

Techno Scope



準天頂衛星 「みちびき」が道なき道を照らす

スマートフォンのユーザーであれば、一度は地図アプリを利用したことがあるだろう。自分自身の正確な位置を示したり、目的地までの最適なルートを示したりするためには、人工衛星を使用した測位システムが提供する高精度の位置情報が不可欠だ。2018年からサービスを開始した日本の衛星測位システム「みちびき」の概要と活用例を紹介する。

準天頂衛星初号機～4号機の想像図(CG)。現在の4機体制から将来的には7機体制に整備される予定である。
画像提供：三菱電機(株)

各国が整備を進めるGNSS

GNSSとはGlobal Navigation Satellite Systemの略で、衛星測位システムなどと訳される。GNSSとして最もよく知られているのは米国の「GPS(Global Positioning System)」であろう。これは1980年代に当時の米ソの冷戦を背景に、飛行機や船舶を安全に運行するために開発されたものだ。人工衛星から発信された電波を利用して、飛行機や船舶が自身の位置を知ることができるシステムである。

GNSSは米国の「GPS」のほかにも各国で開発・導入が進められ、ロシアの「GLONASS」、中国の「BeiDou(北斗)」、欧州連合の「Galileo」、インドの「NavIC」、そして日本の「みちびき」の計6つのシステムが運用されている。(表1)

GNSSによる位置の特定には最低4機の衛星が必要である。地上ではユーザーが受信したそれぞれの衛星からの信号には、発信時刻の情報が含まれている。発信時刻と受信時刻の差は「電波伝播時間」と呼ばれ、この時間からユーザーと各衛星までの距離をそれぞれ算出することが可能になる。ユーザーは、衛星を中心として、算出された距離を半径とする球の表面上に位置することになり、4つの球の表面が交わる地球上の点が、

ユーザーの位置として算出される。ユーザーの位置の特定には3機の衛星があれば十分であるが、ユーザー側の時刻の誤差を補正するために4機目の衛星が利用されている。

このようにユーザーが自身の位置を特定するためには、複数の衛星からの電波を受信する必要があるが、都市部のビル街や山間部などでは、衛星からの電波を十分に受信できない場合がある。また、ビルや山に反射した「マルチパス」と呼ばれる電波は電波伝播時間が増えるため、誤差の要因になる。そのためGNSSでは多数の衛星を利用することで、常に十分な衛星から電波を受信できるようにし、十分な測位精度を保

● 各国の測位衛星システム(表1)

国名	システム名	信号精度	打ち上げ開始	運用基数	運用開始年
日本	みちびき (準天頂衛星システム:QZSS) ^{※1}	5~10m ^{※2}	2010年	4	2018年
米国	GPS(Global Positioning System)	5~10m	1978年	31	1993年
ロシア	GLONASS	10~25m	1982年	28	1996年
中国	BeiDou(北斗)	10~15m	2000年	50	2012年
欧州連合	Galileo	15~20m	2011年	27	2016年
インド	NavIC (Navigation Indian Constellation)	~20m	2013年	8	2018年

※1 QZSS:Quasi-Zenith Satellite System
 ※2 cm級の補強情報活用時は数cm
 みちびきウェブサイト(qzss.go.jp)などをもとに作成。

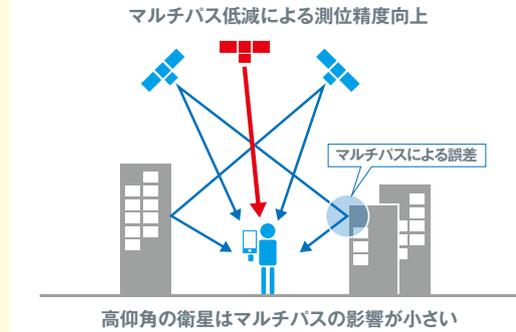
つことができる体制を整えている。(図1)

これまで日本の衛星測位サービスは米国のGPS衛星を利用していたため、上空にある衛星数が少ない場合などには、安定した測位サービスを利用することができない課題があった。そこでGPS衛星と互換性を持ち、GPS衛星と一体で運用することで日本の衛星測位サービスの測位精度を大きく向上させることを目的に「みちびき」が打ち上げられることになった。

現在、4機体制で運用されている「みちびき」によって、GPSとあわせた複数の衛星から位置情報を取得できるようになったことで、より安定的な測位が実現されている。

さらに測位情報に加えて「みちびき」を、災害・危機管理通報や衛星安否確認サービスなどのメッセージサービスに利用することも可能になっている。

● 測位精度低下の要因(図1)



みちびきウェブサイト(qzss.go.jp)の画像を加工して作成。

世界初のセンチメートル級測位衛星「みちびき」

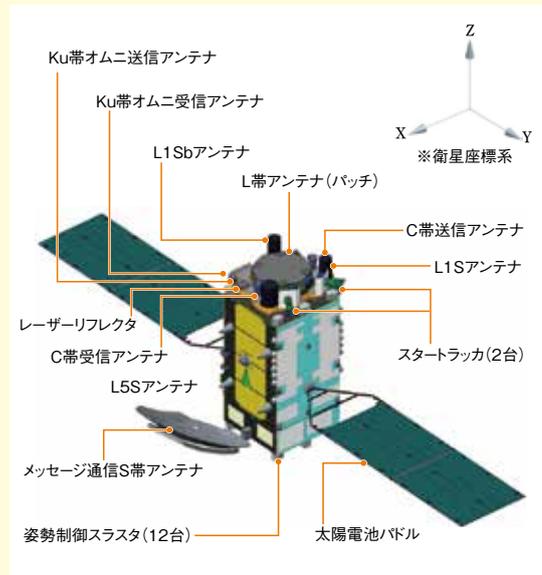
「みちびき」の開発は、2006年に文部科学省・JAXA、総務省、経済産業省、国土交通省が連携し、世界初のセンチメートル級の測位衛星の開発を開始したことから始まった。2010年9月に「みちびき」の初号機が打ち上げられ、2017年には、2~4号機が打ち上げられ、2018年11月からサービスが開始されている。(図2)

現在、「みちびき」は、準天頂軌道を周回する3機の衛星群と、赤道上空の静止軌道に位置する1機の静止衛星で構成された4機体制で運用されている。「準天頂軌道」とは、静止軌道を南北方向に振動させた傾斜静止軌道のことで、日本のほぼ天頂を通過する軌道である。なお、「準天頂衛星」という場合には、準天頂軌道の衛星と静止軌道の衛星の両方を意味するため、準天頂軌道の衛星を区別する場合には「準天頂軌道衛星」と呼ぶ。「みちびき」の軌道を地上から見ると偏った8の字型になり、この軌道を採用することで、日本の上空のほぼ真上には常時1機以上の衛星が位置することになる。(図3)

また、上空の4つの衛星と通信などを行う地上設備には、2つの主管制局(常陸太田、神戸)と5つの追跡管制局(種子島、沖縄、久米島、石垣島、宮古島)などがある。これらに加えて、「みちびき」ではサブメータ基準局や国土交通省国土地理院が全国に整備している電子基準点のデータを利用することで、サブメータ級、センチメートル級の測位サービスを実現している。

衛星測位の誤差は、衛星数が少ないこと

● 「みちびき」3号機の概要(図2)



画像提供:三菱電機(株)

● 準天頂衛星の軌道(図3)



みちびきウェブサイト(qzss.go.jp)の画像を加工して作成。

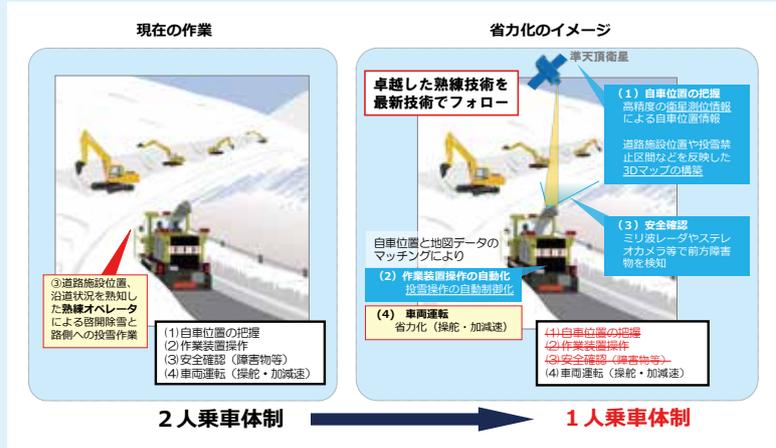
活用例 1 道路の冰雪対策に測位情報を活用

国土交通省は建設現場の生産性を飛躍的に向上させることを目指した「i-Construction」を推進している。その一環として、北海道開発局では除雪現場の省力化を実現するために産学官民が幅広く連携して取り組むプラットフォーム(通称:i-Snow)を立ち上げている。

i-Snowは2017年から活動を開始し、2019年には「みちびき」と高精度3Dマップを活用した運転支援ガイダンスシステムや、投雪作業の自動化システムの実験を国道334号線の知床峠における春山除雪で行っている。

過酷な環境で使用されるロータリ除雪車には、高い耐久性が求められ、エンジンや除雪装置に多くの鉄鋼材料が使われる。実証試験ではロータリ除雪車によるフロントガラス遮蔽走行試験が行われ、搭載された2機の「みちびき」受信機により、約12 cmの位置情報精度でガイダンスシステムのみでスムーズな走行が可能などが確認された。「みちびき」の測位情報は運転支援ガイダンスのほかにも投雪装置(シュート)の投雪方向の自動変更装置にも利用されている。(図6)

● 除雪作業の効率化・省力化イメージ(図6)



画像提供:国土交通省 北海道開発局

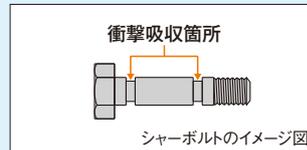
現状、ロータリ除雪車での作業には熟練した技術が必要となるが、除雪機械の熟練オペレータの減少と高齢化が進んでいる。i-Snow仕様のロータリ除雪車が実用化されることで、除雪現場の効率化と省力化が大きく進むものと期待されている。(図7)

● i-Snow仕様のロータリ除雪車(図7)



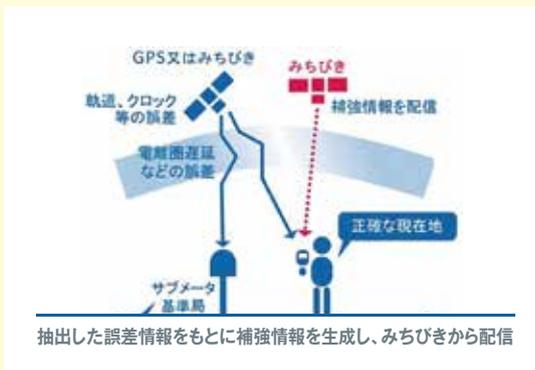
画像提供:国土交通省 北海道開発局

● 除雪車の安全を守る「シャープボルト」(図8)



ロータリ除雪車の雪を切り崩す螺旋状の回転する刃の部分「オーガ」、雪を跳ね飛ばすインペラを「ブロウ」と呼ぶ。除雪中にこれらが石や木などを噛み込むと、急停止するなどして、駆動装置にダメージを与える恐れがある。「シャープボルト」はオーガやブロウと駆動装置を接続するボルトで、噛み込みなどが生じた際はシャープボルトが破損することで衝撃を逃がす仕組みになっている。シャープボルトは炭素鋼などが使用され、適当な衝撃で破損しやすい構造が採用されている。

● サブメータ級測位補強サービスの仕組み(図4)



みちびきウェブサイト(qzss.go.jp)の画像を加工して作成。

や、電離圏による遅延などが大きな要因とされている。そのため、GPSなどの1周波の衛星測位では、誤差は10 m程度になるとされている。電離圏遅延による誤差は2周波受信機を利用することで解消できるが、2周波受信機は高価であるという課題があった。「みちびき」では既存の1周波受信機を改良して受信することが可能な電波を利用することで、誤差1m以下のサブメータ級測位を可能にしている。このサブメータ級測位補強サービスは、歩行者、自転車や船舶などでの利用が想定されている。また、ほかのセンサーなどと組み合わせることで、精度のよい位置情報を記録する自動車のドライブレコーダーとしても用いることが可能である。(図4)

また、「みちびき」ではセンチメータ級測位補強サービスも提

活用例2 「みちびき」で海洋をモニタリング

「みちびき」の測位情報を海洋調査に活用しようという試みが行われている。「みちびき」の信号を受信できるロボット型の漂流ブイで波高や水深、温度、地形などを観測しようというものだ。(図9)

現在、気象庁は5 kmメッシュで波高データを発表している。しかし、複雑な海岸線では半島を挟んで波の状態が大きく異なる場合も珍しくなく、より詳細なメッシュでの波高データが求められていた。海上に浮かべたブイで波高を直接測定する方法もあるが、従来のGNSSでは測位誤差が数mと大きいという課題があった。

資源保護のために漁期が決まっているアワビなどや、定置網の引き上げなどは、波高が高いと作業することができず、海の状態をリアルタイムで把握したいという要望を、多くの漁業関係者が持っていた。

開発されたロボット型海象観測ブイ「みちびき海象ブイ」は、従来は高額な大型ブイで測定していた波高調査を小型ブイで可能にした。約30分間隔で波高と潮流をモニタリングすることができ、計測したデータは衛星通信や携帯通信を利用して送信される仕組みだ。(図10)

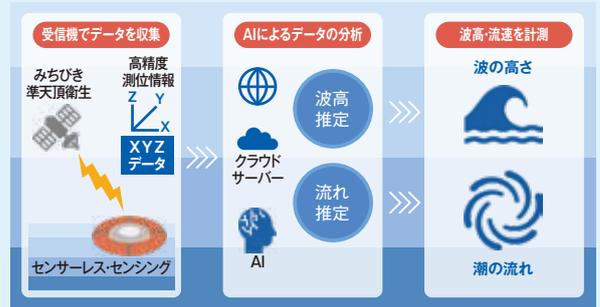
2019年に宮古島で実証試験が行われた「みちびき海象ブイ」のほかにも、波高、潮流に加えて、水温、塩分濃度、プランクトン量、魚群、超音波による地形調査までが可能なセンサーを搭載した海象観測ブイの開発も進められている。

● みちびき海象ブイ (図9)



(株)ブルーオーシャン研究所提供

● みちびき海象ブイのしくみ (図10)



(株)ブルーオーシャン研究所提供

供している。これは、国土地理院の電子基準点を利用するもので、誤差数cmでの測位を可能にするものだ。測量、情報化施工(建設機械を高精度に操作して施工する手法)、IT農業(農機を高精度に操作して農地管理をする手法)での利用が想定されている。

期待される高精度測位サービス

「みちびき」が提供するサブメータ級、センチメータ級の測位サービスは、農業、自動車、建機・工機、船舶海洋、物流、防災

など多彩な分野への適用が期待されている。

たとえば農業分野では、センチメータ級測位の実証実験や1つの圃場内で複数台の農機が同時に作業を行うマルチロボットシステムの実証実験などが行われている。自動車分野でも、センチメータ級測位と高精度3次元地図を活用した自動走行システムの開発が進められている。鉄鋼分野では、製鉄所の溶銑機関連運行システムにGPSを活用した例などが報告されており、今後の本格的な活用が期待されている。

また、物流分野では、無人航空機(ドローン)を使った実証実験が行われている。「みちびき」の高精度測位情報を活用して、ドローンが自動的に飛行経路を変更し、精密に飛行する技術(ダイナミック・リルーティングシステム)の開発が進められている。(図5)

GNSSによる高精度な位置情報は、配車サービス「Uber」など新しいビジネスを生み出した。「みちびき」による経済効果は数兆円規模との試算もある。また、自動運転やドローンの活用は少子高齢化による人手不足への対策にもなるだろう。今後、「みちびき」がどのように活用されていくのかに期待したい。

- 取材協力 内閣府宇宙開発戦略推進事務局(みちびきウェブサイト)、三菱電機(株)、国土交通省北海道開発局、(株)ブルーオーシャン研究所
- 文 石田 亮一

● ダイナミック・リルーティングシステム (図5)



出典:新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)