

3次元測位システムについて



2024年4月5日

MetCom株式会社

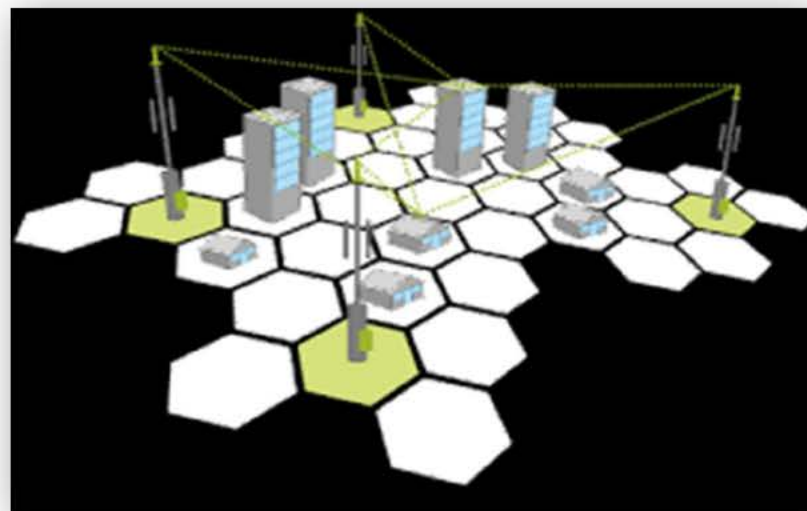
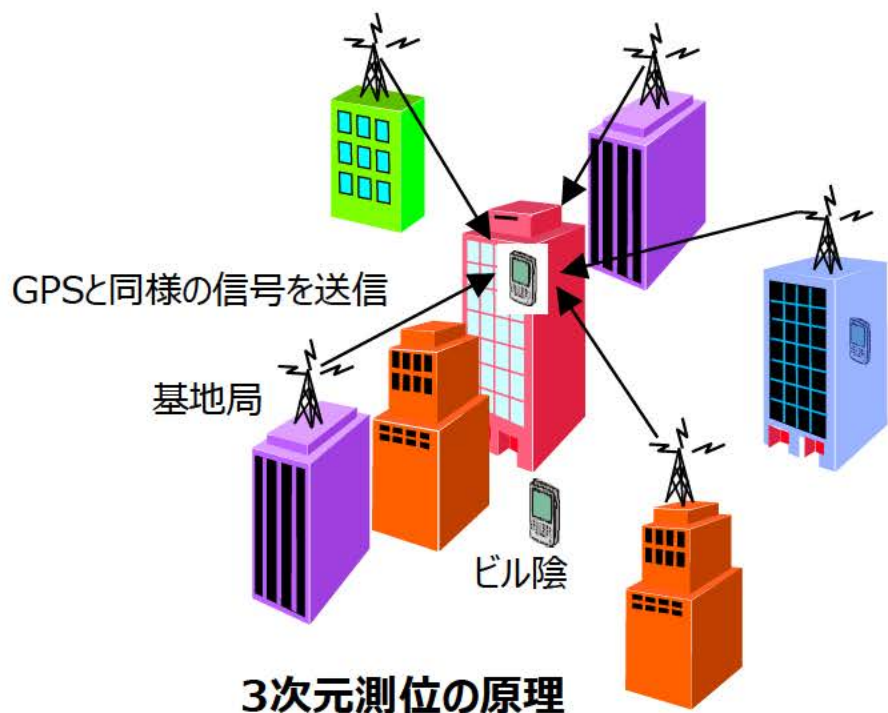
1. 3次元測位システムの概要
 - (1) システム概要
 - (2) 地上波システムによる屋内外シームレス測位
 - (3) 地上波PNTシステムの社会的意義
2. 3次元測位システムの技術的条件

1. 3次元測位システムシステムの概要

(1) システム概要

当社が導入を計画している 3次元測位システムの概要

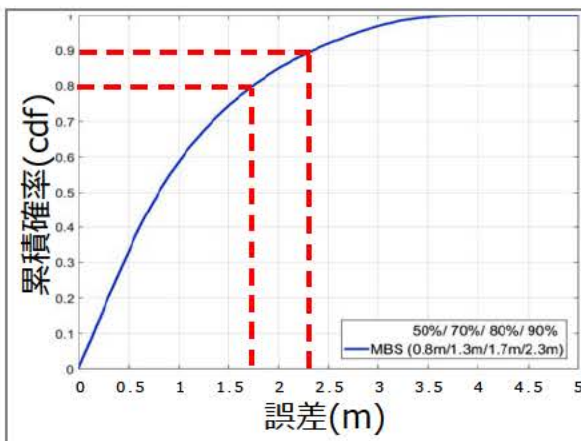
地上の基地局からGPSと同様の信号を送信して屋内測位を行うシステム
気圧情報を組み合わせることにより高さの位置精度を向上させた3次元測位の実現
基地局を都市部に配置することにより、都市の広範囲なエリアのビル屋内で、3次元測位と高精度な時刻配信および情報配信/ページングサービスが可能。
また、屋外においてもビル陰などの測位の精度、ジャミング/成りすましに弱い衛星測位システムのバックアップにも利用可能。



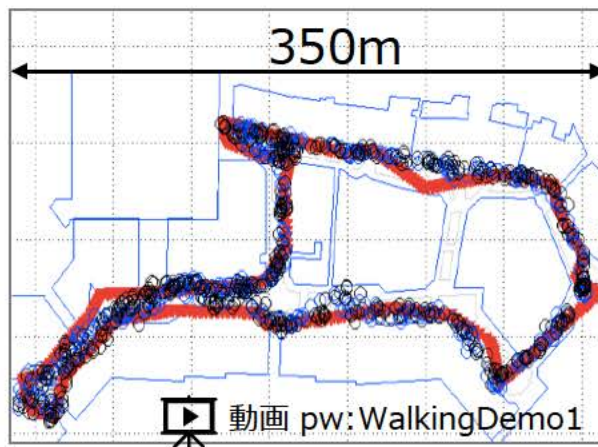
米国で実証済みの3次元測位システムの精度

垂直	1.7m ~ 2.3m以下 (80%~90%) フロアを特定可能
水平	5~10m程度(屋内)
時刻	±30ns (程度)

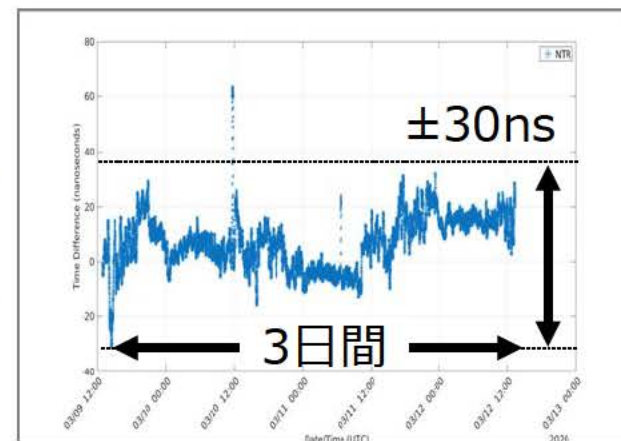
垂直



水平(屋内)

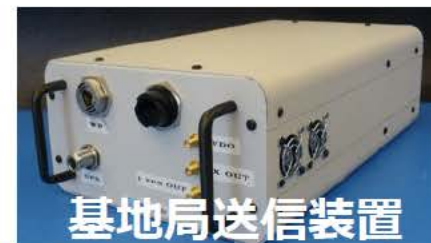


時刻配信



立命館大学びわこくさつキャンパスで実験局を運用中

立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおいて5か所に基地局を設置し、屋内外で3次元測位の実証実験を実施中。



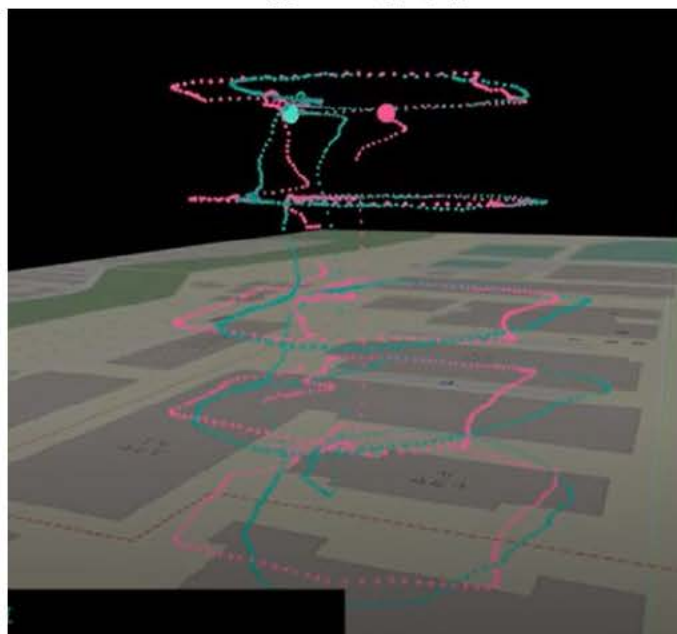
屋外~>屋内伝播での測位実験結果



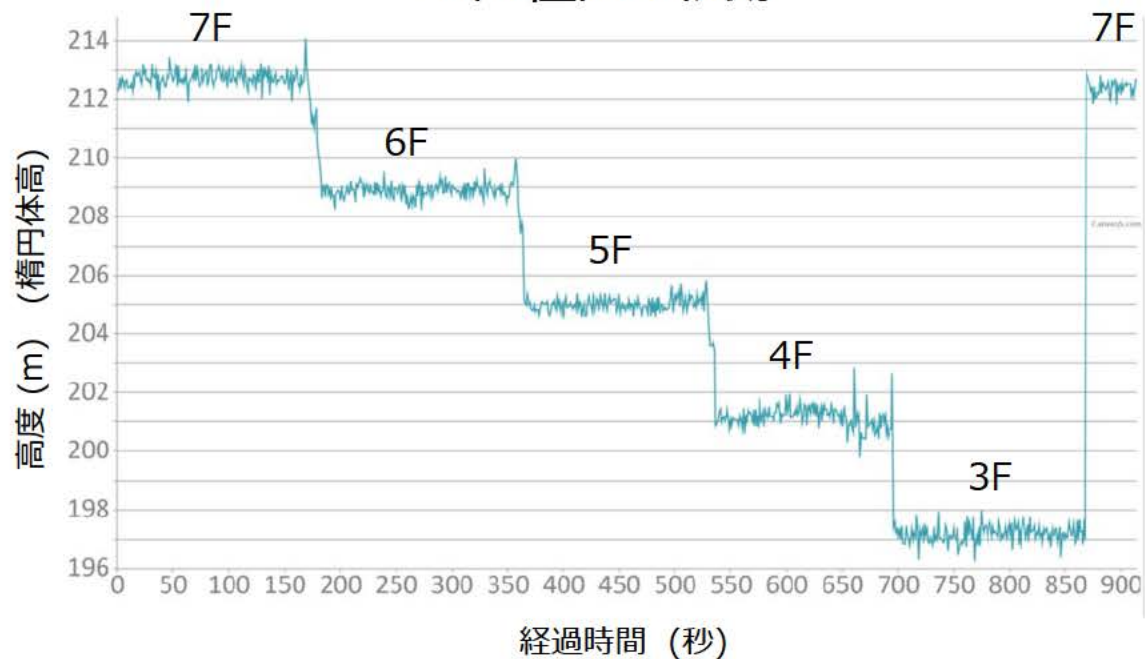
3次元測位システム実証実験 @立命館大学 [琵琶湖草津キャンパス]



3D移動軌跡



垂直位置の軌跡



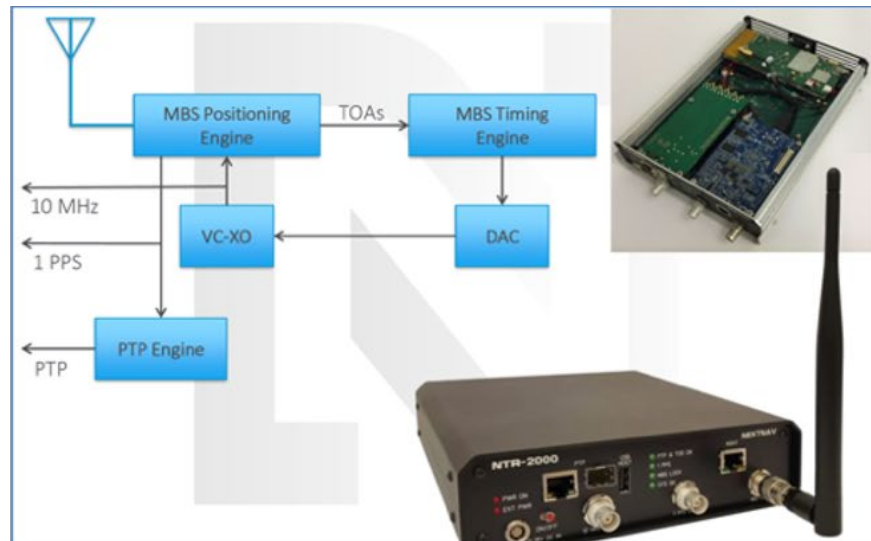
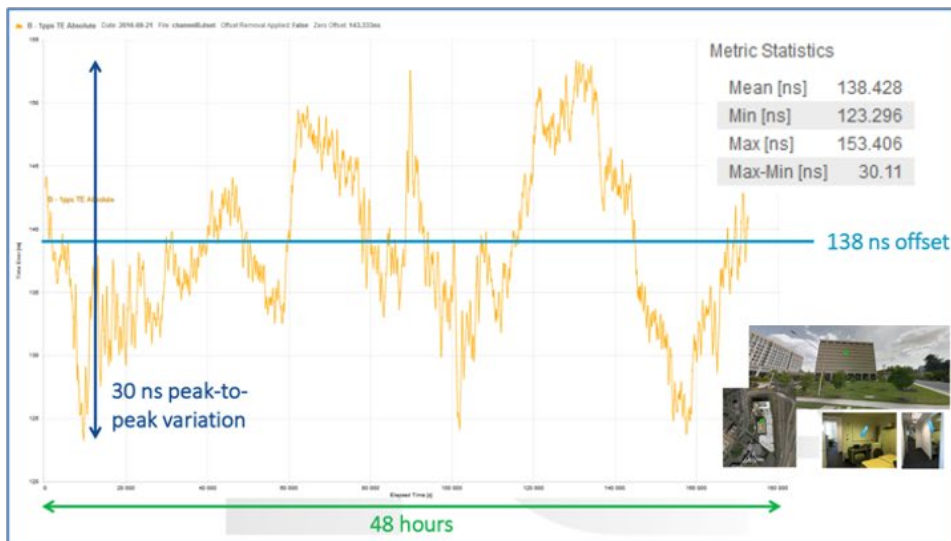
3次元測位システムによる時刻配信サービス

高精度: PTP [1 μ s以下]精度の時刻を提供可能

安価: 屋内深部へも電波が直接到達

高可用性: GPS等のバックアップとしても有効

48時間 時刻エラー試験結果(屋外→屋内) (± 30 ns 程度)



1. 3次元測位システムの概要

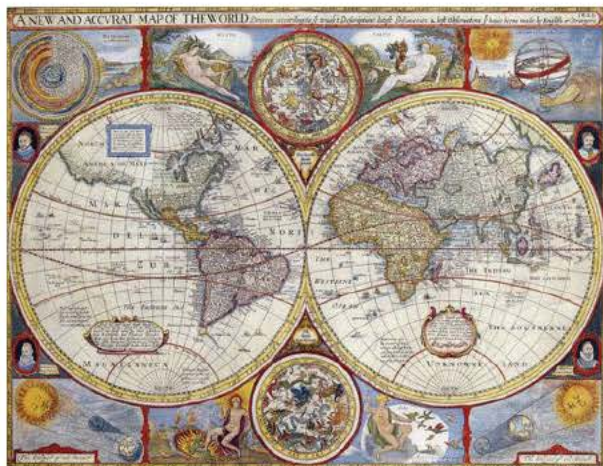
(2) 地上波システムによる屋内外シームレス測位

「地図」と「コンパス」で 大航海時代が始まった



令和時代の「地図」と「コンパス」とは？

リアル



デジタル

2次元 / 屋外中心

デジタル地図

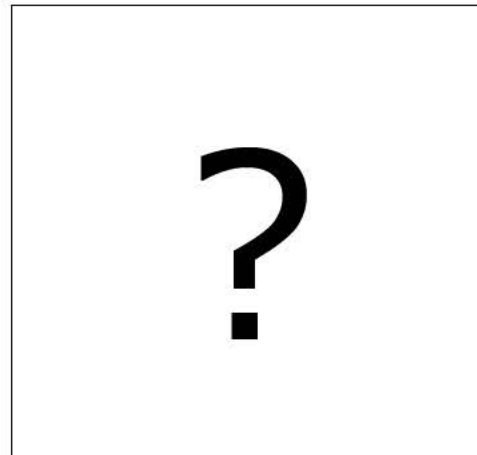


衛星測位



3次元 / 屋内外

3D都市モデル



GPSだけでは位置情報インフラは完成しない

GPSは「屋内」「高さ」が不得意 ...

人生の時間配分



屋内
90%

「生活時間の90%」に 位置情報の社会インフラを提供

GPS

衛星
システム



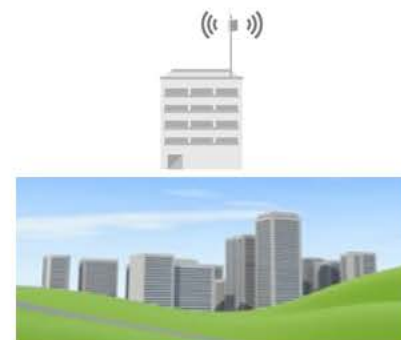
屋外

屋内

高さ



地上波
システム



屋外

屋内

高さ

GPSと
互換性確保

→ 位置情報を社会の基礎インフラとして真に機能させる

地上波システムで、衛星システムを補完する

GPS上位互換システムを地上に建設し



課題を解決



課題	解決
屋内	○
地下	○
高さ	○
妨害	○
なりすまし	○

屋内外シームレス・3Dの世界を創出

GPSの世界 2D

X Y



3次元測位システムの世界 3D

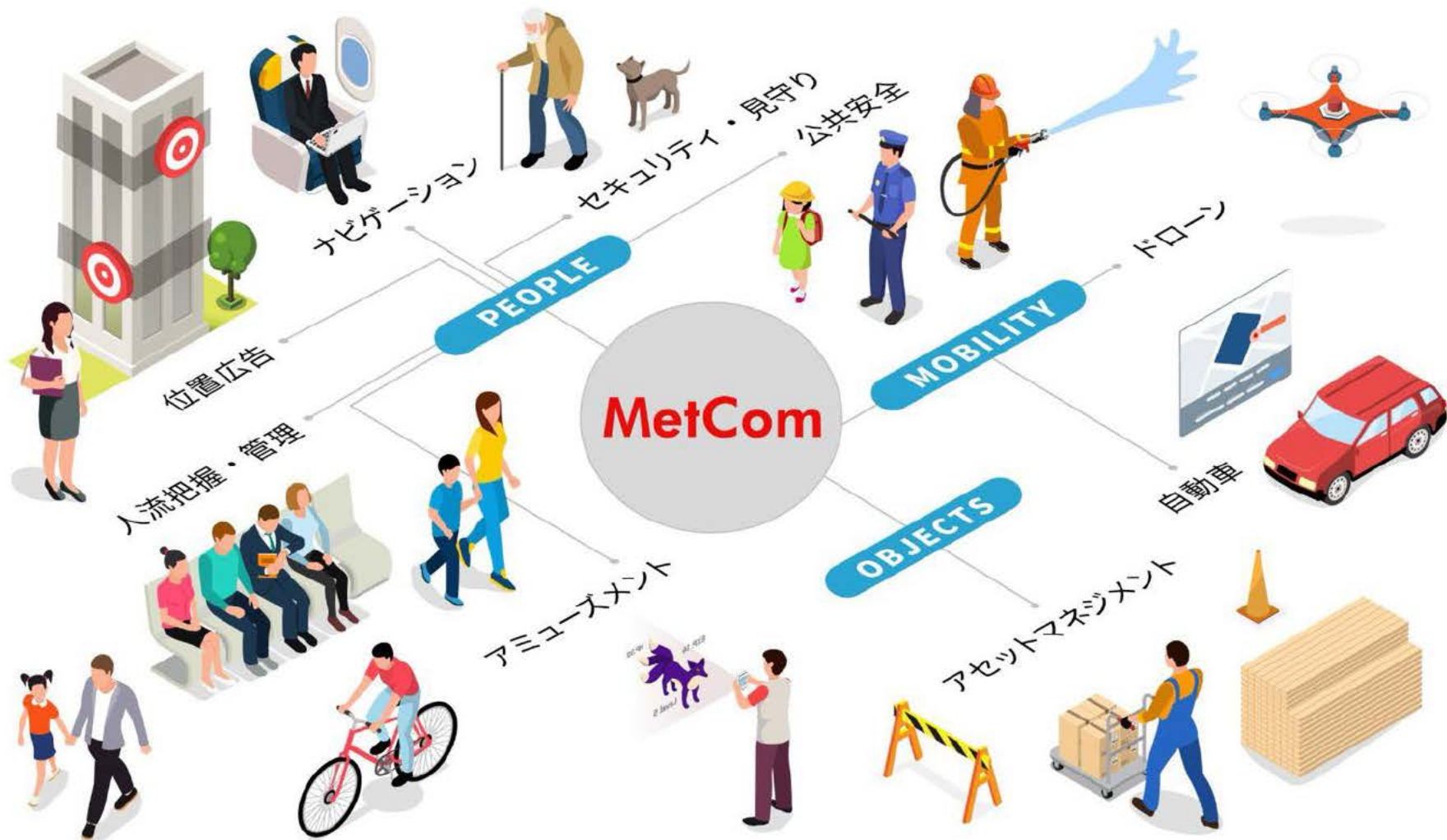
X Y
Z



屋内・地下も測位可能
高さ精度 2-3m

幅広いユースケース（人・物・移動体） GPS利用市場全般が対象




GPS利用シーンの「困りごと」（屋内・地下、高さ、セキュリティ）を解決



1. 3次元測位システムの概要

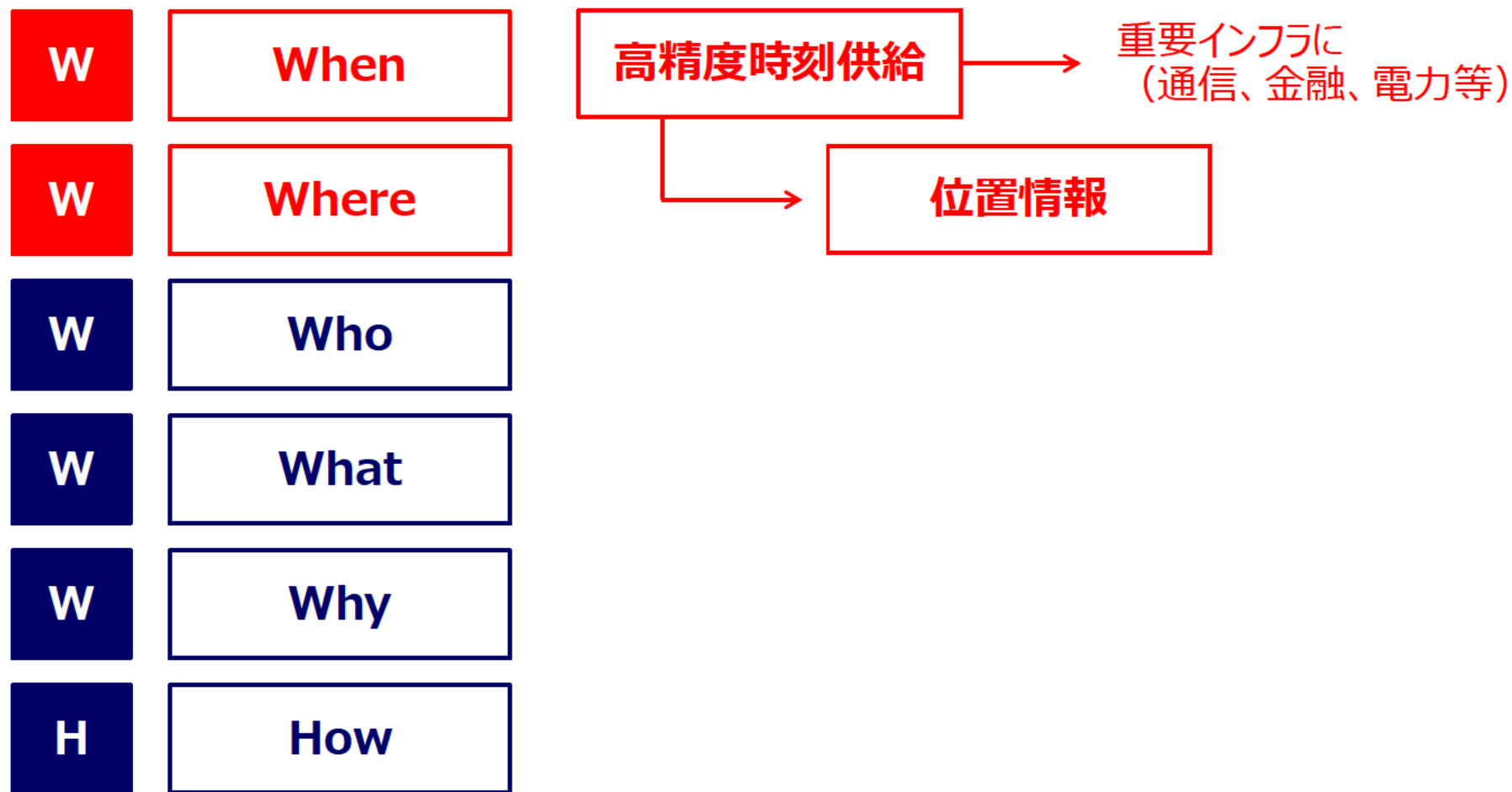
(3) 地上波PNTシステムの社会的意義

テレビや通信と同様、測位においても地上波システムが重要な役割を果たす

		テレビ	測位	通信
衛星システム 地球全体		BS放送 CS放送	GPS みちびき	衛星電話
地上波システム 街全体		地上波放送	MetCom 三次元測位システム	携帯電話
ローカルシステム 室内中心			センサー式 屋内測位システム	Wi-Fi ネットワーク

測位システムが果たす役割 (PNTシステム：測位・航法・時刻システム)

「5W1H」の「**2つのW**」を提供



衛星測位システム（GPS、みちびき等）の バックアップインフラが社会には必要

GPS、
みちびき等の
役割

位置情報
インフラ



ドローン・
エアモビリティの
安全確保



社会システム・
産業を支える
高精度時刻
インフラ



脅威・課題

屋内・地下、高さが
不得意

受信困難エリア
→ 安全問題に直結

停止・不稼働リスク
～ 妨害・なりすまし、戦争等 ～

衛星補完
インフラの
必要性

GPS、みちびき等のバックアップシステムが必要
地上波の3次元測位システムは、衛星システムと別系統 → 有力候補

A Timeline of Recent GPS Interferences

2022

ロシアはGPS衛星を破壊する能力があることを声高に主張しており、ロシア国境周辺やウクライナ周辺のGPS信号は一貫して妨害され、なりすましされている

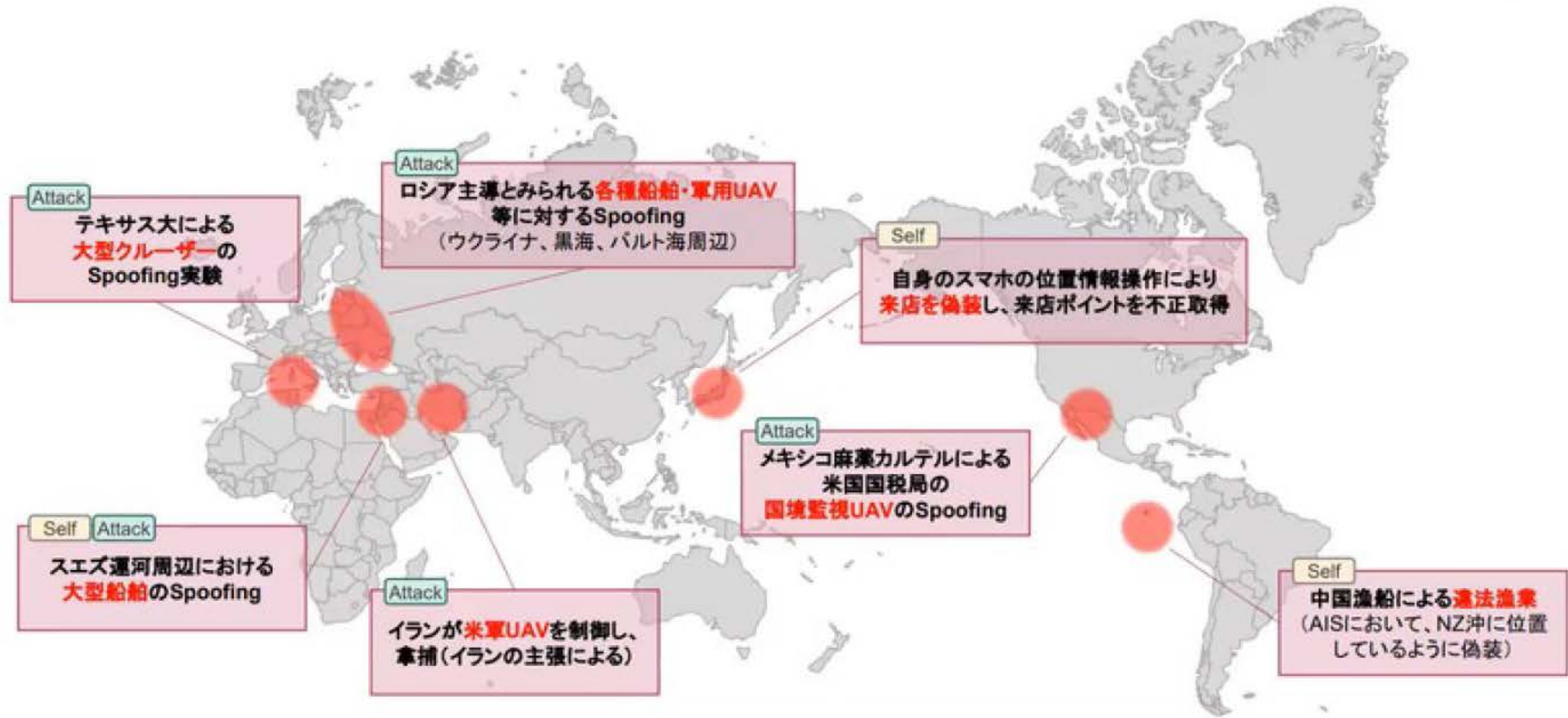


- ロシア侵攻前にウクライナ国内及び周辺におけるGPS妨害が確認されている



- ロシア国境周辺のフィンランド上空において、GPS妨害が数多く報告されている
- EU航空安全局が、欧州上空のフライトにおけるインシデント報告と共に、航空機のGNSSのなりすまし及び妨害について警告を発信
- イスラエルは、ロシアのGPS妨害が原因である可能性が高い重大な問題を抱える航空機の問題が増加していると報告
- 国防総省は、我々がロシアのなりすまし・妨害能力の最大限能力発揮場面を経験していないことを認めている

世界各地で発生する GPSなりすまし



実際に現実に目を向けると、すでにドローンの測位信号に関する脆弱性を突いた攻撃が、安全保障領域を脅かしている。

よく知られた事例としては、2011年にイラン国境付近で飛んでいた米国の軍用UAV (Unmanned Aerial Vehicle) が拿捕されたという報道がある。このときはイランがUAVをSpoofing (スプーフィング) したと噂されている。

日本事例：小松空港におけるGPS妨害事例

令和3年1月18日

北陸総合通信局

重要無線通信への妨害源を排除 ～ ワイヤレスカメラによる混信 ～

総務省北陸総合通信局(局長 三田 一博(みた かずひろ))は、小松空港において航空機の衛星航法システム(GNSS※)用受信機への外来波混入によりGNSSが使用できなくなった事象を調査した結果、石川県小松市内の工事現場で使用されていたクレーンに設置されたワイヤレスカメラの電波が原因であることを特定し、妨害源を排除しました。

クレーンに設置されたワイヤレスカメラは、電波法に定められている技術基準に適合しない設備であったため、使用者に対し、直ちに撤去するよう指導しました。




当局では、今後もこのような重要無線通信への妨害源の迅速な排除をはじめとした無線通信に対する混信・妨害に的確に対応するとともに、類似事案の再発防止のため周知広報等を積極的に行うこととしています。

- 小松空港にて、4km離れた場所にあった、違法電波を発生する外国製無線機のせいで航空機がGPS受信不能となり、航空機の位置情報が不明に
- 4日間にわたり、大幅な遅延・欠航が発生

【障害原因となったワイヤレスカメラ】












【ワイヤレスカメラが設置されていたクレーン】



<p>米国</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ 衛星測位システムの社会・インパクトを試算 国立標準技術研究所(NIST)が定量試算 GPSの経済価値 年間98兆円 GPS停止の経済損失 1日1,400億円▪ 米国の国家的・経済的安全保護を目的として、GPSの脆弱性克服・代替確保についての大統領令 発出 (2020年)▪ 運輸省が衛星測位バックアップの民生技術 (11社) の公開テストを実施し、実証結果の報告書を発表▪ 運輸省が「補完的PNT導入に向けた行動計画」を発表 (2023年) 補完的PNTの採用を促進するための5つの行動を定義 2025年から始まる、大統領令準拠サービスの調達を目指す
<p>英国</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ 衛星測位システムの社会インパクトを試算 宇宙庁が定量試算 GNSSの経済価値 年間2.5兆円 GNSS停止の経済損失 1日2,600億円▪ 科学イノベーション技術省がPNT政策フレームワークを発表 (2023年)▪ 「英国リスク登録簿」にGNSS停止影響が「重大」と記載
<p>欧州連合</p> 	<ul style="list-style-type: none">▪ 欧州委員会は、EUの経済安全保障のための重要な技術分野に関する勧告において、宇宙ベースの測位・航法・時刻 (PNT) を経済安全保障のための非常に重要な技術として特定 (2023年10月)▪ 共同研究センターが、地上波方式測位システムの活用を推奨

米国における3次元測位システムの評価

本システムは米国NextNav社が開発した方式で、米国政府DoT (米:運輸省)にて2021年に実施されたGPS補完技術の比較評価で全ての評価項目でNo1を獲得、TRL(技術成熟度)評価で最高レベルの**レベル9 (大規模商用運用が可能)**と評価されています。日米で共通システムを運用する事でグローバル化を目指します。

	Timing Performance	Positioning Performance	Timing Ground Broadcast	PNT Ground Broadcast	Timing Broadcast	PNT Broadcast
	1	1	1	1	1	1
	-	5	-	-	-	-
	6	-	3	-	4	-
	2	-	-	-	-	-
	6	3	4	2	5	3
	4	2	-	-	2	1
	-	-	-	-	-	-
	3	-	-	-	-	-
	-	4	-	-	-	-
	-	5	-	-	-	-
	5	-	2	-	3	-

Source: Complementary PNT and GPS Backup Technologies Demonstration Report (January 2021)

JAXAとMetComの取組ご紹介 J-SPARC（宇宙イノベーションパートナーシップ）

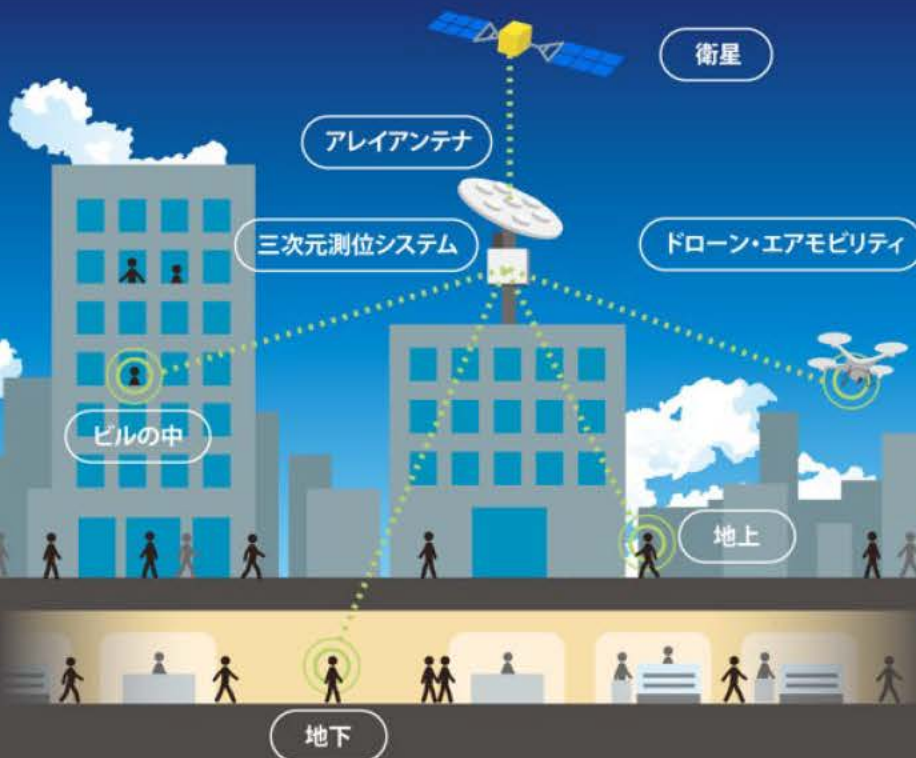


MADOCA-PPPとの時刻同期による地上波方式測位システムの精度・安全性向上

→ 準天頂衛星と地上波システムの組合せで、GPS補完を万全にする



- 三次元測位システムへのMADOCA-PPP技術とアレイアンテナ技術の組み込み



- MADOCA-PPPを用いた時刻同期技術の研究開発
- 衛星信号受信アンテナのアレイ化の研究開発

地下・屋内・屋外問わず測位をシームレスに

©JAXA/MetCom

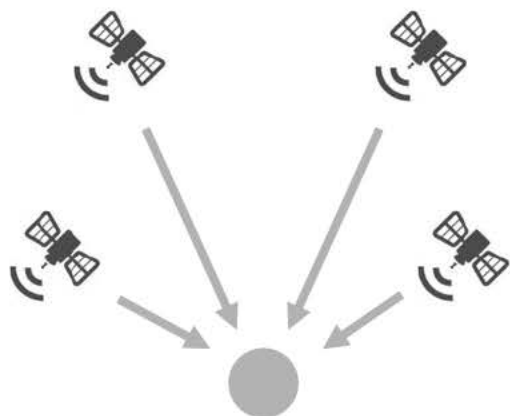
MADOCA: JAXAが開発した複数GNSS対応高精度軌道時刻推定を実現するソフトウェア

MADOCA-PPP: MADOCAにより生成された補強情報により、cm級測位を実現するための、高精度測位補強サービス

GPS、準天頂衛星、地上波のシステム比較

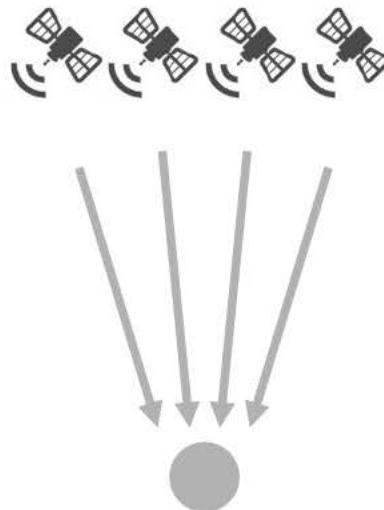
GPS

斜め



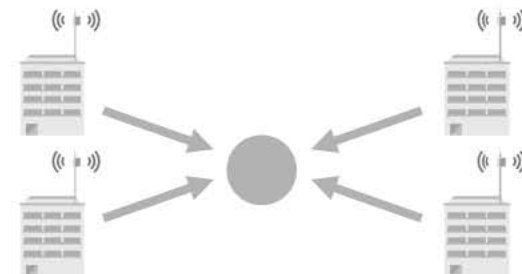
準天頂衛星
(みちびき)

縦



地上波
(3次元測位システム)

横



位置と時刻の地上波システムは、 衛星システムに「+α」「補完」で貢献する

位置情報

時刻情報

サービス
アプリケーション
ソリューション

スマホアプリ（生活者向け、業務向け）、
人流分析等

公共安全、
産業向け、
自動車、
エアモビリティ等

通信、金融、電力、
データセンター等

GNSS利用シーンに「+α」と「補完」を組み込み、社会実装

受信側

スマートフォン
(3次元測位システム対応)

非スマホ
(IoT端末)

システム
(時刻供給)

PNT
システム

供給源

拡張
+
補完

3D化 (垂直位置情報)

衛星システム補完 (屋内・地下 + 受信困難・機能不全時の代替機能)

既存

衛星測位システム (GPS、みちびき等)

3次元測位システムに対する期待

GPSでは測位が難しいシーン（屋内、地下など）への対策やGPSの障害対策として、3次元測位システムの早期実現を求める声が存在

（例）

- 屋内の活動状況把握（消防隊員、警備員、清掃員など）
- ドローン・エアモビリティの安全性の向上
- GPS時刻同期のバックアップ

(事例紹介) 消防活動における屋内3D測位

浜松市にて「3D都市モデル、三次元測位システム等を活用した消防活動の円滑化」をテーマとする実証実験事業に採択



<p>課題</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 要救助者の安全確保のみならず、救急隊員の安全確保や的確な位置把握が重要課題 ■ 救助活動に従事する消防隊員の安全性の確保という観点で、屋内における隊員の行動を把握することが現状困難であり（特に垂直位置）、不測の事態が発生した際、隊員の位置を瞬時に把握することができない。また、現場指揮では危険情報等の正確な場所を把握することができないという課題がある
<p>課題解決手法</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ MetComの垂直測位技術を利用し、GPSとの組合せにより、屋内で活動する消防隊員が携行する端末の三次元位置を把握できるようにする ■ 隊員が自分自身の位置を知ることができるようにするだけでなく、指令本部で複数隊員の位置を確認できるようにする

端末イメージ

スマホ



非スマホ



自己位置表示
+
遠隔把握

遠隔把握

管理者ビューワー



次のステップとして
電波3D測位による効果向上
(GPSの弱点補完)
に対する期待の声

MetComが貢献できる市場は大



位置情報関連市場セグメント (*1) のみならず、
より広い社会経済全体に対する備え (*2) の面から、対応市場は巨大

(*1) 位置情報市場、屋内測位市場、人流データ市場等

(*2) 衛星測位バックアップシステム具備

位置情報関連市場の例 (顕在市場)

位置・地図情報
関連市場

1,827億円

2024年度 (予測)

2017年度から2025年度までの
CAGR (年平均成長率) : 6.3%

(出典) 「位置・地図情報関連市場に関する調査 (2020年)」
(2020年11月5日発表) 株式会社矢野経済研究所

屋内位置情報
ソリューション市場

76億円

2024年度 (予測)

前年度比 : 127.5%

(出典) 「屋内位置情報ソリューション市場に関する調査 (2021年)」
(2022年1月7日発表) 株式会社矢野経済研究所

衛星測位バックアップ 市場ポテンシャル

衛星測位システムによる
日本への経済利益

16.4兆円 / 年

衛星測位システム停止
による損失

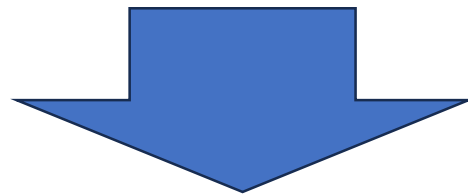
234億円 / 日
→ 8.5兆円 / 年

(出典) 米国国立標準技術研究所 (NIST) による米国経済への
影響試算を基にした弊社試算
1ドル140円、日米名目GDP比 16.7% で単純計算

2. 3次元測位システムの技術的条件

3次元測位システムの要求条件と 所要周波数帯 / 帯域幅

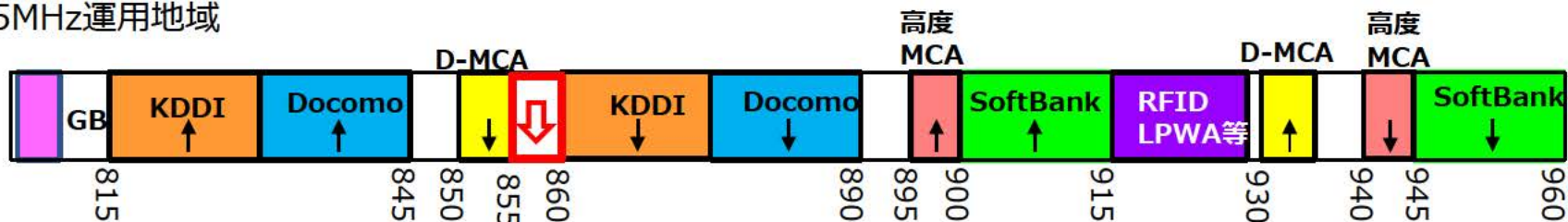
1. 屋内への十分な浸透力 (サービスエリア全域の屋内カバー)
2. スマホ等の端末への容易な実装
3. グローバル展開の容易さ
4. 水平精度 10m以下 [≒30ns以下] (部屋レベルの特定)
5. 垂直精度 3m以下 (フロアの特定)
6. 時刻精度 1 μ s以下 (PTPサービスの提供条件)
7. GPS障害対応機能



プラチナバンド帯 / 5MHz幅
(PTP時刻配信サービスであれば2MHz幅)

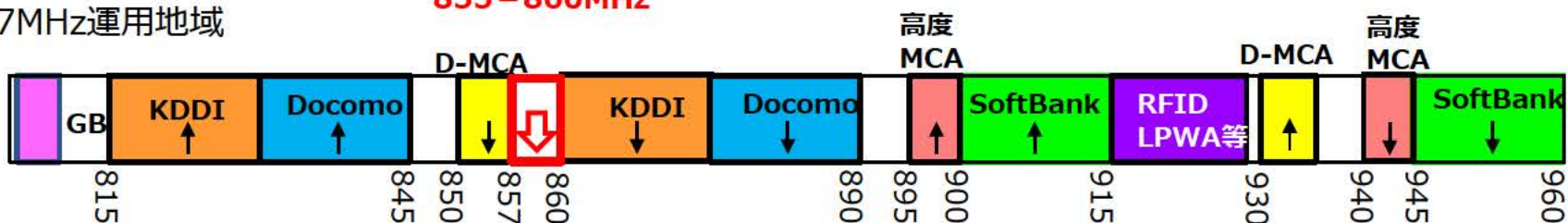
3次元測位システムで使用する周波数候補

MCA 5MHz運用地域



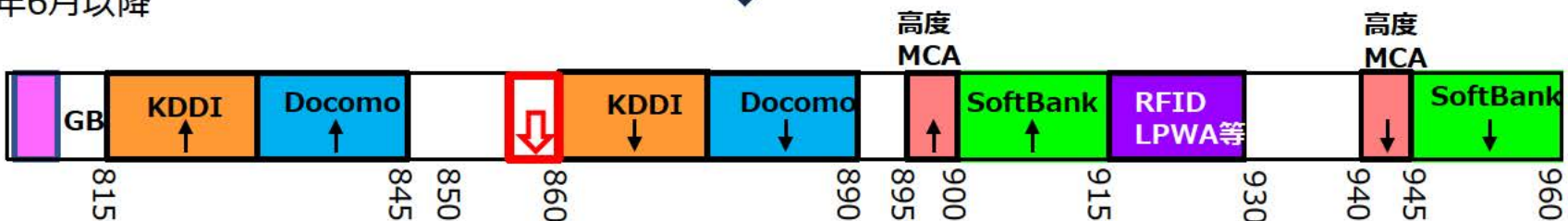
3次元測位システム候補
855 - 860MHz

MCA 7MHz運用地域



3次元測位システム候補
857 - 860MHz

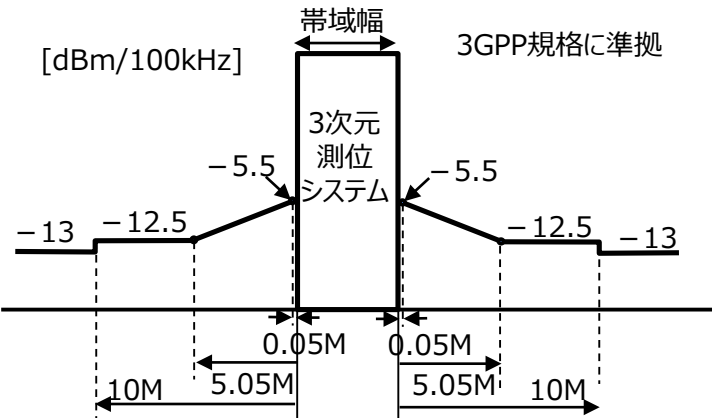
2029年6月以降



3次元測位システム候補
855 - 860MHz

3次元測位システム無線装置の諸元

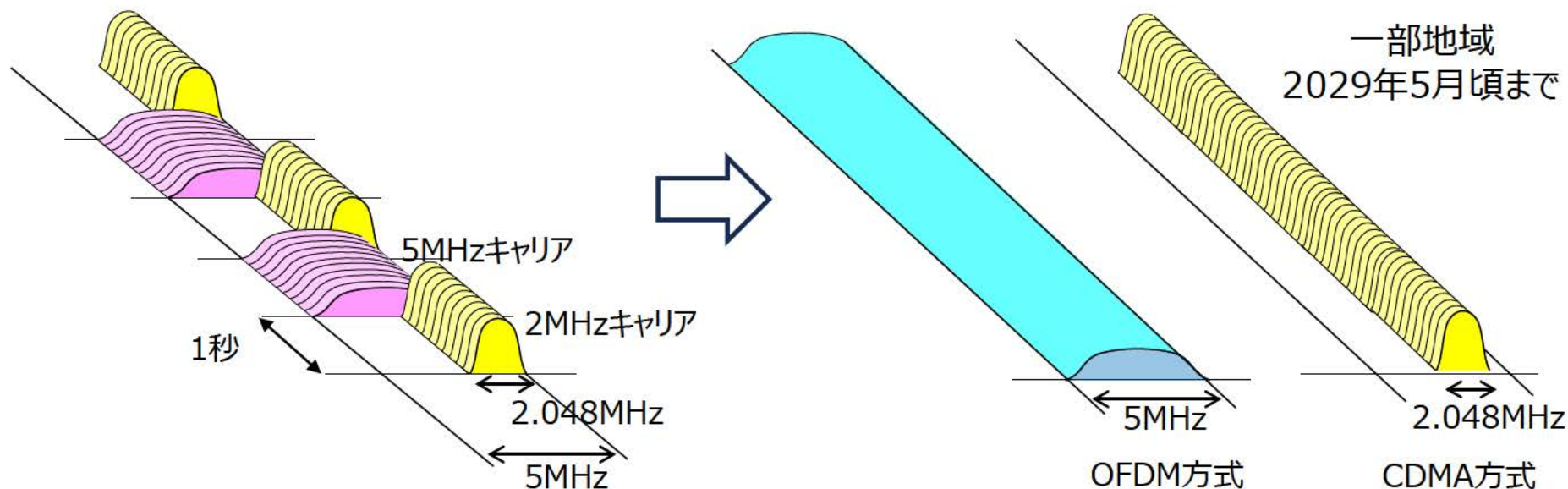
ARIBにて実施した[デジタルMCAの跡地の早期利活用開始に向けた調査検討]時のスペックにOFDM方式を追加。ただし、送信電力、帯域外発射レベルには変更がないので干渉条件は同じ。

	調査検討会で検討した諸元	今回提案する諸元（赤字が変更点）
周波数、帯域幅、多重方式	5MHzキャリア 帯域幅 5 MHz 中心周波数 857.5MHz CDMA方式 2MHzキャリア 帯域幅2.046MHz 中心周波数 858.9MHz CDMA方式 5MHzキャリアを送信する場合は、5MHzキャリアと2MHzキャリアを1秒ごとに交互に送信	5MHzキャリア 帯域幅 5 MHz 中心周波数 857.5MHz OFDM方式 2MHzキャリア 帯域幅2.046MHz 中心周波数 858.5MHz CDMA方式 5MHzキャリアと2MHzキャリアはそれぞれ独立に送信
送信出力	20W程度	同左
アンテナ利得	14dBi以下	同左
帯域外発射レベル		同左

5MHzキャリアと2MHzキャリア

3次元測位システムは、基本的にOFDM方式で5MHz帯域を使用する

2029年5月までは、一部地域でMCAが7MHz運用を行うため、当該地域等ではCDMA方式の2MHzキャリアを採用し、時刻精度 $1\mu\text{s}$ 程度の高精度時刻配信サービス(PTPLレベル)を提供する。(2MHz幅では所要精度がでず、位置測位サービスは提供しない)

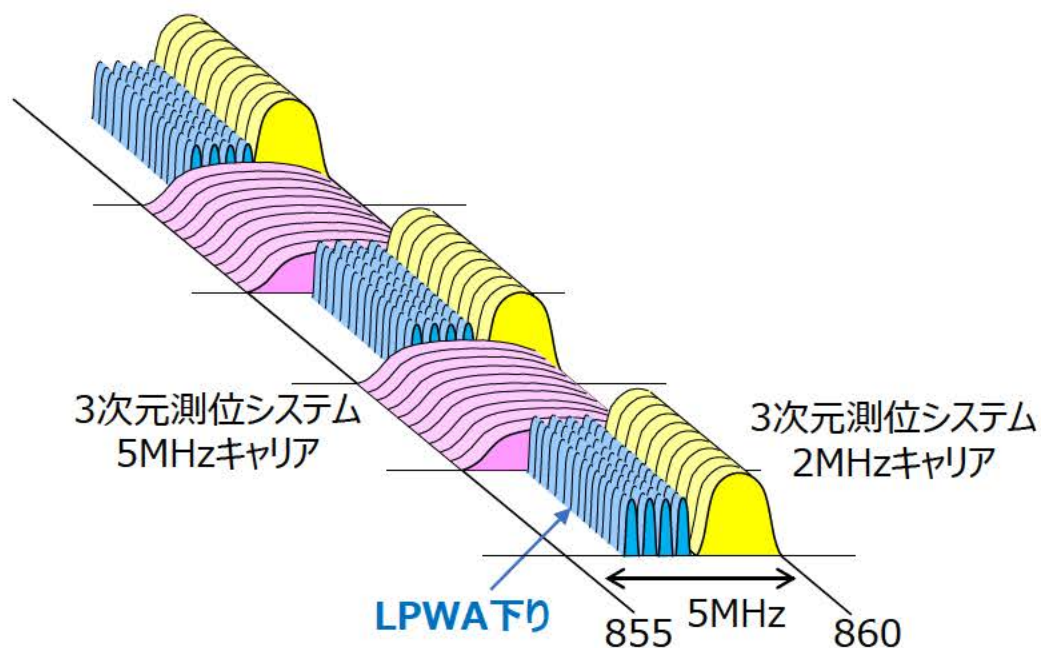


調査検討会で検討した方式

今回提案する方式

【参考】855-860MHz帯における当初の共用条件

2023年にARIBにて実施した[デジタル MCA の跡地の早期利活用開始に向けた調査検討]においては、と同じ帯域でLPWA下り方式(2MHz幅)の利用希望があった為、3次元測位システムとは周波数分割及び時分割で共用する事を検討したが、LPWA下りシステムが利用が見送られたので、今回は5MHzを使用する方式で提案する。



LPWA下りとの共存

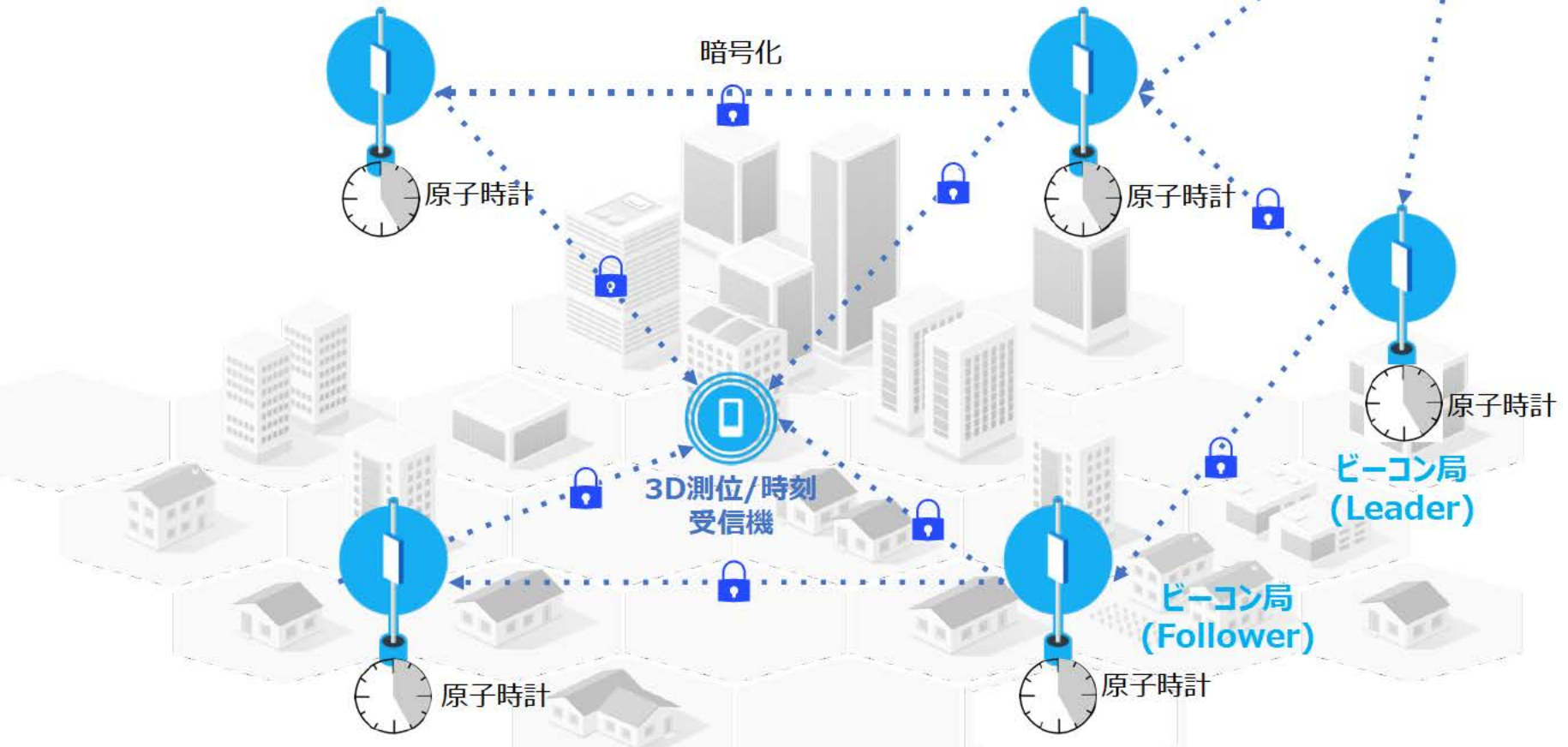
日本における3次元測位システムの構成と特長

日本独自の3D測位と時刻配信システムを実現

→ “みちびき”の超高精度クロックをソースとして利用
日本が自律的に制御可能なシステムに



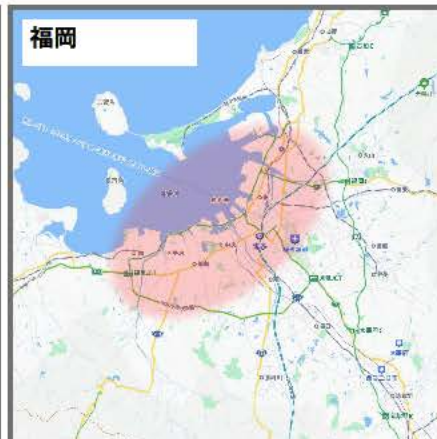
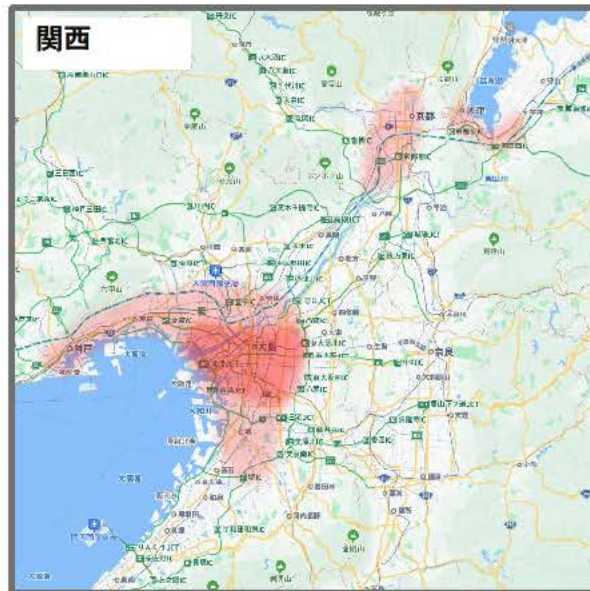
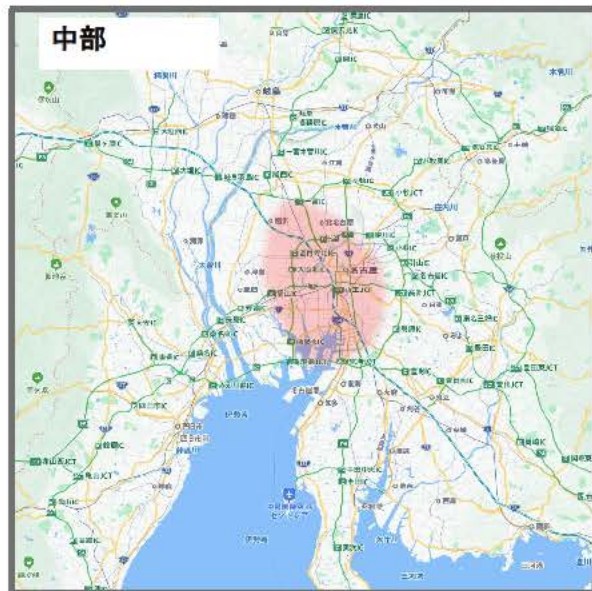
みちびき
(QZSS)等



【参考】MetCom垂直測位サービスエリア (2024年3月現在)



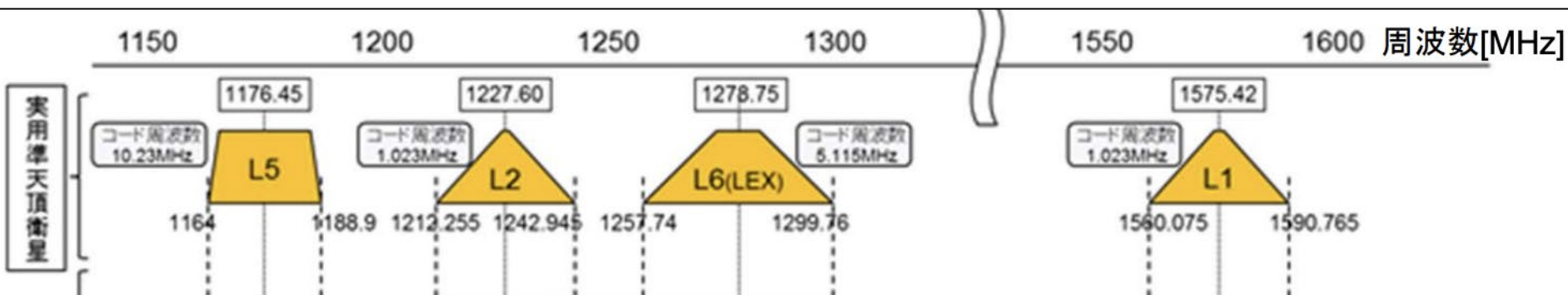
今後も県庁所在地等、全国に拡張を計画している



注) 上記以外に需要に応じ、個別エリアも設定して行く

有難うございます

【参考】QZSS(みちびき)の占有帯域 (合計: 128.3MHz幅)



周波数帯	Block I	Block II
L1帯 (cf:1575.42MHz = 154 x f0)	24.0MHz	30.69MHz
L2帯 (cf: 1227.60MHz = 120 x f0)	24.0MHz	30.69MHz
L5帯 (cf: 1176.45MHz = 115 x f0)	24.9MHz	24.9MHz
L6(LEX) (cf:1278.75MHz = 125 x f0)	42.02MHz	42.02MHz
合計	114.92MHz	128.30MHz

内閣府HPより参照 <https://qzss.go.jp/technical/system/pnt.html#section02>

“QZSS LEX 信号の概要、評価と拡張”より参照 https://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/gpsymp_2009_revA.pdf

参照: マルチGNSS解析技術等の開発にむけた衛星系の技術仕様調査 (国交省、国土地理院)

<https://www.gsi.go.jp/common/000068239.pdf>

【参考】QZSSの民生用信号一覧 (合計バンド幅: 99.656MHz)

GPSの民生用はL1 C/Aのみでスタートしたが、精度向上、マルチパス耐性への要望により広帯域化が進んでいる

名称	中心周波数 (MHz)	チップレート (Mcps)	変調方式	特徴	バンド幅 (MHz)
L1 C/A	1575.42	1.023	BPSK(1)	最も広く利用されている民生信号	2.046
L1 C	1575.42	1.023	BOC(1,1)	L1 C/Aよりも広帯域・耐マルチパス	30.69
L2 C	1227.60	1.023	BPSK(1)	第2の民生信号	2.046
L5	1176.45	10.23	BPSK(10)	第3の民生信号	24.9
L1-SAIF	1575.42	1.023	BPSK(1)	SBASと類似の補強信号	24
LEX	1287.75	5.115	BPSK(5)	QZSS独自の補強用信号 GALILEOのE6信号と同じ中心周波数	42.02
合計(overlap分を除く)					99.656

NICT(情報通信研究機構季報 Vol.56)HPより参照

https://www.nict.go.jp/publication/shuppan/kihou-journal/kihou-vol56no3_4/kihou-vol56no3_4_0501.pdf

※ 上記はみちびき初号機の信号構成であり、現行の内閣府事業ではL1-SAIFはL1S信号として、SLAS（サブメータ級補強サービス）と災害危機管理通報サービスを提供、LEXはL6信号としてCLAS（センチメータ級補強サービス）とMADOCA-PPP高精度補強サービスの提供に用いられている”

【参考】測位精度と帯域幅の関係

3次元測位システムやGPSのような光速の伝播時間から測距し三角測量で測位を行う方式では、基本精度は時刻精度 (=帯域幅)に依存します。近年では広帯域化やマルチバンド受信が主流になり精度向上のニーズに応じています。

屋外の良好な環境における衛星測位精度

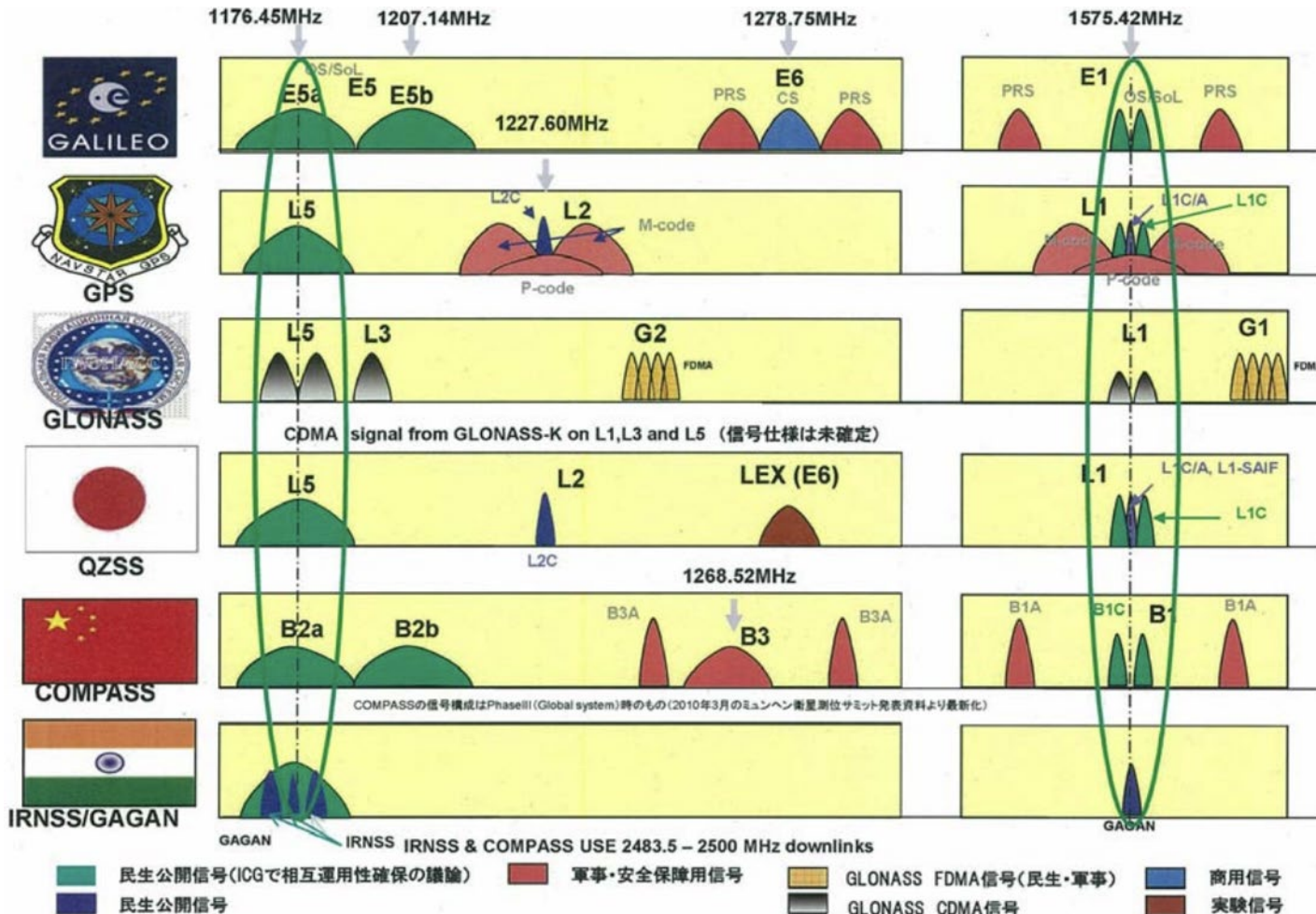
	チップレート Symbol長	精度 *)		バンド幅 MHz	備考
L1	1.023Mcps 約300m(1 μ s)	10m程度 (数10ns)	C/A	2.046	広帯域・耐マルチパス
			C	30.69	
L5	10.23Mcps 約30m(0.1 μ s)	1m程度 (数ns)		24.9	

*) 精度は受信機の性能やDOP値に依存

屋内環境では、L1 C/A信号は信号強度の劣化とマルチパスの影響で精度は著しく劣化 (30m以上)するが、基本精度の良い、広帯域幅のL1CやL5信号は、劣化度合いが低減される。

【参考】世界の衛星測位システム

各国が独自方式を展開しているが、相互運用も確保
 →GPS/GNSSチップセットが、複数のシステムに対応している



相互運用性を有する信号群

【参考】世界各地で発生するGPS妨害・なりすまし



(注) 航空機が発信するADS-B信号を用いてGPS妨害状況を推定した「GPS Jam」サイトによる情報
戦闘が激しく行われている地域など、民間航空機が飛行していない場所は測定対象外となる

(出所) <https://gpsjam.org/?lat=50.01599&lon=65.25489&z=2.9&date=2024-03-21&proj=mercator>