩として、GPS を利用した自律制御可能なプラットフォームで複数の目的地に順番に、また近年日本で重要な人工衛星とされる準天頂衛星システムから発信される災危通報を利用した誘導を行うことにした。

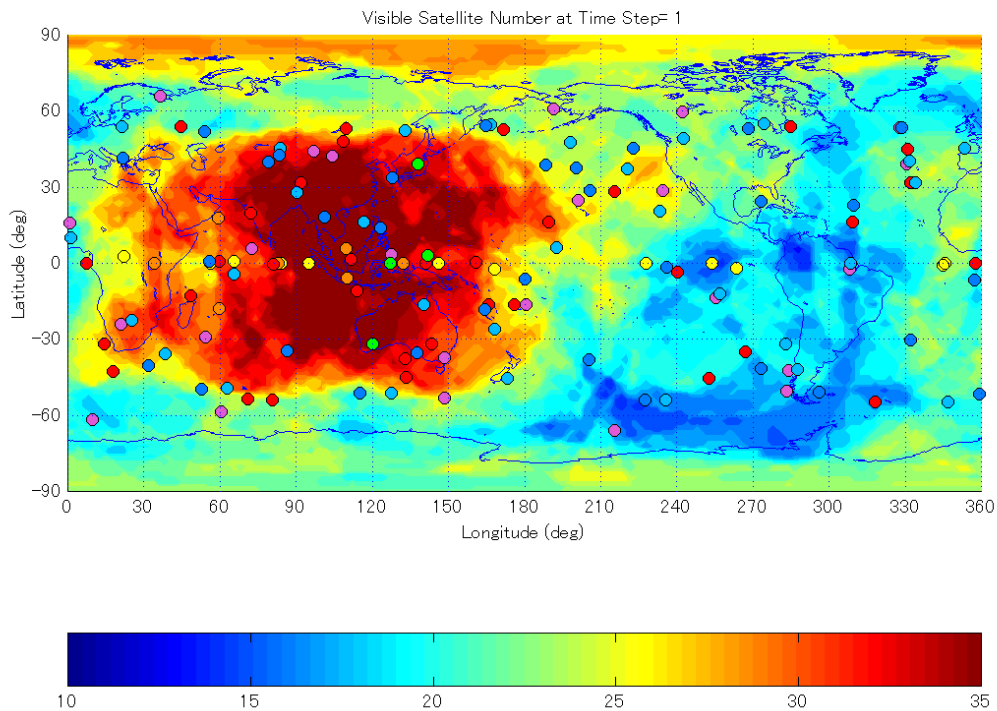
## 2章 衛星システムとサービス概要

衛星システムとは基としたシステムのことである。現在確認されている全地球航法衛星測位システムはアメリカの GPS、ロシアの GLONASS、ヨーロッパのガリレオ、中国の COMPASS、そして地域航法衛星システムはインドの IRNSS そして日本の準天頂衛星システムである。

### 2.1 全地球航法衛星測位システム

古来長い歴史の中で発達した航海術は星を頼りに位置を決めたが、星はいつも見えるとは限らず、晴天のもとでしか安全な航海はできなかった。衛星測位とは人工の星を上空に配置したものであり、光でなく電波を用いることから天気に関わらず測位が可能となる。電波は座標系によらない既知の速度（光速度）で伝わることから、信号の伝搬時間を測定することで送信者と観測者との距離を決定できる。原理的には位置が分かっている3つの送信局からの距離が分かれば、3辺測量により観測者の位置を知ることができるが、送信及び受信側の時計が正確に同期されていなければならない。実際の衛星測位において受信機の位置を求めるには、緯度、経度、高さ及び時刻の4パラメータを決める必要があり、衛星は最低4機必要となる。また観測される擬似距離には電離圏、大気及び水蒸気遅延、あるいはマルチパスも含まれることに注意しなければならない。地球上のどこにいても4機以上の可視衛星を確保にするには、GPSのように数十機の衛星を地球の回りに周回させる必要がある。このような全地球上で衛星測位を可能にするシステムを全地球航法衛星システム（GNSS： global navigation satellite system）と呼び、現在判明しているのは先にあげた4つである。

世界各国で全地球航法衛星システムが続々と構築されつつあり、数年後には地球の周りに100機を超える多数のGNSS衛星が整備されることになると言われている。特にアジア経度帯では以前から運用されている米GPS（global positioning system）とロシアのGLONASS（GLObal NAVigation Satellite System）に加え、ヨーロッパのガリレオ、中国のCompass/Beidou-2が打ち上げを開始しており、世界に先駆けて見える衛星の数が突出する見込みである。このような複数のGNSSを同時に受信し利用できる環境を、巨大なインフラとして考えるMulti-GNSSという概念が近年台頭してきている。下の(図2-1)はマルチGNSS効果が特にアジアで期待される可視衛星数（マスク角30度）24時間の利便性である。



○ GPS(32)+ ● Glonass(24)+ ● Galileo(30)+ ● BeiDou(35)+ ● QZSS(4)+ ● IRNSS(7)+ ● SBAS(13)

図 2-1：可視衛星数 (マスク角 30 度) 24 時間の利便性

私が調査したところ、避難勧告を出すようなサービスはまだない。GPS は単独測位と時刻同期に関して標準測位サービスと精密測位サービスが用意されている。GLONASS もグロナス性能と P コードが利用できるサービスと名前は違うものの GPS と似たようなサービスを持っている。それに比べてガリレオは測位に関するサービスだけではなく、それを利用したサービスを 4 つ持っているが災害情報の配信はない。

### 2.1.1 "TweetLine®@災害"

GPS 自体に災害情報を送る機能はないが twitter との連携によって誘導避難が可能となるツールが存在する。"TweetLine®@災害"と呼ばれ、スマートフォンと Twitter を組み合わせた防災対応ツールの事である。

スマートフォンの GPS 機能と Twitter を活用した災害支援システム "TweetLine®@災害" は災害時における通信上の問題、特に現状の通信インフラが災害時には「つながりにくい」現象を引起す問題点を解決する手段の一つとして開発した。スマートフォンの市場への急速な広がりを鑑み、

スマートフォンと Twitter の組み合わせによる防災対応ツールは世の中の動向として時宜を得たものであり、防災担当者や住民にとって強力な味方となりえるものと確信している。

地域における災害対策の推進は一般的に自治体が主導する。これまで地域に設置した定点カメラ、雨量計、水位計のデータに従って避難勧告などを住民に発信しているが、情報のピンポイント化や被災情報が偏る恐れもあり、モニター器材だけで対応しきれないことが考えられる。また、緊急時には迅速かつ簡単な手段による情報伝達がなにより重要となる。TweetLine®@災害はスマートフォンの GPS 機能と Twitter を組み合わせ災害時の十分な情報収集と迅速な伝達手段の確保を実現する柔軟性の高いソリューションである。

TweetLine®@災害を利用する地域住民が「ゲリラ豪雨で小川が氾濫している」といった地域に密着した現場情報を迅速・タイムリーに自治体の防災センターに写真や動画も一緒に添付して発信でき災害対策に役立つ。また、地域住民からあがってきた情報を防災センターの職員が地域防災対策マップ上に整理・プロットすれば、面的な広がりのある精度の高い災害情報が生成され、迅速で細やかな対策を実施し易くなる。つまり、地域住民からの生の情報をリアルタイムに吸い上げることが可能になるという事である。

避難・被災者の安全・確実な避難所への誘導をスマートフォンの GPS 機能と Twitter アプリケーションを活用することにより現在地から最短で行ける避難場所までのルートを表示することや、時々刻々と変化する災害情報をタイムラインで確認しながら迅速・安全・リアルタイムに避難誘導することが可能である。

TweetLine®@災害の運用は、災害センターのみならずシンクライアント方式に対応しており自治体職員は自宅や遠隔地からでもリモートアクセスによりセキュリティを確保しながら災害情報管理データベースを操作できる。自治体ハザード情報、アプリケーションやデータベースはクラウド上にあるプラットフォームに構築しているという事である。



図 2-2：全体運用図



図 2-3：自治体の防災センターのイメージ

利用者向けのアプリケーションメニューと活用例が以下の4つである。

①読む

自治体関連による災害ニュースライン 自治体が発信する公式情報「災害情報ニュースライン」をリアルタイムで確認することができ、さらに、地域住民・被災者など他の利用者が投稿した被害状況に関する情報を「災害情報ツイートライン」から受信できる。

②投稿する

住民による地域災害状況の投稿 利用者自身が「投稿する」機能を利用し、他の地域住民・被災者に対し、災害状況をテキストや画像、GPS 情報を付けて提供することができる。自治体や危機管理主体者は、書き込まれた情報「災害情報ツイートライン」を精査した上で公式情報「災害情報ニュースライン」に反映し、住民の共助・自助のための共有情報として提供する。住民や被災地を調査する職員は、これらの情報と観測機器の情報を総合し、災害現場への人員の派遣、救援物資の提供を迅速に進めることができる。

③探す

避難勧告時など近隣避難所へのナビゲーション災害情報問い合わせ先機関の一覧、避難所の一覧、避難所設備・状況を確認し、スマートフォンのGPS 機能を利用して現在地に近い避難所へ地図を見ながら安全に避難することができる。県外からボランティア等で現地に赴くための誘導支援として活用できる。



#### ④設定

アプリケーションのダウンロード、設定 利用者は自治体サービス受け入れ初期設定をおこなう。また緊急事態通報設定により受信するメールアドレスを事前に設定できる。

### 2.2 地域航法衛星測位システム

名前の通り、全地球航法衛星測位システムとは違い地域限定のシステムのことである。インドでは GPS を利用した航法利用のための Satellite Based Augmentation System (SBAS) システムである GPS Aided Geo Augmented Navigation (GAGAN) を有するが、2006 年頃より、GPS に依存しない独自の測位システムを目指して Indian Regional Navigation system (IRNSS) 計画を進めている。IRNSS は静止衛星 3 基と準天頂軌道衛星 4 基を組み合わせた 7 衛星で構成され、準天頂軌道は赤道面に対して  $29^\circ$  の傾斜角をつけた軌道になる。IRNSS はインド亜大陸に加え、地理的領域から 1500 km を超える領域をカバーするもので、S 帯 (2492.08 MHz) と L5 帯 (1176.45 MHz) の 2 周波を供給し、10 m 以内の精度を目指すという。インド亜大陸には磁気赤道が通り、電離圏の影響が強いため、S バンドを使用するものと考えられる。1 周波ユーザに向けて電離圏遅延補正情報も供給される計画である。なお変調方式は BPSK 変調と BOC (5, 2) 変調の 2 種類で送信されることになっているが、まだ計画段階で変更の可能性もあるため、特に表にはまとめない。1 機目の打ち上げが 2011 年に計画されており、2014 年には完成の予定である。C 帯を用いたレンジングなども計画されている。座標系は GPS に準拠して WGS84 が採用される。時系については IRNSS network timing center で独自に生成される、IRNWT (IRNSS Network time) というものが計画されている。

### 2.3 準天頂衛星システム

衛星による測位システムは、地殻変動の監視から測地・測量、天気予報、カーナビやケータイによる道案内、ロボットの制御、ネットワークの時刻同期まで実に幅広い分野に利用され、私たちの生活に無くてはならないものになっている。

準天頂衛星システムとは準天頂軌道衛星 3 機で構成され、GPS と互換性の高い測位信号を放送する。準天頂衛星は GPS の「補完」と「補強」を目的として開発された。「補完」とはユーザから見える可視衛星が増えることを指し、「補強」とは、GPS 単独測位のみでは得られない高精度な測位を提供する特別な測位信号を放送する技術を指す。準天頂衛星初号機を用いた実証実験として、国土地理院および電子航法研究所では GPS 測位での最大の誤差となる電離圏遅延の補正量を世界有数の GPS 観測システム GEONET を参照点としてその差分から算出し、遅延情報をさらに準天頂衛星から放送する計画である。

測位システムの 1 つである準天頂衛星システムとは、日本で常に天頂付近に 1 機の衛星が見えるように、複数の軌道面にそれぞれ配置された衛星を組合せて利用する衛星システムである。これらの軌道は、軌道傾斜角という赤道面からの軌道面の傾きを持って、地球の自転と同じ周期で

地球を回っている。衛星が常に天頂方向にあるため、山やビル等に影響されず全国をほぼ 100%カバーする、高精度の衛星測位サービスの提供が可能である。

より詳しく理解するために、まずは準天頂衛星システム初号機みちびきの概要、つまりみちびきの形状や搭載パーツ、準天頂衛星システムの軌道について説明する。

みちびきの構造は以下のようにになっている。太陽電池パドルは軌道上において太陽光を電池エネルギーに変換し、衛星に必要となる電力を供給する。TTS アンテナは搭載時計の校正実験に使う送受信アンテナで、地上との双方向時刻比較を行う。レーザーフレクタは L バンドの測位信号を使った軌道・クロック推定の検証・モデル改良のためにレーザ測距を行う。L バンドアンテナ(ヘリカルアレイアンテナ)は 4 つの周波数帯で 5 つの測位信号を送信する。L1-SAIF アンテナは 1m の測位精度を実現する補強測位信号用アンテナである。

#### みちびきの形状や搭載パーツについて

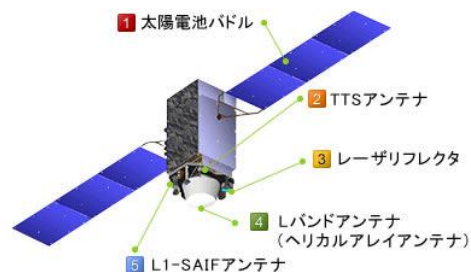


図 2-4:みちびきの構造

次に準天頂衛星の軌道について解説する。「静止軌道」は赤道上空を地球の自転と同じ速度で一周する軌道で地上からは一転に静止しているように見える(図 2-4-1)。静止衛星に比べて傾いた軌道では衛星の地表面への軌跡は対称な 8 の字になる(図 2-4-2)。その軌跡の形が円から楕円へと変わると中心が赤道からずれて非対称の 8 の字を描く(図 2-4-3)。準天頂衛星では日本付近で長い時間見えるように赤道の北端の高度が最も高い楕円軌道を使用している(図 2-4-4)。地表面の自転による移動速度は緯度によって異なり赤道上が最も早くなる。準天頂衛星の速度の東向き成分は緯度により異なり高度が低い南端で最も速くなる。地表面の速度と衛星速度の違いによって衛星軌道は 8 の字を描く。

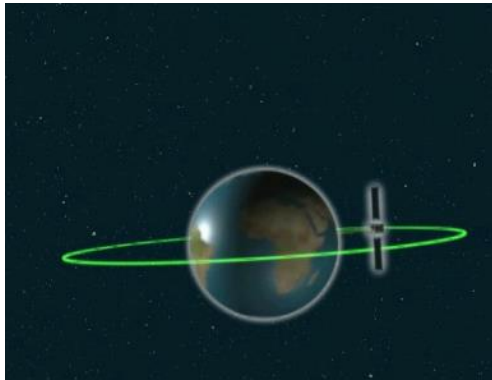


図 2-4-1: 静止軌道

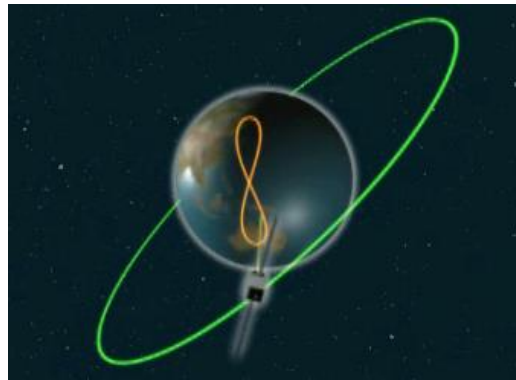


図 2-4-2: 傾いた軌道では衛星の地表面への軌跡

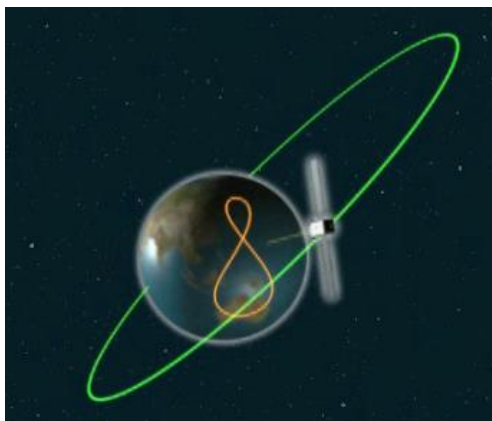


図 2-4-3: 軌跡の形が円から楕円へと変わる



図 2-4-4: 赤道の北端の高度が最も高い楕円軌道

これにより、将来的に日本の天頂部分に1つでも準天頂衛星が位置することになり、測位精度が格段に高くなる。そして準天頂衛星システムがGPSに併用されることにより、測位精度の向上が確実に向上するということが今までの話から理解でき、まだ準天頂衛星初号機のみ段階でも下の図の単独測位(測位信号のみ測位)と補強情報の比較により精度がよくなることが証明されている。

		単独測位(1周波)	標準信号による電離層補正 (L1C/Aの隙間で配信)	単独測位(2周波)
水平位置精度	GPSのみ	10m	3m	2m
	GPS+QZSS	5m	2m	1m

表 2-5 : 単独測位(測位信号のみ測位)と補強情報の比較(HP 準天頂衛星システム参照)

将来的には静止軌道を約45度傾けた軌道に、軌道面を120度ずつずらした衛星を、少なくとも3機配置することにより、常に1つの衛星が日本の天頂付近に滞留する衛星システム。高仰角なため、建物等によるブロッキングが少なく、高精度測位が可能となる(図2-6)。また、静止衛星との周波数共用により、周波数の有効利用が可能になる。

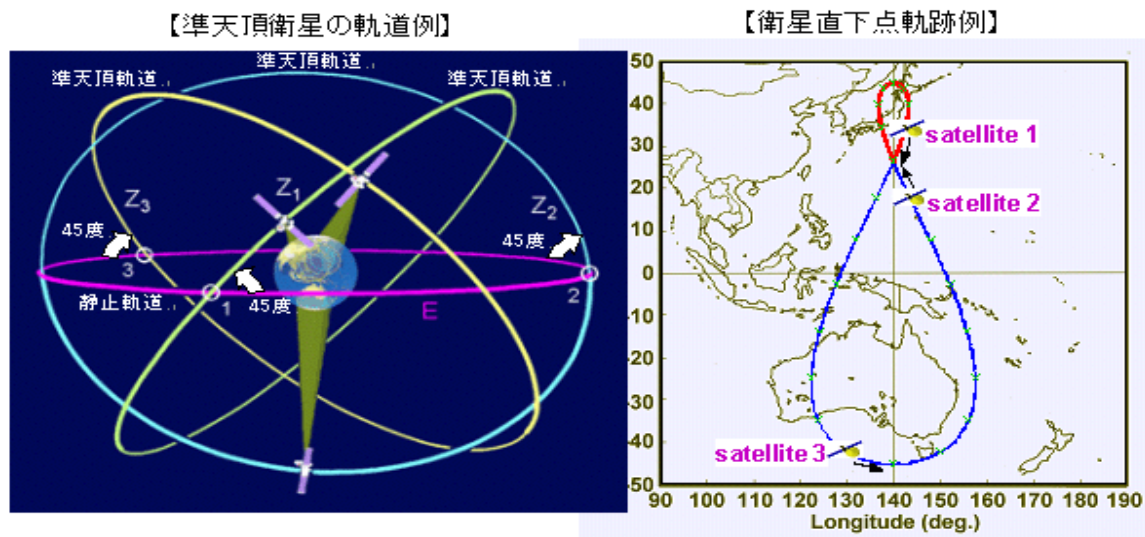


図 2-6：総務省からの準天頂衛星システムの将来展望

その結果、歩行者や自転車にレジャーの際に行われる移動の負担も軽減される。また自動車においても、旅行移送や物流を改革し、安全で確実なナビゲーションを実現可能とする。それは自動車に限らず、鉄道や船舶や飛行機などの移動体においても同様に、安全で効率的な運航を支えてくれる。さらに、建設や農業分野において高度な測位が効率的な作業を促進している。これらの利用イメージを具体的に示す。

歩行者や自転車による位置情報は移動軌跡作成に役立つ利点がある。衛星測位は電力消費量が大きいため、携帯電話で測位をし続けると急激に電池を消費しまう。このため、ジョギングやサイクリングなどで連続して位置や時刻を記録する場合には、ハンディ GPS と呼ばれる専用の受信機を使用するのが一般的である。

携帯電話では、電離層などの補強情報を基地局から得ることで高精度な位置情報を得ることが可能だが、ハンディ GPS では準天頂衛星システムの補強情報によって高精度測位が可能になる。

準天頂衛星システム「みちびき」の衛星測位サービスによって安定した高精度測位が可能になり、さまざまな位置情報サービスを利用することができるようになる。帰宅後に移動ルートや移動した距離を 3 次元の地図上などに可視化し、今後の活動に生かすこともできる。

歩行のナビゲーションをする際、道路のどちら側の歩道を歩けばいいのか、どこで横断歩道を渡ればいいのかなど、道路の詳細な情報も含めて伝える必要がある。

準天頂衛星システム「みちびき」の衛星測位サービスにより、安定した高精度測位ができるため、店舗や施設をピンポイントで紹介するような細やかな情報提供が可能になり、最短で目的地に着けるルートのほか、屋根が多いルート、階段が少ないルート、眺めて楽しいルートなど、目的や利用者に合わせたルートを選ぶこともできるようになる。

音声ガイダンス機能付きの歩行ナビアプリをスマートフォンに搭載することで、視覚に障害のある方でも目的地を見つけやすくなり、より安全な移動が可能になる。駅の出口から出て、どう

歩けばいいのか、目的の建物の入り口はどこにあるのかなど、詳細な案内も可能になり、安全で確実な移動ができるようになる。

歩行者・自転車などのパーソナルイメージ

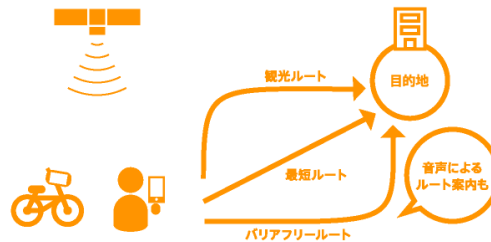


図 2-7：移動者の個人的な経路

準天頂衛星システム「みちびき」は、地震、津波などの際には、災害・危機管理通報（災危通報）を送信する。災危通報は、常時受信が必要なため、バッテリーを搭載している機器での受信が必要である。このため、学校、病院などの公的建物、街灯、信号機、自動販売機などの路上施設において受信し、スピーカーから警報を出すことで伝達する。(図 2-8)

携帯電話等で利用する場合にはバッテリーの課題があるため、SNS などの通常のネットサービスでも衛星と同時に伝達する。

また、安否確認サービス (Q-ANPI) により、災害時に通信手段が途絶した場合、衛星経由で近親者等にメールを送ることができる(図 2-9)。平常時の海や山での遭難などの場合には、位置情報とともに救助要請を連絡することができるため、救難要請を受けた近親者が関係機関に連絡することにより、救助隊等に発見してもらいやすくなる。なお、遭難していない場合でも位置情報を通知し、近親者等に安心を届けることも可能である。

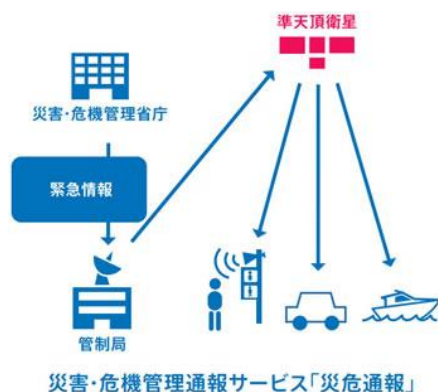


図 2-8：災危通報



図 2-9：Q-ANPI

次のポイントは、高精度測位が安全で確実なナビゲーションを実現している点である。準天頂衛星システム「みちびき」の高精度な位置情報が、カーナビを一段高いレベルに引き上げる。衛



星測位サービスで複数周波の受信機を使用することにより、電離層の誤差が解消され、精度数10cmの高精度測位が可能になる。これにより、走行している車線まで把握でき、車線変更の指示が出せるようになり、次世代の高度道路交通システム（ITS）を支える要となる。衛星数が多くなるため、これまで衛星電波が届きにくくて精度が低かった山間部や都市部においても高精度測位を活用できるようになる。

将来、すべての車両に準天頂衛星システム「みちびき」の受信機を搭載し、位置情報を交換し合うことにより、お互いの自動車の位置を高精度に把握することができるため、車両同士の衝突防止に役に立つ可能性がある。また、測位情報をもとにした自動課金システムが整えば、都市中心など特定のエリアに向かう車や特定の道路を走行する車に課金する「ロードプライシング」も可能になる。

準天頂衛星「みちびき」の衛星測位サービスを利用した高精度測位により、「横風注意」、「一時停止」などの道路交通標識に連動した案内が可能になり、安全性が高まる。交通事故の際には、ドライブレコーダーによって自動車の動きを高精度に記録することができるため、事故発生原因を科学的に突き止めることができる。(図 2-10)

地震、津波、火山噴火などの大規模災害が発生した場合には、災害・危機管理通報（災危通報）サービスによりカーナビに情報を通知し、事故を防止することができる。

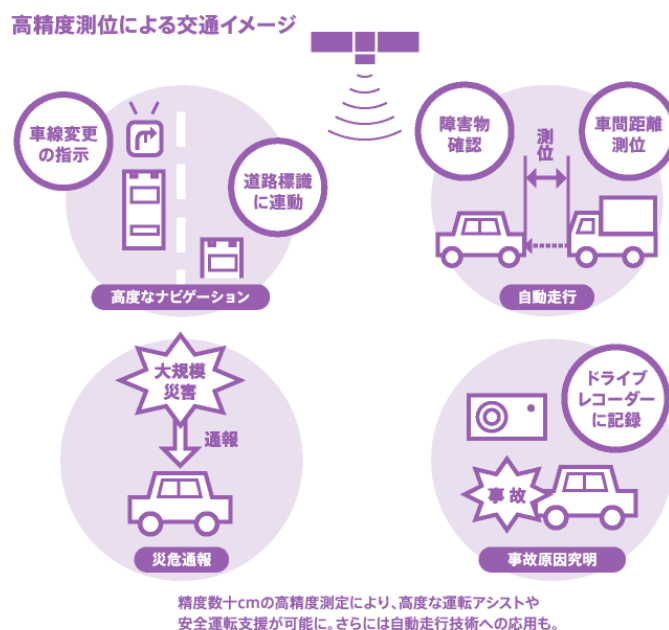


図 2-10：交通イメージ

準天頂衛星システム「みちびき」を利用した高精度測位によって、正確にバスの位置が把握できることから、走行速度や渋滞に関する正確なデータが蓄積されていき、このデータを元に、バス停で次のバスが到着するまでの時間を正確に表示できるようになる上、効率的な運行計画を作成できるようになる。

宅配業者に預けた高価な物や重要書類など、高いセキュリティが要求されるものについては、GPS タグによって位置の追跡ができるようになってきている。しかし、GPS 衛星だけでは、衛星数が不足し位置情報を取得できない場合があるため、完全な追跡ができないことがある。準天頂衛星システム「みちびき」を利用することで、移動の状況を掴んでおきたい荷物の詳細な位置もわかるようになり、追跡もしやすくなり、万が一トラブルが起こった場合も、発見しやすくなる。

長距離バスやトラックなど、長距離を移動する車両の追跡、運行管理にも、準天頂衛星システム「みちびき」は活用できる。GPS 衛星によって車両の位置情報を把握することは行われてきたが、準天頂衛星システム「みちびき」による高精度測位により、ドライバーの問題によりバスやトラックの走行が不安定になったことを位置情報で判断し、事故を未然に防ぐことも可能となる。

道路密度が高い都市部においてカーナビを利用する場合、ビル等でGPS 衛星が遮られることも多いことから、マップマッチング（測位結果を近隣道路上に移動させる手法）を行った場合に隣の道路になってしまうことがある。

準天頂衛星システム「みちびき」の衛星測位サービスを利用することで、都市部でも高精度な測位が実現する。このため、タクシーの位置把握が正確になり、効率的な配車を実現する。例えば乗車を求める利用者に最も近い位置にいるタクシーに対して、最短の移動ルートを含めた的確な指示を送ることができ、利便性も向上する。(図 2-11)

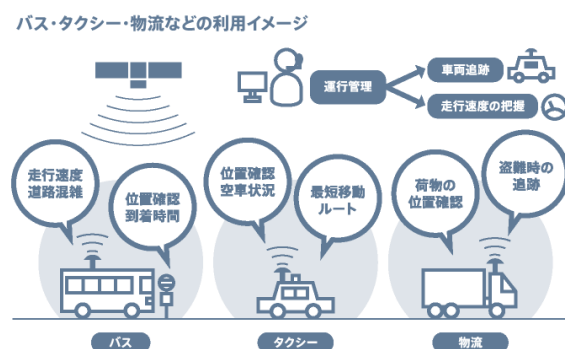


図 2-11：交通機関と郵送などの利用イメージ

安全で効率的な列車走行制御の実現となる。鉄道事故は多くの人々が利用するという点において、また他の交通機関にも影響を及ぼすことになるため、絶対に避けるべきであることから、列車の運行制御には高い安全性が要求されます。現在は、地上に設置した装置の上の列車が通過することによって列車位置の把握を行っており、地上装置の保守を行うための労力が大きくなっている。準天頂衛星システム「みちびき」を利用した高精度測位を活用することにより、列車の走行位置を正確に把握することができるため、地上設備のコンパクト化が実現し、安全性を保ちつつ保守管理をコストダウンすることが期待できる。

線路保守のために検査車両を走行させる場合、異常を発見した場合の位置把握が重要である。準天頂衛星システム「みちびき」の高精度測位により、異常箇所の抽出が効率化される。通常の保守業務や災害後の早期復旧のため、地上を歩いて線路の点検を行う場合、不具合箇所の伝達が

重要になる。準天頂衛星システム「みちびき」の高精度測位によって作業者を適切に現場に配置することができるようになり、点検・復旧作業が迅速かつ正確に行うことができるようになる。線路には、急カーブや分岐ポイントなど、速度制限がある場所が存在する。準天頂衛星システム「みちびき」の高精度測位によって、列車の走行位置が正確に特定できるため、こうした区間が迫る前に、運転士に適正な速度等を通告でき、自動減速も可能となり、安全性を高めることができる。(図 2-12)

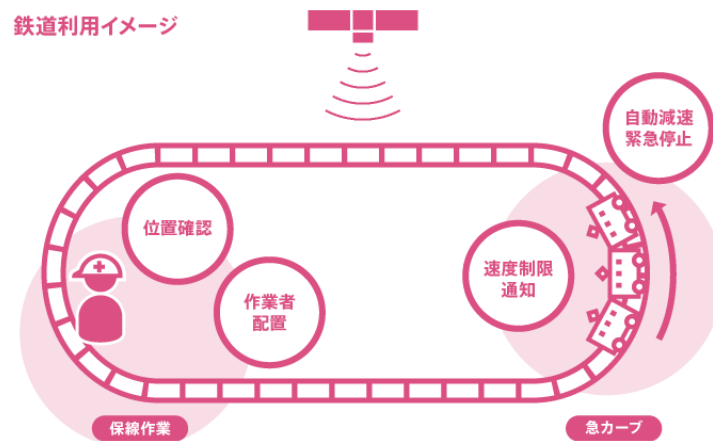


図 2-12：鉄道利用イメージ

航空・船舶航行における位置情報の把握が可能になる。陸上では、道路や建物によって位置を把握することができるが、船舶や航空機では、何らかの手段で位置情報を把握する必要がある。現在では、測位衛星を使った航法サービスによる位置情報の取得が主流となり、今やなくてはならないものになった。さらに、安全で正確な航行を支えるために、船舶や航空機向けに測位精度を向上させる補強情報を利用している場合もある。洋上には目印が少ないため、船舶にとっては GPS などの衛星測位が重要な航法手段となっている。特に、陸地に近い場所は船舶の往来も多く、浅瀬を避けるような正確な航行が必要となるため、準天頂衛星システム「みちびき」を使った高精度測位が安全な船舶航行をもたらす。遠洋では津波や台風の災害情報が入手可能となる上、日本近海では遭難時の救助要請も可能となる。航空機の航行においても、GPS などの衛星測位は活用されている。準天頂衛星システム「みちびき」は、高精度測位を可能とすることにより、航空機の安全な航行を支えていく。

最後に効率的な作業を促進するという点である。準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスでは、電子基準点から作成した補強信号を送信し、電子基準点を利用した測量をいつでも実施できるようになる。これにより、携帯電話が圏外となるような場所においても基準点測量を行うことが可能になり、測量作業が効率化される。また、高精度な測量を行って工事予定地の 3次元地図を作成し、遅延なく工事に入ることができるようになる。「情報化施工」が土木工事の行程を大きく変えていく。準天頂衛星システム「みちびき」のセンチメートル級測位補強サービ



スは、携帯電話が圏外となるような場所でも利用できるため、受信できる建設機械を工事現場で利用することにより、ブルドーザーの刃先軌道をセンチメートル単位で制御するといったことも可能とする。このため、設計図面に沿った繊細な工事を進めていくことが可能になるとともに、作業中も継続して行われる測位によって、図面どおりであることも随時確認できるようになる。(図 2-13)

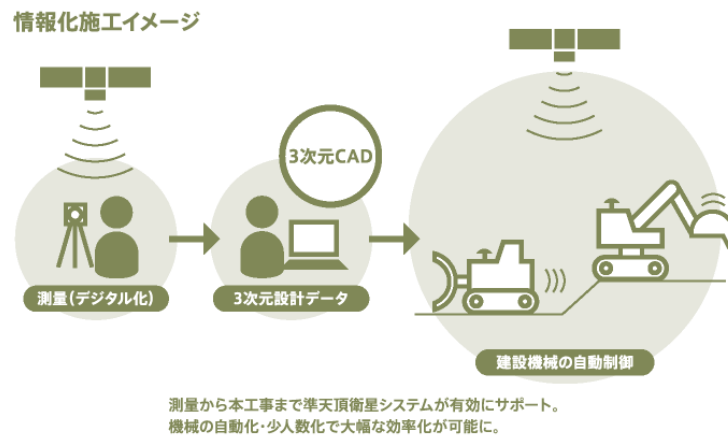


図 2-13：情報化施工イメージ

小規模農家が主体の日本や東南アジアの場合、種の種類、蒔いた日時、肥料・水の状況などの農地管理は、農家自身の記憶に頼って行われています。一方、米国や豪州の大規模農地においては、GPSなどの測位衛星を使って地域ごとの耕作状況を管理するIT農業が広く普及してきている。今後は、日本や東南アジアにおいても集約化によって管理農地が広くなり、測位衛星を使った農地管理が導入されると予想されるが、農地形状や地形が複雑であるため、位置情報を高精度に管理する必要がある。そこで、準天頂衛星システムの衛星測位サービスを利用し、今有名な一粒 1000 円のいちごなどといった高精度な IT 農業が実現できる環境を整備していく。また、農業人口の減少により、効率的な農業も求められている。準天頂衛星システムのセンチメートル級測位補強サービスを利用することにより、農機の自動運転が可能になり、少ない人員で大規模な農地を管理できるようになる。(図 2-14)

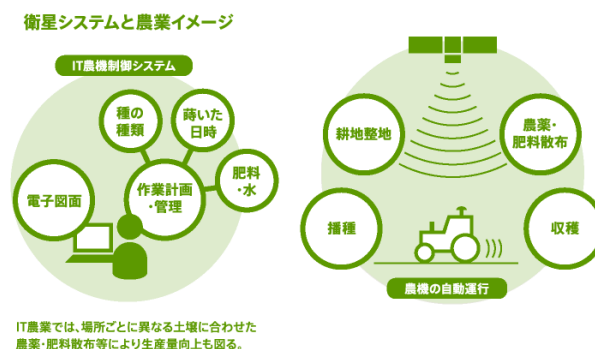


図 2-14：衛星と農業

## 2.4 災害危機通報

防災・危機管理の政府機関から、地震、津波などの災害情報、テロなどの危機管理情報、避難勧告などの発令状況について、準天頂衛星から送信するサービスである。このサービスは、利用者に災害情報などのメッセージを届けるサービスで、LIS 信号を受信することができる端末で利用することができる。LIS 信号は、衛星測位で一般的に利用している GPS や準天頂衛星の L1C/A 信号と同じ周波数で同じ波形のため、受信機の価格を安く抑えることができる。

災危通報は、最短 4 秒間隔で送信することを予定しており、バッテリーの心配があるモバイル機器の場合には、例えば 1 分間に 4 秒だけ測位受信機を作動させることにより、受信することができます。当面の間は、SNS での情報提供を行うなど、地上通信回線でも同様の情報を入手できる環境とする予定のため、モバイル機器においては、SNS をフォローすることでも災危通報と同等のサービスが受けられる。屋外においては、電源と接続している街灯、信号機、自動販売機などへの準天頂衛星受信機の設置を働きかけ、災害時等には屋外に設置されたスピーカーから避難状況をアナウンスすることも可能である。これにより、海水浴やマラソンなどの手ぶらで移動している人だけでなく、携帯電話を所持していない又は災害時で不通となっている人に対しても情報を迅速に伝えることができるようになる。また、学校、病院、図書館など、携帯電話を切ることが求められる環境においては、衛星が見える窓際やバルコニーに準天頂衛星受信機の設置を働きかけ、これにより災害情報などを迅速に知らせることができるようになる。災危通報は東南アジアやオセアニア地域でも受信することができる。現在は、気象庁が発表している遠地地震、北西太平洋津波情報、海上警報の送信を予定している。これに加え、海外では日本語の現地情報が得にくいこともあるため、大規模事故、テロ・暴動情報などについて、日本で収集した情報の配信を検討している。(図 2-8)

災危情報、つまり災害・危機管理通報サービスは地表において 1 機以上の衛星を仰角 10 度以上で可視となる範囲にサービスを提供する。図 2-16 に準天頂衛星 4 機のうち 1 機以上の準天頂衛星が可視となる範囲を示す。

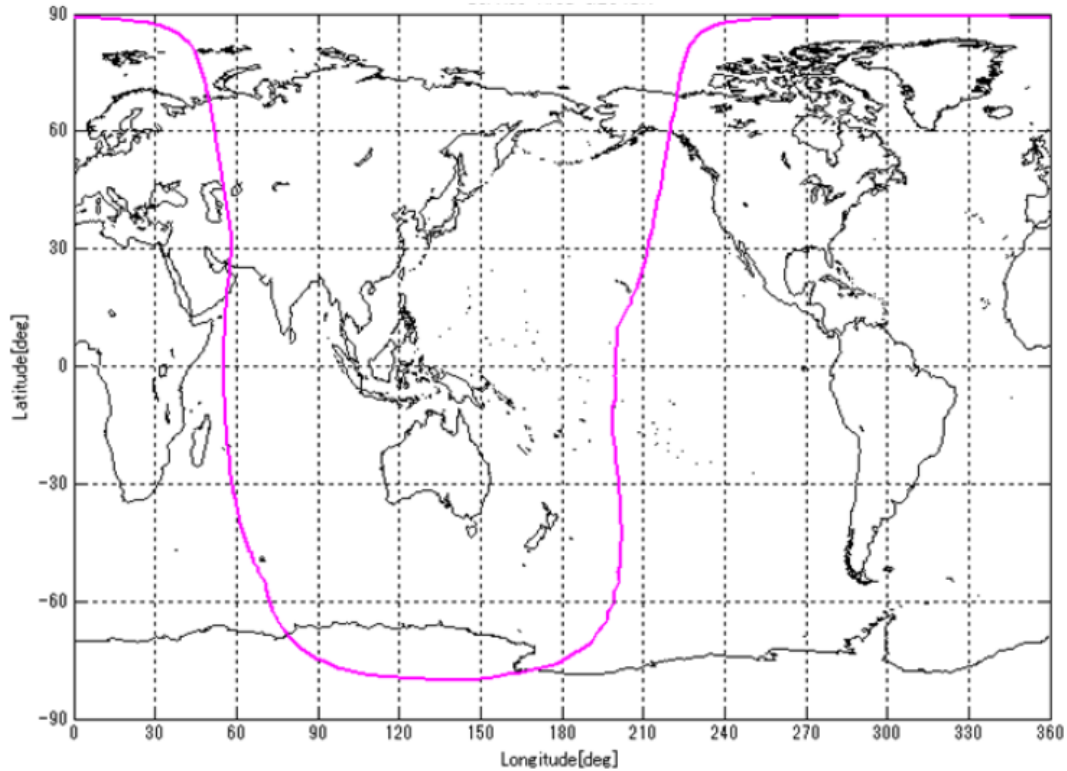


図 2-16：災害・危機管理通報サービスの有効範囲

コンステレーションサービスアベイラビリティは衛星 4 機のうち少なくとも 3 機の衛星がサービス範囲において正常な L1S 信号を同時に提供する確率を言う。これは 0.999 以上で満たされる。サブメータ級測位補強信号(L1S)の信号構造は以下に示すとおり。このメッセージ特性については SBAS と同一のビットレート及び符号化方式をもち同様の測位信号である。

周波数帯	信号名	変調方式	PRN コード名	オーバーレイコード名	メッセージ名
L1	L1S	BPSK	L1S	-	L1S

PRN コード名称	チップレート	長さ	周期	オーバーレイコード
L1S	1023[Mcps]	1023[チップ]	1[msec]	-

メッセージ名	ビットレート	シンボルレート	周期 (最小フレーム)	符号化方式
L1S	250bps	500[sps]	1[sec]	CRC 畳み込み符号

表 2-17：信号構造(上)、PRN コード特性(中)、メッセージ特性(下)

サブメータ級測位補強メッセージは 250 ビットから構成され図のフォーマットを持つ。データ速度は 250[bps]であるから、メッセージの伝送時間は 1 秒であり毎秒 1 個のメッセージが送信される。8 ビットのプリアンブルは 250 ビットメッセージの最初に送信されるビット 1 から始まり、続いて 6 ビットのメッセージタイプがビット 9 から挿入される。212 ビットのデータ領域はビット 15 から始まり、24 ビットの CRC パリティはビット 227 から始まる。メッセージの送信順序は規定されず、各 1 秒間にどんなメッセージタイプも送信される。

L1S 信号によって送信されるサブメータ級測位補強メッセージは正常時においては、各衛星より同一メッセージタイプを同一タイミングで送信する。ただし、障害などによりサブメータ級測位補強メッセージを衛星へアップロードできない場合は衛星ごとに異なるメッセージが送信される場合がある。送信周期は災危メッセージの最大メッセージ間隔は 1 分間に 4 秒、メッセージタイプは 43 か 44。メッセージタイプ 43 が災危通報もしくは気象庁防災情報である。

サブメータ級測位補強メッセージに含まれる情報にはそれぞれの特性に応じた有効期間が設定されている。送信されてから有効期間が経過した情報については以後の処理に使用しない。有効期間の計算の起点は当該情報が含まれるメッセージプリアンブルの最初のビットの送信が開始されるべき GPS エポック時刻の正秒の時点である。(N/A) 試験モードとして試験を行う場合にのみ最大送信間隔 6 秒で送信する。災危通報の通報区分と配信比率は以下の表のとおりである。

通報区分	配信比率									
最優先	20	20	20	-	20	-	-	-	-	-
優先	4	4	-	4	-	4	-	4	4	-
通常	1	-	1	1	-	-	1	1	-	1
訓練・試験	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4

表 2-18：通報区分と配信比率

災害種別コード	内容(気象庁防災情報)
1	緊急地震速報
2	震源
3	震度
4	東海地震
5	津波
6	北西太平洋津波
7	未使用
8	火山
9	未使用
10	気象
11	洪水

12	台風
13	未使用
14	海上

表 2-18：災害種別コード

通報区分	災危通報	
最優先	災害種別(気象庁防災情報)	条件
	緊急地震速報	-
	津波＊警報	津波警報 大津波警報 大津波警報：発表
優先	震源	-
	震度	-
	東海地震	東海関連情報番号：臨時の場合
	北西太平洋津波	-
	火山＊特別警報相当	防災気象情報要素：次のいずれかの場合 ・レベル4(避難準備) ・レベル5(避難) ・山麓嚴重警戒 ・噴火警報：避難等 ・噴火警報：当該移住地域嚴重等 ・噴火警報：当該山麓嚴重警戒
	気象＊警報	発表状況：発表の場合
	洪水＊警報	警戒レベル：次のいずれかの場合 ・はん濫警戒情報 ・はん濫危険情報 ・反乱発生情報
通常	東海地震	東海関連情報番号：終了の場合
	津波＊警報解除	・津波なし ・警報解除
	火山＊警報相当	噴火警報 火口周辺警報 噴火警報(周辺地域) レベル2(火口周辺規制) レベル3(入山規制) 火口周辺危険

	海上警報(噴火警報) 周辺海域警戒 噴火警報：入山規制等 火口周辺警報：入山規制等 噴火警報(周辺海域)：周辺海域警報 噴火警報：火口周辺警戒 火口周辺警報：火口周辺警戒
火山*警報解除相当	噴火予報：警報解除 噴火予報 レベル 1(平常) 平常 海上警報(噴火警報解除) 海上予報(噴火予報) 平常(海底火山)
気象*警報解除	解除の場合
洪水*警報解除	警報解除の場合
台風	-
海上*警報	海上着氷警報 海上濃霧警報 海上うねり警報 海上風警報 海上強風警報 海上暴風警報 海上台風警報
海上*警報解除	海上警報解除の場合

表 2-19：通報区分と災危通報

#### 2.4.1 サブメータ級測位補強サービス

衛星測位による誤差を減らすため、電離層情報などの誤差軽減に活用できるつまり衛星測位の補強のための情報であるサブメータ級測位補強情報を準天頂衛星から送信する。衛星測位の誤差の大きなものは、①衛星数が少ないことによる誤差、②電離層による誤差があるが、衛星数が少ないことによる誤差は、サブメータ級補強情報で改善できる誤差ではないため、誤差軽減に寄与する主な情報は電離層情報となる。

電離層による誤差は、2周波受信機を利用することで解消できるが、現状の2周波受信機はサイズが大きく、高価であることから、既存の1周波受信機を改良して利用することが望まれる。

サブメータ級補強を送信する L1 帯の L1S 信号は、一般に利用されている測位信号である L1C/A 信号と同じ形式の電波であるため、既存の受信機を改良することで受信することが可能である。一般に、GPS などによる 1 周波の衛星測位では、誤差は 10m 程度になると言われているが、サブメータ級測位補強により、誤差数 m で測位を行うことが可能となる。なお、データ処理及び送信に多少のタイムラグがあり、警報に時間を要するため、補正が遅れて測位結果が乱れる可能性がある。また、補強情報を送信する準天頂衛星だけでなく、補強対象となる測位衛星（GPS 又は準天頂）が見えている必要がある。このため、見える測位衛星の数がビルの谷間などで少なくなった場合には、規定の精度が出ない場合がある。このサービスは、主に歩行者・自転車や船舶などのタイムラグの影響を受けにくい利用者を想定しており、自動車で利用する場合には、運転の補助に利用するのではなく、ドライブレコーダーのように精度のよい位置情報を記録する場合に用いることができる。L1S 信号を受信することができる端末で利用することができるが、補強情報を常時受信し続ける必要があるため、モバイル機器で利用する場合には、バッテリーが課題となり、ハンディナビのような専用機器を想定している。なお、携帯電話の測位機能については、携帯電話基地局から独自の補強信号を送信している。このため、携帯電話でサブメータ級測位補強を利用する場合には、山間・海上部、災害時などで圏外になった場合の利用が中心になり、バッテリー消費の少ないシンプルな画面の機器への導入が考えられる。ここで使われている L1S 信号を受信することができる端末で災危通報を利用することが可能である。

水平精度	2m 以下	95%
垂直精度	3m 以下	95%

表 2-20 : L1S 信号サブメータ級測位補強サービス

水平	40m
垂直	50m

表 2-21 : 警報限界

信号名称	中心周波数	占有帯域幅	信号強度(x)
L1S	1575.42Mhz	24.0MHz(±12.0MHz)	$x \leq -149.5\text{dBW}$ 、 $-161\text{dBW} \leq x$

表 2-22 : L1S 信号について

円偏波受信で 0dBi の利得を持つ等方性アンテナを地上に設置し、仰角 5 度以上の衛星からの信号を受信した時の仕様値を示す。

#### 2.4.2 一般的な活用例

これは災害対策もしくはテロ回避つまり緊急時における災害情報の伝達手段として期待されており、具体的活用例として携帯電話など端末での表示、つまりアプリなどの利用が挙げられる。

#### 2.4.3 防災利用実証の背景

準天頂衛星システムの災害・危機管理通報サービス「災危通報」について、災害時における災害情報の伝達手段として活用が期待されています。そこで、利用者を巻き込んだ実証を行うことで、本サービスの有効性の確認を行った。災危通報の活用方法について長年 R&D を継続している RedRescue プロジェクトと共同で実証を行うことで、長年にわたり蓄積された実証実験の計画や実行や分析などの知見を活用し、実証を実施した。

#### 2.4.4 防災利用実証の概要

- ・実証は、横浜市みなとみらい地区にて実施
- ・周辺の指定避難所、避難場所を避難支援アプリを通じて参加者に情報提供

実施日	2014/09/11(木)11:00~18:00
想定災害	慶長型地震(M8.5)(津波災害を想定)
対象者	通勤通学、外出、観光など、字が位置にいて防災情報の修得が可能な人を想定
参加者	準天頂衛星システム利用者会員：19名
想定利用シーン	市街地を訪れるヒトに対し順次正確な防災情報を伝える
実施内容	スマートフォンに表示された防災情報及び避難支援アプリを頼りに最適な避難を実施
使用する災害情報	① 緊急地震速報 ②震度情報 ③津波警報 津波情報（津波到達予想時刻・予想津波高） ④大津波警報 津波情報（津波到達予想時刻・予想津波高） （上記の防災情報を順次配信）
実験パターン	② 危通報、避難支援アプリともに不使用（被験者：4名） ② 災危通報のみ使用（避難支援アプリ不使用）（被験者：5名） ③ 避難支援アプリのみ使用（災危通報不使用）（被験者：5名） ④ 災危通報、避難支援アプリともに使用（被験者：5名）
検証項目	・ 災危通報の有効性の検証 ・ 地図等の提供コンテンツの差による検証
使用機器	スマートフォン

表 2-23：防災利用実証の内容





図 2-24：横浜市みなとみらいとアプリで情報提供した避難場所

■津波緊急避難所	■広域避難場所
A.日産自動車本社	a.みなとみらい臨港パーク一帯
B.パシフィコ横浜	b.紅葉丘一帯
C.ヨコハマグランド インターコンチネンタルホテル	c.野毛山公園
D.ナビオス横浜	d.山下公園
E.開港記念会館	e.横浜公園
F.横浜第二合同庁舎	
G.クロスゲート	
H.横浜桜木町ワシントンホテル	

表 2-25：各避難所の名称

実験パターン	①	②	③	④
災害情報	×	○	×	○
避難支援アプリ	×	×	○	○
参加人数	4	5	5	5

表 2-26：実験パターン

#### 2.4.5. 防災利用実証の結果

実験は限られた人数で実施しており、参加者の属性の偏りも存在している上での結果となる。

- ① 災危通報、避難支援アプリともに不使用



図 2-27 : ①の避難状況

- ・ 海岸付近の地震のため、参加者全員が津波の心配をしており、高い建物に避難を実施している
- ・ 災害情報を得るために防災無線の屋外スピーカー近くの建物に避難を実施している人もいる

② 災危通報のみ使用 (避難支援アプリ不使用)



図 2-28 : ②の避難状況

- ・ 全ての参加者が災危通報による行動の誘発性を評価している
- ・ 避難行動のトリガとして使用している。
- ・ 避難には災危通報だけでは情報不足という意見があった

③ 避難支援アプリのみ使用 (災危通報不使用)



図 2-29 : ③の避難状況

- ・ 海岸付近の地震なので、参加者全員が津波災害の心配をしていた
- ・ 全員が高い建物に避難を実施している
- ・ 津波災害の想定から、避難支援アプリの避難所を確認する
- ・ 津波指定避難所への避難行動を実施している

④ 災危通報、避難支援アプリともに使用



図 2-30 : ④の避難状況

- ・ 全ての参加者が災危通報による災害情報と避難支援アプリの避難所を確認し、避難行動を実施している
- ・ 全ての参加者が災危通報による行動の誘発性を評価しており、避難行動のトリガとして使用し

ている

- ・一部の参加者について、災危通報による津波情報をトリガに、自分の位置からもっとも近い津波緊急避難所に逃げるよう判断している

#### 2.4.5 考察

災危通報による災害情報の配信は、被災者が避難行動するための誘発性を発揮できると先の実証で考察できた。また、災危通報による災害情報の配信に加え、避難場所の情報など避難行動につながる具体的な情報が提供できれば、より有効な避難行動の促進が可能になると考察した。

災危通報は先に述べたようにまだ検討中であるのでまだ構想中だが、具体的には災害や危機的状況に陥った際に携帯などには注意の呼びかけが行われるようにしているらしい。もしくは、災害地から離れるように誘導されるのかもしれない。

### 3章 自律型移動体の現状

準天頂衛星システムのサービスをうまく活用することで、災害時にうまく誘導することができる可能性がある。だが、より良い導き方を見つけるため、またなるべく避難に対する最善策を早く立ち上げるために人が動かないままで様子や状態といった情報を集めることが重要である。そこで空を狩る UAV(無人航空機)に水面に行く小型ボートなどさらに手軽に動かせるラジコンカーなどと言った移動体の出番となる。これらの移動体を使用することに対するメリットは自らが災害事故などの危険な場所に向かず状態を確認することで操作者の安全性を保つ事が出来ることである。また、これらの移動体が自律的に情報収集を行わせることで、他の作業と並行に行うことが出来るようになる。

#### 3.1 UAV

小型の無人飛行デバイスをスマホで操作する事で、撮影や物流に今までに無い方法が可能となる。これまでは不可能だと考えられていた様々な事柄がドローンの出現で実現される日も近い。しかし、多くの人々がドローンの造り出す未来へ盛り上がりを見せる一方で、フランスの原発に謎の違法飛行ドローンが相次いで訪れるなど、物騒なニュースもここ数ヶ月で目にするようになった。法規制やプライバシーなど多くの課題も挙げられているが、ドローンは今後どんな可能性を秘めているのだろうか。ドローンとは一言で言うと無人で飛行することが可能な航空機のこと。最近ではスマホやインターネットと連動する事により、その利用用途が広がっている注目のテクノロジーデバイスでもある。大きさは手のひらサイズのものから、軍用に使われる本格的な航空機サイズのものまで様々で、農業から軍用まで広範囲に渡る分野での活躍が期待されている。またドローンのもたらす経済効果は2025年までにアメリカ国内だけで8兆円を超えると試算されている。



図 3-1 : ドローン

もともとは軍用に開発されていたドローンであるが、消費者向けに商業用に開発され、既に



技術的な課題をクリアしていることから、実際にどのようにドローンが今後活用されていくのかが見えてきた。その活用事例を紹介する。

### ①災害救助

山で事故などが起きた際に救助隊が、被害者の元まですぐにたどり着けないような光景をニュースなどで見た経験が1度はあるのではないだろうか。仮にいくら道路環境が整っていたとしても緊急時にその道路が使えるとは限らない。また被害者がまだ見つからない場合はさらに事が深刻で、ヘリコプターで何日も探しても見つからないことさえある。そんな緊急時の災害に、ドローンは役立つ。

過酷な搜索環境はときに救助者側にとってもリスクである。しかしドローンは猛暑や放射線などの人間にとって過酷な環境に負けない耐性がある。また、多くの瓦礫によって人がいるのか判断しづらい状況においても、広い視野を持ち搜索を難なく行うことが出来る。



図 3-2 : UAV で撮影された映像で左が屋内、右が屋外

### ②地球上のあらゆる自然環境のリサーチ

ドローンの特徴的なポイントの1つは操作性の良さである。さらにプロダクト自体が比較的小さいこともあり、人間では入り込めない狭い場所にいとも簡単に侵入出来る。野生動物を題材にしたドキュメンタリー番組は、1つの動物に密着することから始まり、最終的には感動のシーンを撮影出来るものであるが、そのプロセスは時に多くの危険を及ぼす。しかしドローンを使えば、通常では撮れないような動画を安全に撮影可能。またリサーチへ活用法は自然動物の撮影だけに留まらない。環境におけるとても小さな部分を定点監視することにも活用できる。実際に NASA は試験的にドローンを既に上空に飛ばし、水蒸気とオゾン層の反応を観測している。将来的には、科学者が地下にドローンを送り込み、今まで見た事が無かった地球の一部を見ることが出来るようになる。



図 3-3 : UAV から動物たちを撮影した写真

### ③ジャーナリズムへの活用

ミズーリ州のデザイン学校で、J-bots と呼ばれるドローンを利用して、情報収集を目的としてドローンの操作方法を教える授業が始まった。特殊な天候や、災害など簡単に動画が撮れないような場所がドローンを用いた取材対象となる。ジャーナリズムにおいては従来では報道ヘリとカメラマンが必須であったが、ドローンがあればもう必要ない。

### ④アクロバットなスポーツの撮影

実はスポーツの撮影にも使える。GoPro(カメラのブランド)によってその人の体験を映した映像が話題になったが、ドローンが見せる映像はまた異なる。通常では届かないだろう高さからの撮影が簡単に可能になり、アクロバットなスポーツを映す事が出来る。GoPro+ドローンテクノロジーを組み合わせた Nixie の様なデバイスも発表されており、今後スポーツの撮影が別次元に進化する可能性がある。

### ⑤短時間でモノの配達

Amazon が配達用のドローンを開発すると公表したとき、多くの人が熱狂したのは記憶に目覚ましいだろう。しかしその後、実際にドローンが自分の家の敷地内を飛んでいたらどうするかとアンケートを取ったところ、多くが撃ち落とすと答えている。それを考慮にいと、まだまだ市場がドローンに準備出来ていないのかもしれない。しかし配送業界はドローンが普及することで圧倒的に効率が増すことが明らかな数少ない業界である。今後ドローンが配送業界にイノベーションを起こしていくのはやはり時間の問題だろうと考えられる。オンラインでオーダーした商品が 30 分で家まで届く未来はすぐそこまで来ている。

### ⑥3次元の空間を自由に使った広告

ドローンによって、今までになかったユニークな広告が可能になる。実際にロシアのモスクワでは、アジア系レストランがドローンに昼食の広告チラシを載せて、オフィスビルの前をランチタイム直前に飛び回った。この広告手法は大成功し、これ以降ドローンを用いた広告は“drone-vertising”として知られることになる。



図 3-4： 広告チラシを載せてビル周辺を飛び回る

### ⑦ドローンを用いたレースやバトル

ドローンはエンターテインメント性も兼ね備えている。人々がお互いを直接傷つける事なく空中でバトルやレースなどで競争できる。既に一部の人は” Drone Combat” (ドローンバトル) という名称でスポーツのイベントを開催している。今年開催されたメーカーズフェアでは自作のドローンを用いてメインアリーナにてバトルが行われた。ルールはシンプルで、最後にまで飛び続け、空中に残ったドローンが勝ちというものだ。



図 3-5： ドローンバトル

見てもらうと明らかなようにまだステージの形がしっかり決まっていないことや、ずっと見ていて楽しいものかと言われると微妙なことなど、まだまだ課題点も多いのもまた事実。しかし今後長い目で見てみると数十年後には誰もが見るスポーツへ大化けする可能性を秘めている。たとえば農業分野において農薬散布などで活躍している UAV だが、カメラと GPS を用いることでより撮影した場所の正確な位置情報と時間、状態を知ることができるだろう。また UAV にマイクやライトを掲載することで注目を集め目印とし誘導することで、より迅速な避難勧告や避難者の誘導が行えるようになる。

### 3.2 小型ボート

波が大きく水面が非常に不安定な場合は人が乗れないくらい小さな小型ボートや小型潜水艇を使って水面下の情報を集めることが可能である。特に深海などと言った人が直接行動しづらい場所には音波センサーの反射を利用することで直接目視しづらい海底状態を画面に表示することで



海底を知ることが可能としている。海の上や水面航行が可能な船を使って以上のようなことを行っている。代表的に株式会社トップライズ、株式会社コデンなどがあげられる。

水上面において明らかに動きやすいのは現段階で船である。特にダム湖や河川、海岸付近の水深や水底の地形を測る「浅深測量」などにおいては、小型ボートを現場まで運んだり、人が標尺を持って水中に立ったりと、大変な手間と労力が必要な仕事であり面倒事である。

自律型ボートは、大震災・津波・原発事故に対して、海からの視点、特に海中システム技術・海洋環境管理技術の観点から、中長期的な研究開発の立場にもとづき、救援・復興体制、防災対策、原発事故後の海洋監視体制について、技術的検討を行うことが目的であり、最終的に技術提言書をまとめることを最終目標としている。具体的には、救援・復興体制については、海中システム技術・海洋環境管理技術に関するものとして、震災直後から復旧までの水中の映像データ・測量データ・環境データを安全に取得するシステム（センサー技術を含む）と、沿岸域の生態系被害と回復状況の調査法、流動モデルと生態系モデルを組み合わせた環境影響評価、海洋環境の修復技術、について検討する。また防災対策として、漂流ガレキの追跡などについて検討する。原発事故後の海洋環境監視体制として、海底土や底生生物を含めた広範囲にわたる三次元的環境モニタリングについて検討する。

ある工学会では、中長期的な研究開発の立場から、特に海中システム技術・海洋環境管理技術に焦点を絞り、救援・復興体制、防災対策、原発事故後の海洋監視体制について、海中システム技術と海洋環境管理技術の調査研究を一体化させて、海中システム技術の活用の提言や海洋環境影響評価と調査の報告を行う。これまで、世界的に、大震災・津波・原発事故に対する救援・復興体制、防災対策などについて、海中システムと海洋環境管理を一体化させ、系統立って議論されたことがなく、独創的であると同時に社会的意義がある。

自動航行するロボット貨物船を開発する「MUNIN」プロジェクトが、EU の支援を受けて進められている。オペレーターひとりで 10 隻まで操舵できる可能性があるものだ。



図 3-6：ロボット貨物船「MUNIN」

なお、MUNIN（ムニン）という名前は、北欧神話の神オーディーンに付き添うワタリガラスの 1 羽、ムニン（記憶）にちなんでいる。ドイツのハンブルクで開催された海運カンファレンス「SMM」で 9 月 10 日（現地時間）、「プロジェクト MUNIN」のワークショップが行われた。これは EU が支援する研究プロジェクトで、港から港まで無人で航海できる「ロボット船」を開発しようというものだ。MUNIN を主導するのは、Fraunhofer Center for Maritime Logistics and Services（海洋ロジスティクスとサービスのためのフラウンホーファー・センター）の研究者らだ。自律航行船には、

いくつかの利点があると期待されている。まずは効率性である。研究者らによると、陸上のコントロールセンターから毎秒 3~4 メガビットで各船と通信することで、オペレーターひとりで 10 隻まで操舵できる可能性がある。さらに研究者らは、ロボット船を自動反応にしてスピードを抑えることで、衝突などの海上の事故が減少すると主張している。ノルウェー海洋技術研究所のエルヌルフ・レドセスによると、海の事故の 75% はヒューマンエラーが原因なのだという。さらに、エネルギー消費量が減少することも期待されている。船上で必要な照明が減り、乗員のために必要な淡水製造もなくなるからだ。MUNIN の自律航行船は、一部の古い船で使われているディーゼル燃料（「バンカー油」）ではなく、天然ガスで発電を行う電気推進だ。これにより保守整備の必要性が減り、システムが故障しても船を動かし続けられる冗長性が得られるだろう。無人の船はハイジャックされにくいだろうから、海賊対策にもなるかもしれない。ただし、2~3 週間かかることもある貨物船輸送において、通信環境が故障したり、センサーのデータが失われた場合、乗員なしでの対処は難しく、航行が不可能になるかもしれない。近い将来に完全な自律型船が商用利用される見込みはないとはいえ、MUNIN プロジェクトの諸技術が、既存の船に利用される可能性はありそうだ。

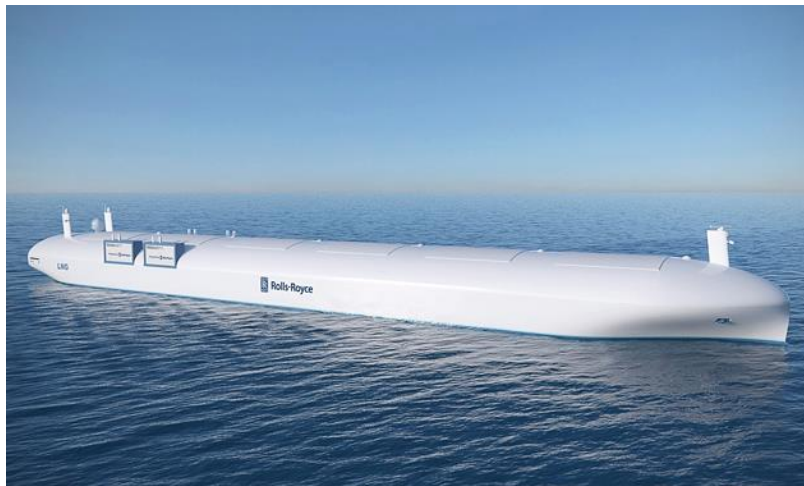


図 3-7 : ロボット船のイメージ

飛行機や自動車の分野ですでに実現している「無人の操縦や運用」について、中国メディアの新民晩報は 24 日、数十年後には無人船が世界の遠洋貿易を担うかもしれないとし、欧州連合（EU）のほか韓国が「無人船」の開発を行っていることを紹介した。記事は、航空用エンジンや造船を手がける英国のロールス・ロイス社の関係者の発言として、「海運業を徹底的に変える時期がすでに到来している」とし、「ロールス・ロイス社は人間が操舵する時代が終わり、無人船の時代が訪れると確信している」と伝えた。さらにロールス・ロイス社は「船に搭載された遠隔コントロールシステムを用いて操舵するという“無人船”を想定している」とし、10 年以内に運用開始を計画していると報じた。

続けて記事は、「人間が操舵する場合に比べ、無人船は人件費を抑えることができるうえ、船員の休憩室や食品倉庫も不要となるため燃料も少なく済む」と紹介した。ロールス・ロイス社の

試算として、無人船は従来の貨物船に比べて運航効率が 20%上昇し、さらに二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 排出量も 20%削減できると伝えた。当然ながら無人船の運航においては安全性がもっとも重要な要素となるが、記事はロールス・ロイス社の関係者が「海運事故の多くは船員の操作ミスをはじめとする人為的なミスが原因」と指摘したことを伝え、無人船であれば事故の数を 2/3 に減らすことができると語ったと紹介した。すでに多くの国が無人船の実現に向けて研究・開発を進めている。EUは過去2年で480万米ドル(約4億8900万円)を関連プロジェクトに投下しているほか、韓国政府は2011年、海洋研究や海上パトロールに使用するための無人船開発のために200億ウォン(約20億円)を投下すると発表している。

無人ボートでの大会も国内で開催されている。クルーレス・ソーラーボート大会は、毎年夏に琵琶湖で開催され今年で第18回大会を迎える。クルーレス・ソーラーボートとは、「太陽(電池)を動力として、乗組員が乗船せず、自律航行する船」のことである。普及部門と先端技術部門の2部門で行われる。普及部門では自律航行ではないクルーレス・ソーラーボートで、25mプールの直線タイムを競う。先端技術部門では、GPSにおける自動操舵システムを持つクルーレス・ソーラーボートで、琵琶湖を舞台に約20kmのタイムを競う。本研究に関係があるのは後者の部門である。

### 3.3 自律型乗用車やラジコンカーなど陸上移動車

現在、世界中の自動車メーカー各社が交通事故を無くすという課題に取り組んでいるが、その中の筆頭が自律走行自動車である。情報技術の発達によりコンピュータが周辺を判断し走行する自律走行自動車が可能になりつつある。これらは主に画像処理やGPS、レーザーセンサなどを複合することで自律走行する。例えば米Googleはトヨタ自動車のプリウスをベースとした自律走行車を試験開発している。2012年5月にはネバダ州において公道での運転試験が許可され、更にはカリフォルニア州でも実験中の自律走行車が目撃されている。また、2012年8月には自律走行車の試験運転距離が48万キロを無事故で走破しており、特許の出願もしている。また、英国リカルド社主導により自動伴走技術SARTRE(環境に配慮した安全なロードトレイン)というプロジェクトが行われている。ロードトレインはプロのドライバーが運転する先導車があり、その後ろに数台の自律型自動車が続く形がとられており、まさしく路上の電車である。安全で環境にやさしい交通システムを目指すためのEU第7次枠組み計画の一環として欧州委員会によって出資も受けており、自動車メーカーのボルボ社も参加している。ロードトレインの公道実験では、バルセロナ郊外の高速度道路で一般車が走行する中で実験を行い200km走破している。随伴してくる後続車にはカメラやレーダー、レーザーセンサなどの機能を含む既存の安全システムを搭載し、前後の自動車をモニターする。また、各車両でワイヤレス通信を行うことで先導車の加速度やブレーキ状況をモニターしその動きを模範することで正確な随伴走行を行っている。SARTREプロジェクトのロードトレインまたはトヨタ自動車系列のレクサスが、同社の大型セダンLSをベースとして開発した自律走行車であり、アメリカ・ラスベガスで開催されたコンシューマエレクトロショーで披露された。これはステレオ型ハイビジョンカメラを取り付け前方監視を行い、GPSで

車両の向きや角度を検出する。さらに 360 度レーザー-tracking 技術を採用し、周囲の状況を監視する。この自律走行車は、これらのセンサー類で自律走行しつつ地図データを取って技術の蓄積をしており現在も開発を続けている。このように自動車業界だけではなく様々な企業が自動車の安全に対して自律走行車両の研究開発を行っているが、これらは実験段階であり実用化にはいたっていない。スマートフォンと連動したものも多くある。

## 4章 GPS・QZSS ロボットカーコンテスト

### 4.1 卒業論文で製作した自律型ロボットカー

#### 4.1.1 ロボットカーの機構

ロボットカーの機構には駆動輪 (drive wheel) と操舵 (steering) の機能が不可欠である。

#### 4.1.2 ロボットカーの構成

今回のロボットカーの構成 (図 4-1) としては、パソコンから自律走行の指示をだし、RC レシーバから、マイコンで指示を受ける。そして、GPS 受信機で位置、速度、方位 (進行方向) を測定し、マイコンの制御アルゴリズムに情報を与え、操舵角や速度をサーボによって制御する仕組みになっている。また、マイコンは1秒ごとにGPS 受信機から位置と方位角情報読み込んでおり、読み込まれたデータをプログラムの中でロボットカーの速度にかかわらず 20ms 毎に更新するように設定してある。(図 4-2)

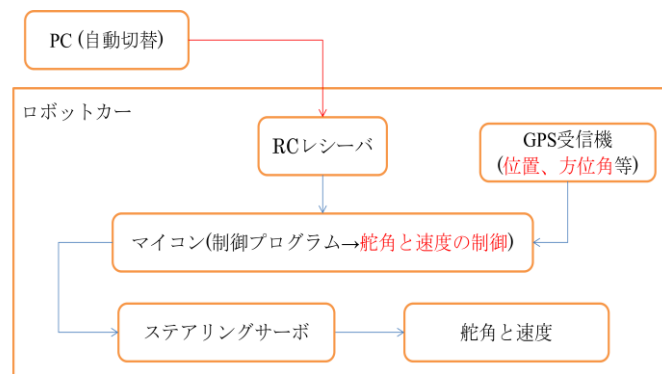


図 4-1 : ロボットカーの構成

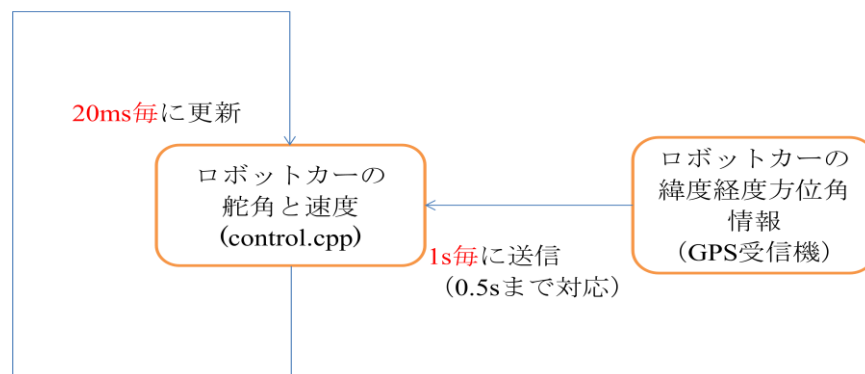


図 4-2 : マイコンのプラットフォーム

#### 4.1.3 ロボットカーの外装

ロボットカーの外観は車体をラジコンカーにし、ロボットカーを制御するマイコン、GPS 受信機、無線モジュールを設置している。使用したラジコンカーは「MIDNIGHT PUMPKIN」タミヤの電動 RC カーである。マイコンには英国 ARM 社が開発/運営している NXP LPC1768 チップを搭載した DIP40pin の基板を用いた。また、GPS 受信機の製作には u-blox 社の u-blox 6T を使用した。(図 4-3)



図 4-3 : ロボットカーの写真

#### 4.1.4 マイコン

複数の電子部品を組み合わせたものではなく単一のLSI（電子部品）、もしくはCPUである。形状は正方形あるいは長方形の板状で四方あるいは下面から多くの足が出ている。CPUはコンピュータの代表であるパソコンにも入っており、プログラムを実行するものである。そのプログラムは、ある入力に対して様々な計算や条件判断を行い、何らかの出力を行う。今ではマイコンは単一のLSIを示す名称だが、1980年頃にはそのLSIをマイクロプロセッサ(MPU<Micro Processing Unit>)と呼びマイコンとは呼ぶことはなかった。しかし、マイコンという用語は存在していた。マイクロプロセッサを利用した個人用小型コンピュータ（電子計算機）を指してマイクロコンピュータ、略してマイコンと呼んでいた。そのころ8ビットのパーソナルコンピュータつまりパソコンは世の中に出たばかりで一般的にはマイコンと呼ばれていたが、16ビット機が各家庭に普及し始めると個人用小型コンピュータはパソコンと呼ばれるようになり、パソコンのことをマイコンと言うことはなくなった。小型マイクロプロセッサは進化を遂げてほとんどのものがメモリやI/Oインターフェースなどの多くの周辺の電子回路を取り込んだLSIに成長し、単なるマイクロプロセッサではなくなってしまったことで、よりコンピュータに近くなった。パソコンは汎用性を高めるため様々な機能が含まれており、大きさや価格など制約が出来る。この問題を打開するために、マイコンが使用される。一般的には使用用途に合わせて基板を開発し、マイコンを実装する。マイコンを使うことで必要最小限の構成になり、大きさや価格を抑えることができる。パソコンとマイコンの大きな違いとして、CPUとしての処理能力が違う事が上げられる。また、パソコンはマイコンに比べて単位時間当たりの命令実行数が多くなる。つまり、パソコンのCPUが速いのだが、使用用途を考慮した場合に速いCPUが必ずしも良いとは限らない。速いCPUの特徴として

消費電力が大きいことと高価である事が上げられる。処理能力が高くなるが、同時に消費電力も高くなる。パソコンで使われているCPUは数千円から数万円の価格で販売されているが、マイコンになると数百円またはそれ以下という価格でも購入可能になる。

#### 4.1.5 mbed

今回製作したロボットカーに使用したマイコン。ARM 社による小規模マイコン普及のための実験的プロジェクトでマイコンボードの名前でもある。またマイコンを使って高速プロトタイピングを行うツールで、mbed マイクロコントローラ、mbed コンパイラ、mbed ライブラリ、mbed ウェブサイトで構成されている。高速プロトタイピングとは、アイデアをいち早く形にして、必要な機能を実装しより具体的な使用検討を行うことである。開発環境構築の手間、組み込み開発の煩雑さを省略、チップ依存部分を抽象化し、問題解決に集中できる。ARM 社をメインスポンサーとして、NXP が協力している。USB 給電で動く小型マイコンボードのプログラムを、WEB アプリで開発する。IDE がブラウザ・アプリケーションであり、プログラムのダウンロードは USB マスストレージ経由なので OS を選ばない。また、基本的な機能がはじめからモジュールとして提供されており、生産性が高いと言われる。

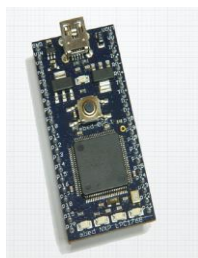


図 4-4 : mbed のマイコンモジュール

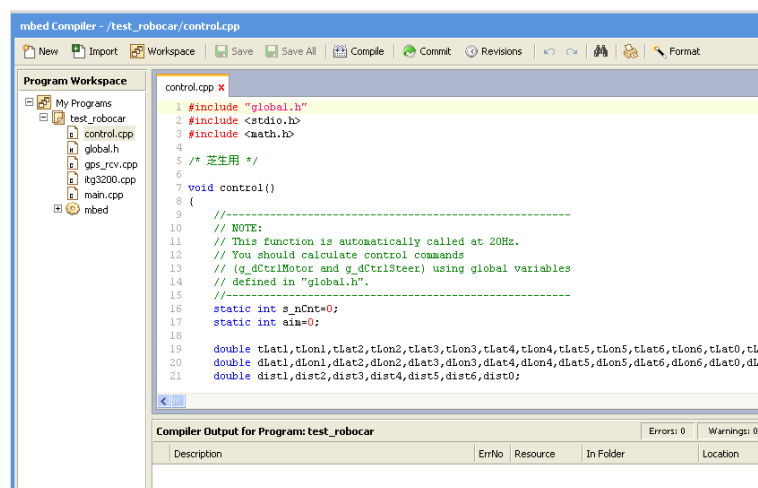


図 4-5 : mbed のソフトウェア



#### 4.1.6 control.cpp の内容

##### ①目標位置指定と現在位置計測 (設定した目標位置と GPS 計測した現在地)

現在位置を  $N(f, g)$ 、目標位置を  $P(\alpha, \beta)$  とおく(図 4-6)。

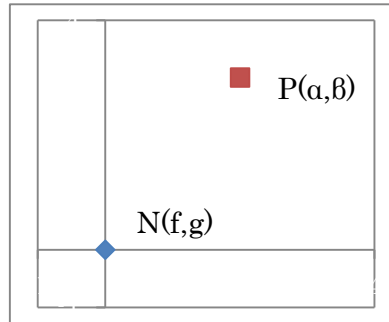


図 4-6 : 目標位置指定と現在位置計測

##### ②目標位置までの距離計測 (現在地~目標位置間の距離)

現在地から目標位置までの X 方向の距離  $x(m)$ 、現在地から目標位置までの Y 方向の距離を  $y(m)$ 、現在地から目標位置までの直線距離  $d(m)$ 、緯度一度間の距離(m)=111319.49 とすると(図 4-7)

$$y = (\alpha - f) \times 111319.49$$

$$x = (\beta - g) \times \cos(f \times \pi \times 180) \times 111319.49$$

$$d = \sqrt{x^2 + y^2}$$

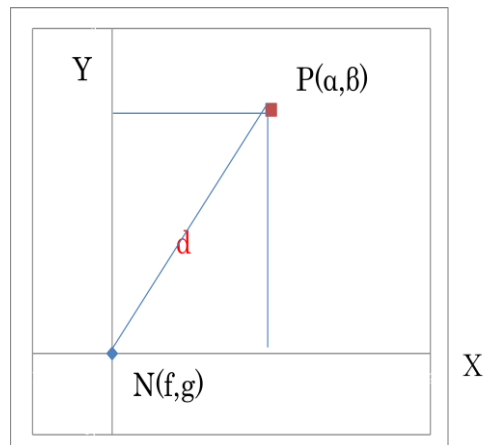


図 4-7 : 目標位置までの距離計測

##### ③方角計測 (現在地から目標位置への方位)



現在地から目標位置の方位角を  $\theta_t$  (rad) と、真北を基準とし時計回りに増える時、 $0 \leq \theta_t < 2$  である。

目標位置が現在地に対し、第一象限( $x \geq 0, y \geq 0$ )に位置するならば (図 4-8)

$$\theta_0 = \arctan \left[ \frac{x}{y} \right] \text{ とし、}$$

$$\rightarrow \theta_t = \theta_0$$

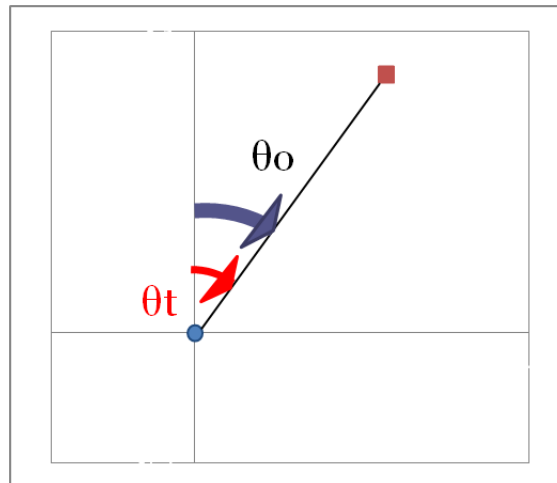


図 4-8 : 目標位置が第一象限にある場合

目標位置が現在地に対し、第四象限( $x \geq 0, y < 0$ )に位置するならば(図 4-9)

$$\rightarrow \theta_t = \pi + \theta_0$$

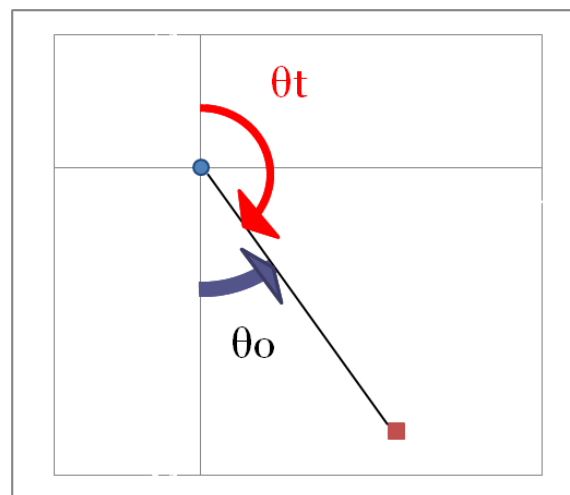


図 4-9 : 目標位置が第四象限にある場合

目標位置が現在地に対し、第三象限( $x < 0, y < 0$ )に位置するならば(図 4-10)

$$\rightarrow \theta_t = \pi + \theta_0$$

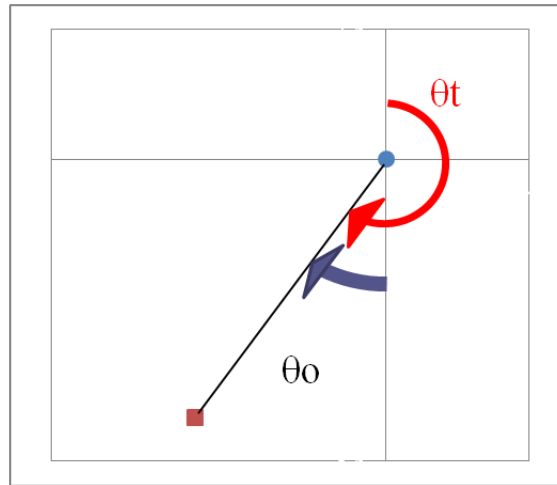


図 4-10 : 目標位置が第三象限にある場合

目標位置が現在地に対し、 $(x < 0, y \geq 0)$ に位置するならば(図 4-11)  
 $\rightarrow \theta_t = 2\pi + \theta_0$

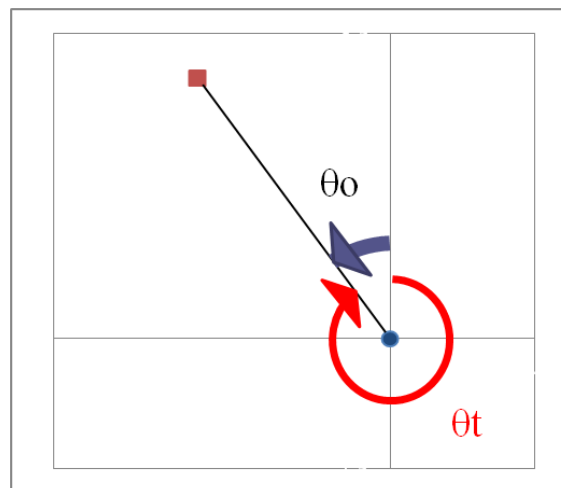


図 4-11 : 目標位置が第二象限にある場合

④方角確認と舵角決定 (車の正面方位と目的方位との差)

ロボカーの正面方位を  $\theta_r(\text{rad})$ 、 $\theta_t$  から  $\theta_r$  までの差を  $\theta_d$ 、車の正面から目的地までの角度を  $od(\text{rad})$  とする。(図 4-12)

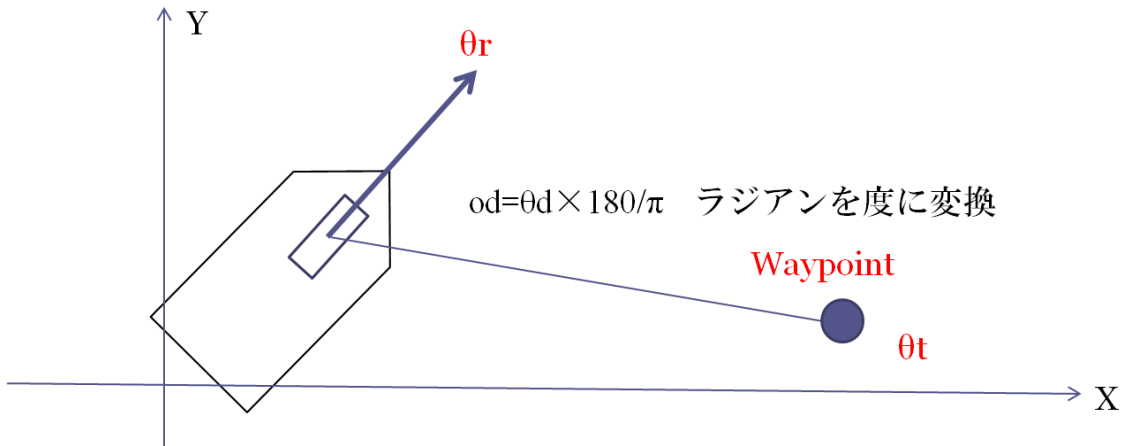


図 4-12 : ロボットカーと Waypoint の関係

$-\pi < \theta d \leq \pi$  の時は、 $od = \theta d \times \frac{\pi}{180}$  と考える。

ロボカーに設定する舵角 = S とした時、ゲイン K を設定しする。ただし S は od ではない事に注意する。

$$S = \pm A \times \frac{|od|}{180}, K = \frac{|od|}{180}$$

A は定数で±側の方位に符号が対応。A の値はラジコンカーへの舵角設定量と実際の曲がり方を繰り返しテストし決定した。ゲインを設定した理由は曲がりすぎないようにするためである。

$od \geq 9$ の時、舵角は右 $od \leq -9$ の時、舵角は左 $-9 < od < 9$ の時、舵角は正面	}	と決定する。(この時±9度未満では直進を指示している)
---	---	-----------------------------

現在地から目標位置までの距離が 2 m 以下の時は次の目的地に設定を変更する。プログラムでは①～④の作業を車体速度にかかわらず 20ms 毎に繰り返している。

#### 4.1.7 アルゴリズム

つまり、ロボットカーの制御をアルゴリズムにするとこのようになる。(図 4-13)

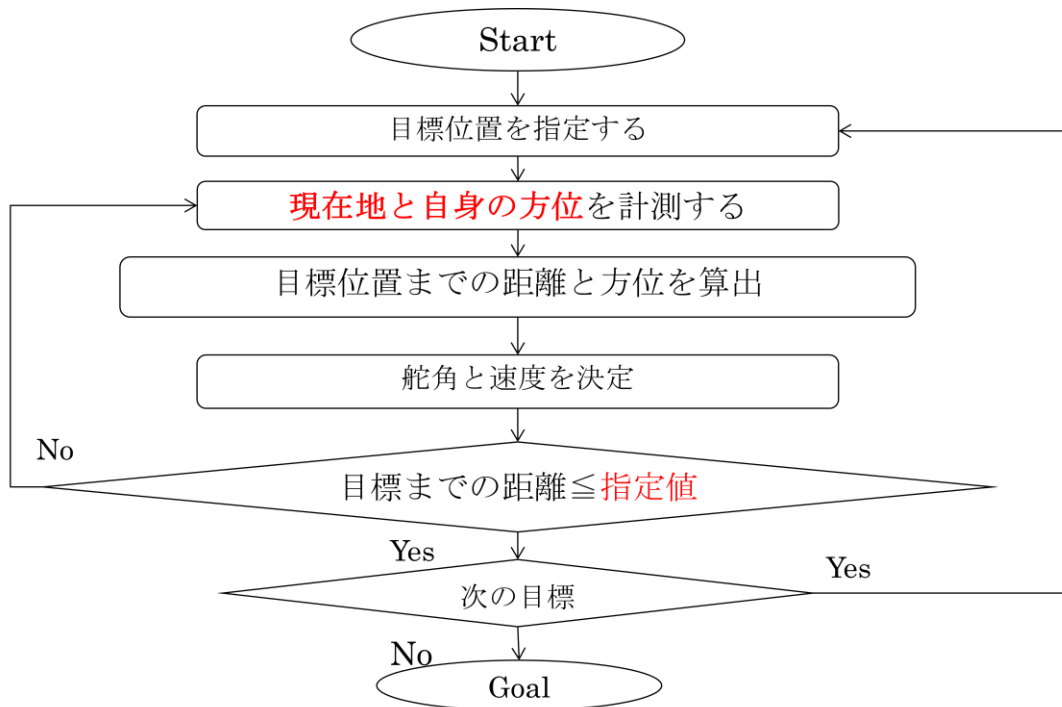


図 4-13 : アルゴリズム

## 4.2 準天頂衛星を介した災害情報の受信

### 4.2.1 QZPOD

- ・ 準天頂衛星システム災害通報のデコード

ロボットカーコンテストで QZSS から配信された災害メッセージは、L1-SAIF 信号に重畳され 6 秒おきに送信された。したがって L1-SAIF 信号が受信できる受信機であれば災害メッセージを受け取ることができる。ここでは L1-SAIF 信号を受信できる受信機として、今回ロボットカーコンテストで実際に使用した SONY 製の QZPOD を取り上げる。ロボットカーコンテストで配信された災害メッセージのデータ形式を表 4-14 に示す。また、実際の受信メッセージとその誘導経路を図 4-15 に示す。

テストデータ1		テストデータ2		意味	バイト数
16進	10進	16進	10進		
07DE	2014	07DE	2014	ロボットカーコンテスト2014	2
02	2	02	2	チームごとに割り当てられる配信No.	1
07	7	07	7	A(緯度)方向ユニット数	1
03	3	03	3	A(緯度)方向ユニットサイズ(m)	1
07	7	07	7	B(経度)方向ユニット数	1
03	3	03	3	B(経度)方向ユニットサイズ(m)	1
03	3	03	3	目的ユニット数	1
01	1	01	1	スタートユニットA方向座標	1
01	1	01	1	スタートユニットB方向座標	1
07	7	05	5	第1目的ユニットA方向座標	1
05	5	07	7	第1目的ユニットB方向座標	1
02	2	06	6	第2目的ユニットA方向座標	1
06	6	02	2	第2目的ユニットB方向座標	1
05	5	02	2	第3目的ユニットA方向座標	1
02	2	05	5	第3目的ユニットB方向座標	1

表 4-14 : 災害メッセージのデータ形式

テストデータ1	\$QZQSM, 55, 53, C407DE0107030703030101070502060502*04
---------	--



図 4-15 : 実際のメッセージと誘導経路

表 4-14、図 4-15 からわかるようにこのまま使用することはできないので、以下にこのメッセージのデコード方法を記す。デコードは単純で、配信データにおける「\$QZQSM,55,53,」までをヘッダとみなし、それ以降のデータを表 1 で言うところの「意味」に対応するバイト数毎に順番に 16 進数から 10 進数へと変換していく。実際のメッセージとデコード結果を図 4-16、図 4-17 に示す。

```

$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010107050206050200000000000000000000000000002C4CCAC*07
$QZQSM, 55, C6C407DE02070307030301010507060202050000000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE020703070303010105070602020500000000000000000000001BAD358*08
$QZQSM, 55, C6C407DE02070307030301010705020605020000000000000000000000002C4CCAC*07

```

図 4-16 : 災危メッセージ

2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 5, 7, 6, 2, 2, 5  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2  
 2014, 2, 7, 3, 7, 3, 3, 1, 1, 7, 5, 2, 6, 5, 2

図 4-15 : デコード結果

### 4.3 GPS/GNSS ロボットカーコンテスト

GPSおよびQZSSを利用する研究者や技術者の相互交流、大学や高等専門学校などの学生に対する衛星測位に関する基礎技術の修得機会の提供と技術交流を目的としてこの大会は開催されている。

「第8回GPS・QZSSロボットカーコンテスト2014」は2014年10月18日(土)午後1時～午後4時に東京海洋大学越中島キャンパス第2グラウンドにて開催された。今回の大会では2種類の競技が行われた。一つは2つのWaypointを周回することで得られるポイントを競うレースである。もう一つは準天頂衛星システムの災危通報で指定されたpointを走行し、走行時間の短さを競うレースである。

競技参加者は競技規定に合致するロボットカーを作成することができ、当日競技に参加できる個人もしくは団体に所属組織や企業を問わない。一般個人や小中学生の参加も、競技の見学のみも認められた。ロボットカーの動力は原則電動とし、航法センサーはGPS受信機を掲載し制御プログラムに従い自律的に走行するものであることが規定された。使用するGPS受信機やマイコンは一般的なものが主流だが、情報公開を前提に改造受信機での参加も認められた。利用できる衛星はGPS、QZSSにSBASとし、これら以外の衛星は受信機単体での測位方式なら利用できる。

上記以外の衛星を用いる場合は、必ずその旨を大会主催者ならびに競技参加者に知らせることを定義した。競技中の遠隔操作は不可とし、すべての自律制御部(ハード/ソフトともに)がロボットカーに搭載されていなければならない。ただし、ロボットカーの状態をみるために外部への通信を行うことはできる。ただし、遠隔操作していないことを審判に対して説明できること。

ロボットカーの寸法は競技と分解した場合のサイズも定められている。競技時は高さが400mm以下、幅が500mm以下、奥行きが500mm以下とされている。また分解して靴に入れて運ぶ際、靴のサイズの3辺の合計が150cm以内かつ55cm×40cm×25cm以内に決められているのは、100席以上の国内線航空機内に持ち込みできる大きさを参考にしているかららしい。重量は合計9kg以下で自律走行に必要な機器の重量はすべて含まれるが、競技中に必要ないノートパソコンや充電器は含めない。また例外としてエキシビション参加者として実行部会長が認めた場合は、前述の限りではない。無人飛行機などもここでは認められる。ただし、競技場を破壊し、または人を傷つける恐れがある場合は実行部会の判断で、行動を認められない。

1つめの競技のより具体的な説明を行う。2つのWaypointを周回すると簡単に説明したが、実際には単なる周回ではなく8の字に周回しなければ得点にはならない。スタート地点はWaypointを結ぶ直線の真ん中に置かれる半径1mの円であり、そこから競技開始となる。

Waypointの数は2つとし、その間隔は20m程度とする。正確な座標値は、大会当日に発表する。Waypointの中心には目印が設定され、例えばパイロンを予定しているが、形状についてはこの限りではない。パイロン等に衝突しても失格にはならないが、ロボットカーはこれを回避することが望ましい。パイロンは主審がWaypointの通過を判断するための目印として置かれたものであり、これらをナビゲーションの目印にすることは大会の主旨から外れるため不可とする。ロボットカーの衝突等によりパイロン等が移動した場合でも、それらの元の位置をWaypointとする。パイロン等の目印は、Waypointだけ置かれるとは限らず、Waypoint以外の場所にも置く事がある(競技エリアの境界線の表示など)。スタート地点は2つのWaypointを結ぶ直線の真ん中の点上とする。

主審より準備の指示を受けたら、競技者はロボットカーをスタート地点に置くこと。スタート地点におけるロボットカーの向きは任意である。競技者は準備ができたらスタートできることを主審に伝える。

競技時間は、3分とする。主審がスタートの宣言をしたら、タイムキーパーは競技時間の計測を開始する。競技時間内であれば、何度でも競技を行う事ができる。ただし、参加台数によっては、競技時間を短くしたり、複数回の試技を認めたりする場合もある。

パイロンの回り方の規則はロボットカーは、自律走行により∞の様に回ることである。主審は、Waypointの通過によるポイントを判定する。記録係は、主審の判定に従ってポイントを記録する。∞の回り方はどちらでも構わない。また、交差する地点はWaypoint間であればどこでもいい。



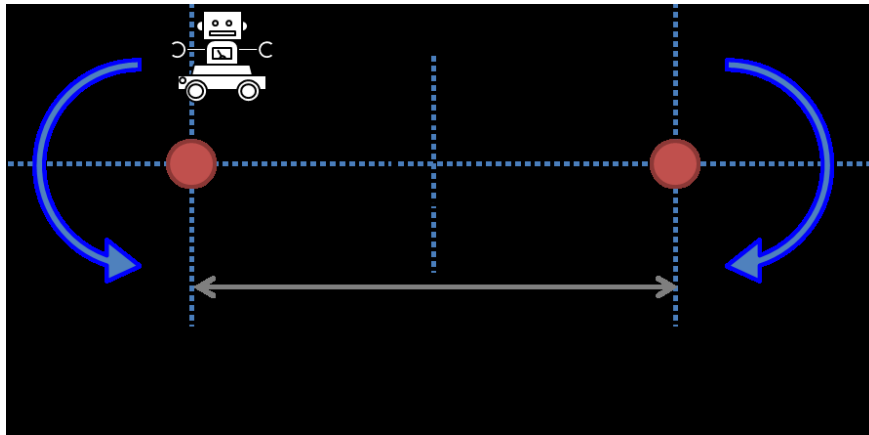


図4-16：ダブルパイロン

競技時間内であれば、競技者は何度でもリトライを宣言することができる。リトライは、競技者が主審に対して宣言し、それを主審が認めたときに適用される。リトライが認められた場合、それまでのすべての得点が無効になる。競技者は再度ロボットカーの調整などを行う事ができるが、競技時間はリトライによってリセットされない。準備が整い次第、競技者は主審に再スタートを宣言し、主審の許可を得た後、ロボットカーを再スタートさせることができる。

また救済措置も存在する。救済措置とは、ロボットカーが障害物を避ける事ができずに競技場内で立ち往生した場合に、競技者が障害物を移動させたり、ロボットカーの向きを変えたりすることができる措置を言う。競技者が主審に対して救済措置の適用を宣言し、それを主審が認めたときに適用される。救済措置が認められた場合、それまでのポイントはリセットされない。救済措置の適用は5回までとする。ロボットカーの向きを変えるのは、競技者自身がロボットカーをその場で回転させて進行方向を変えたり、パイロン等の障害物を動かしたりすることができる。パイロン等を移動したときはロボットカーの通過後にすみやかに元の場所に戻すこと。

競技時間内であれば、競技者は競技終了の宣言をすることができる。競技者が主審に対して競技終了の適用を宣言し、それを主審が認めたときに適用される。競技終了が認められた場合、それまでに得ていた得点が適用される。再スタートはできない。

走行競技は、ダブルパイロン（2つのWaypoint）を正確に往復する回数と、コースを走行する速さを競い、競技終了時での合計ポイントを得点とする。競技者が主審に救済措置を申告し、ロボットカーや障害物に触れた場合は、合計ポイントから減点をする。

Waypointの周囲を180度回った時点で、得点10点を獲得する。右回りと左回りについての違いはない。2つのWaypointを通過した後にWaypoint間の中心線を通過した時点で1往復と見なし、さらに10点を獲得する。救済措置を適用した場合は、1回につき5点を合計ポイントから減点する。

準天頂衛星システムの災危通報で指定されたルートを走行し、走行時間の短さを競う。3m四方のユニットが7×7ならんだグリッドをコートとする。各ユニットの位置は(A<sub>m</sub>, B<sub>n</sub>) (m,nは1～7)で指定する。コンテスト当日に(A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>)、(A<sub>7</sub>, B<sub>1</sub>)、(A<sub>1</sub>, B<sub>7</sub>)の中心座標を事務局より公表した。

《スタートユニット》 (A1, B1)

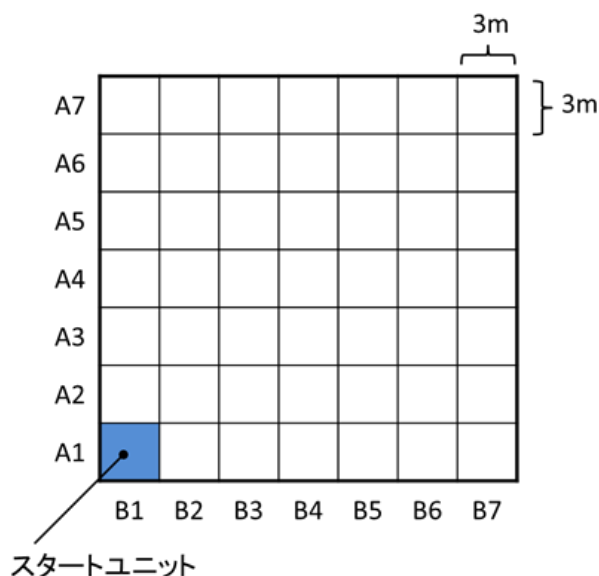


図4-17 :

競技者は各自に対して指定された災危通報配信時刻の2分前にスタートユニット内へロボットカーを置き電源を入れる。災危情報配信開始予定時刻の30秒前になるとタイムキーパーより合図があるので、競技者はコートより離れる。災危通報を通じてターゲットユニットが3か所指定される。指定されるターゲットユニットは各レースにより異なる。よって、競技に出場するロボットカーは、準天頂衛星の災危通報を受信して、スタートの制御、および、ターゲットユニットの解読ができることが必要だった。災危通報配信タイミングは1秒~40秒のタイムラグがあるので注意する。災危通報は取りこぼしを想定して6秒間隔で1分間同一内容のデータを配信する。最初の災危通報が配信されたら、大会本部が配信されたことを会場に通知する。ロボットカーは災危通報を受信したら、ロボットカーのランプを点灯して受信したことをアピールしてスタートする。ロボットカーはターゲットユニットに到着したら5秒間停止し、ランプを点灯して到着したことをアピールする。最初の災危通報が配信されてから、ロボットカーが3番目のターゲットユニットに到着してアピールが完了するまでを走行時間とする。制限時間は最初の災危通報が配信されてから3分間とする。制限時間内に3番目のターゲットユニットに到着できなかった場合はその時点で競技を終了する。この場合走行時間は3分とする、別途次に示す罰則時間が加算される。

以下の場合には罰則時間を加算する。罰則時間は審判が判定する。災危通報配信開始前にロボットカーがスタートユニット外へ出た場合、スタート、および、ターゲットユニット到着つまり停止が5秒未満、ランプがつかない等のアピールが不十分であった場合、ターゲットユニット外で到着のアピールがあった場合(罰則時間はターゲットユニットからの距離に応じる。ターゲットユニットにロボットカーの一部でも接している場合はターゲットユニット内にあるものとみなす) 制限時間内に3番目のターゲットユニットに到着できなかった場合である。

配信する災危通報のフォーマットは、2014年9月上旬に応募者へ通知された。災危通報のテスト配信を2014年9月上旬～11月中旬に実施され、災危通報が受信可能な受信機(今回はQZPOD)が貸し出された。

#### 4.4 ロボットカーの走行結果と出場したロボットカー

##### ① ダブルパイロンレースの結果

優勝 は初出場の Kevin (Amano Lab.) で高精度測位を活用して正確にコーンを∞字に走行。初出場とは思えない他を圧倒する走りを披露。QZSS スクランプルとのダブル優勝を達成し 95 ポイント。



図 4-18 : Kevin (Amano Lab.)

準優勝は初出場の Luchs (電気通信大学ロボメカ工房) で準天頂衛星からの信号を受信できる受信モジュールを搭載。1秒間に5回の高速度測位をしながら走行。初出場ながら4周周回し80ポイントと高得点を獲得。



図 4-19 : Luchs (電気通信大学ロボメカ工房)

第3位 は阿蘇不知火  $\lambda\chi$  (熊本高専熊本 C 葉山研究室) で毎回出場している常連チーム。今回は準天頂衛星からの信号を受信できる「QZPOD」で測位しながら走行。5回連続の入賞し20ポイントを得た。



図 4-20 : 阿蘇不知火 5 号 (熊本高専熊本 C 葉山研究室)

もう一つの第 3 位 は初出場の荒炎車  $\beta$  (有明高専岩本研究室) で福岡県大牟田市からの初出場チーム。学習用プラットフォームに GPS モジュールを接続して走行制御。荒炎車  $\alpha$  と 2 台出場し、オフロード車の荒炎車  $\beta$  が 3 位入賞し 20 ポイント。



図 4-21 : 荒炎車  $\beta$  (有明高専岩本研究室)

## ② QZSS スクランプルの結果

災危通報で指定されたルートを走る

優勝 Kevin (Amano Lab.) は高性能な車体と処理部をベースとして、高精度測位と効率的な走行アルゴリズムにより、59 秒という驚異的なタイムを記録。まったく無駄のない圧倒的な走りで優勝。

準優勝阿蘇不知火  $\lambda\chi$  (熊本高専熊本 C 葉山研究室) は 2011 年大会のダブルパイロンレースで優勝経験を持つチーム。準天頂衛星からの災危通報でスタートを切ったが、座標の入力ミスにより目的地に到達できず 360 秒かかった。

もう一人の準優勝ロボット・インフィニティ (個人参加) は手作り車体での出場。準天頂衛星からの災危通報でスタートを切ったが、小さな車輪ゆえ芝に足を取られてまっすぐ進まず。最年少小学 4 年生がオペレーターして 360 秒かかった。



図 4-21 : ロボット・インフィニティ

全体の結果は以下のとおりである。

ロボット名	QZSS スクラ ンブル	ダブル パイロ ン	出走順	出走予 定時間	競技 記録	再チャ レンジ	最終 成績	入賞者 順位
I.K.K.		○	5	13:50	0	0	0	
マノマロカリス		○	17	DNS			DNS	
できるかな		○	18	DNS			DNS	
Kevin		○	2	13:35	95		95	D.P. 1 位
阿蘇不知火4号 λx		○	12	15:20	DNS	0	0	
阿蘇不知火5号		○	1	13:30	20	0	20	D.P. 3 位
GarlicToast		○	4	13:45	DNS		DNS	
トムカ		○	6	13:55	0		0	
エディ		○	9	15:05	0		0	
ブレイカー		○	8	15:00	0		0	
マシュマロ		○	7	14:00	0		0	
チーム morimori		○	19	DNS			DNS	
かいおう		○	10	15:10	0	5	5	
Polaris[0]		○	15	15:35	DNS		DNS	
やまくも2号		○	16	DNS			DND	
Luchs		○	11	15:15	80	40	80	D.P. 2 位
荒炎車 α		○	3	13:40	0		0	
荒炎車 B		○	13	15:25	20		20	D.P. 3 位
Ants3号		○	14	15:30	0	0	0	
Kevin	○		101	14:20	59		59	Q.S. 1

								位
阿蘇不知火4号 λx	○		102	14:25	DNS		DNS	
阿蘇不知火 5 号	○		103	14:30	360		360	Q.S. 2 位
GarlicToast	○		104	14:35	400		400	
かいおう	○		107	DNS			DNS	
ロボット・インフィニ ティ	○		105	14:40	360		360	Q.S. 2 位
Polaris[0]	○		106	14:50	DNS			

表 4-22 : コンテスト結果

## 5章 総括

1章に私がこの研究にかかわった訳を語り、2章と3章で災危情報と衛星測位システム関連の災害情報サービス及び自律型移動体について調査したのでまとめた。実際に国内の準天頂衛星が、災害用のメッセージを試験配信できることからそれを利用したアプリケーションの開発を行った。ここでは、卒業論文で実施した自律型小型ロボットカーをベースに実施した。ちょうど良い時期、それらを利用したコンテストが開催されたため、その説明と自身の開発したロボットカーについて説明した。

以上のことから災危通報は災害やテロなどの緊急性が高い事情に活用できる反面、一般的には活用しづらいと思われた。最も緊急時にしか使う必要がない、もしくは安全性を高めるために使えるならば特に問題はないのではないかとも思う。今後私が使った小さなラジコンカーだけではなく、今回知った大きな船舶や手乗りサイズの UAV などが、自律型移動体として活用されていくのか楽しみである。



## 参照文献

GPS/GNSS シンポジウム

<http://www.gnss-pnt.org/symposium2014/robocar.html>

<http://www.qzs.jp/events/201408robocar/result.html>

<http://www.qzs.jp/events/201408robocar/guide.html>

「GNSSのすべて GPS、グロナス、ガリレオ…」 著 西修二郎訳

QZSS

<http://qzss.jaxa.jp/>

<http://www.satnavi.jaxa.jp/project/qzss/index.html>

日本船舶海洋工学会

<http://www.jasnaoe.or.jp/research/committee/p9.html>

株式会社コデン

<http://jcma.heteml.jp/bunken-search/wp-content/uploads/2012/10/041.pdf>

<http://www.coden.co.jp/boat/>

びわ湖クルーズ・ソーラーボート大会

<http://solar.shiga-saku.net/e925165.html>

<http://www.eonet.ne.jp/~wukkynomori/solar.html>

[http://www.hinet.bosai.go.jp/about\\_earthquake/secA.3.html](http://www.hinet.bosai.go.jp/about_earthquake/secA.3.html)

<http://blog.btrax.com/jp/2014/11/24/drone/>

2013修了/野崎祐基/工学院大学大学院

[http://brain.cc.kogakuin.ac.jp/research/201303\\_NozakiThesis.pdf](http://brain.cc.kogakuin.ac.jp/research/201303_NozakiThesis.pdf)

[http://www.okiconsulting.com/solutions/so\\_tweetline01.html](http://www.okiconsulting.com/solutions/so_tweetline01.html)