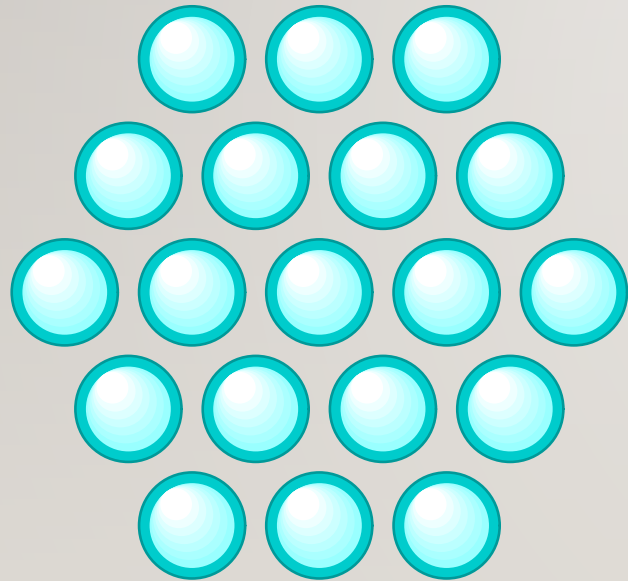


GNSS アレイアンテナ技術 について (アレイアンテナのすすめ)



平成 31年 2月 1日

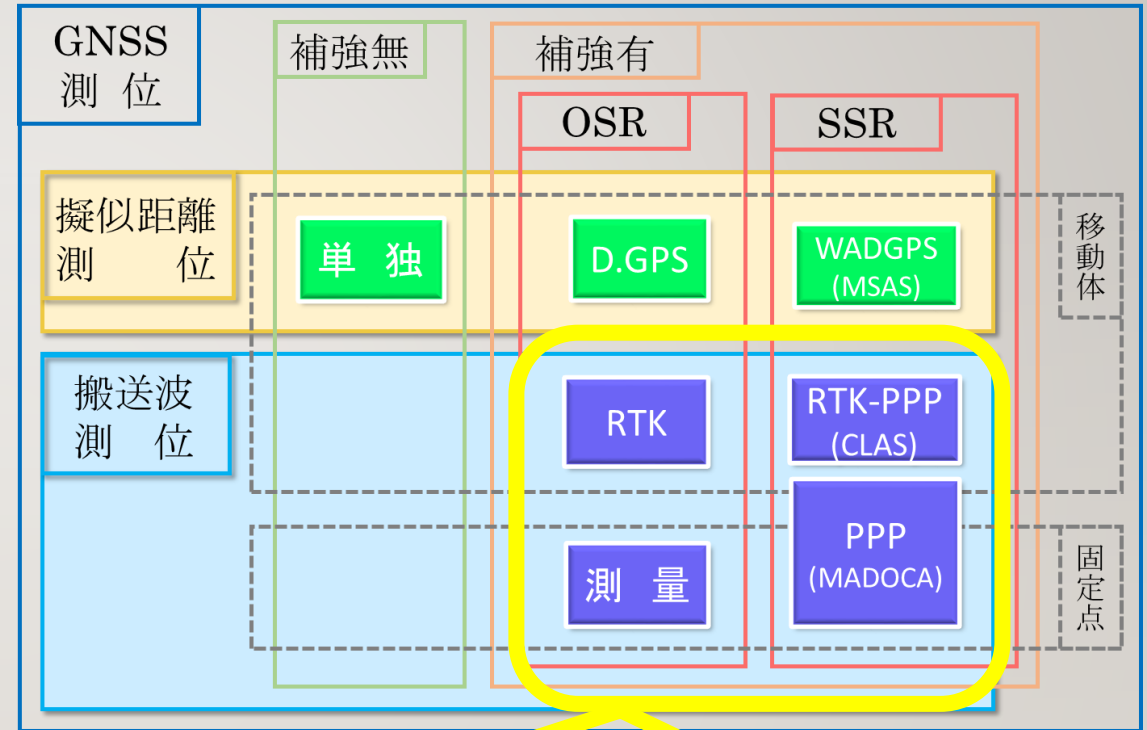
於 測位技術懇話会

AAI-GNSS 技術士事務所

荒井 修

1. GNSS 測位精度

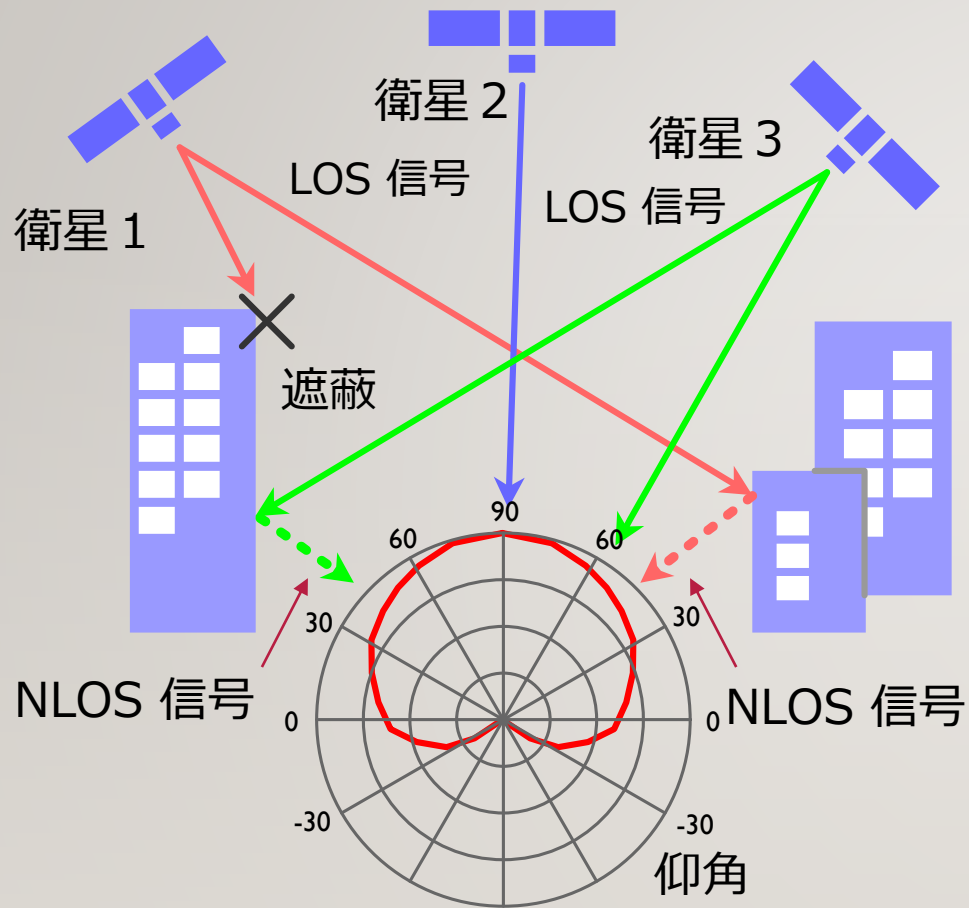
- 測位精度向上の鍵は搬送波位相の利用
- RTK(VRS)、CLAS、MADOCAなどで、cm級の測位精度を得ることが可能となった
- 但し、受信条件が良いこと
- 搬送波位相測位は信号の中断に弱い
- 中断からの復帰時に再初期化が必要
 - 所謂「アンビギュイティを解く」作業
- 搬送波位相の誤差成分が大きいと、アンビギュイティが解けない、あるいは誤る（ミスフィックス）となる（搬送波位相測位では致命的）
- 都心部での高精度測位は容易ではない



搬送波位相を用いた高精度測位

OSR : Observation Space Representation (補正情報の観測空間表現)
SSR : State Space Representation (補正情報の状態空間表現)

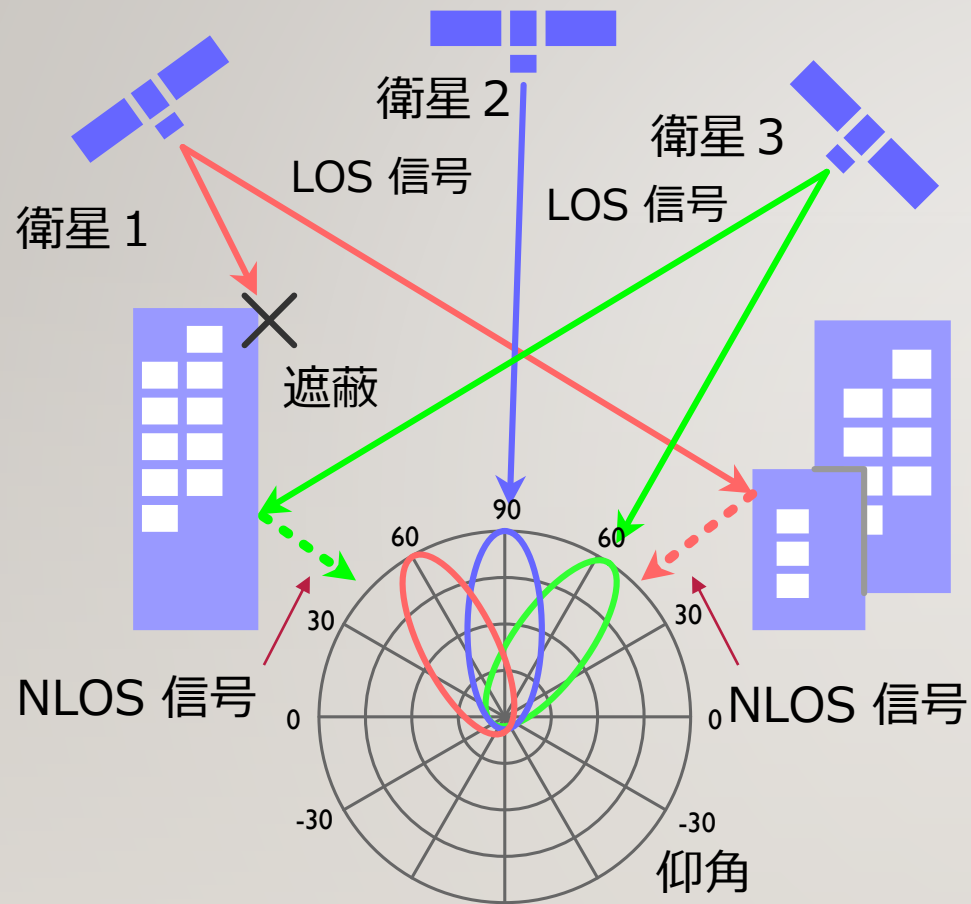
2.1 都心部における衛星信号



NLOS : Non-Line-of-Sight

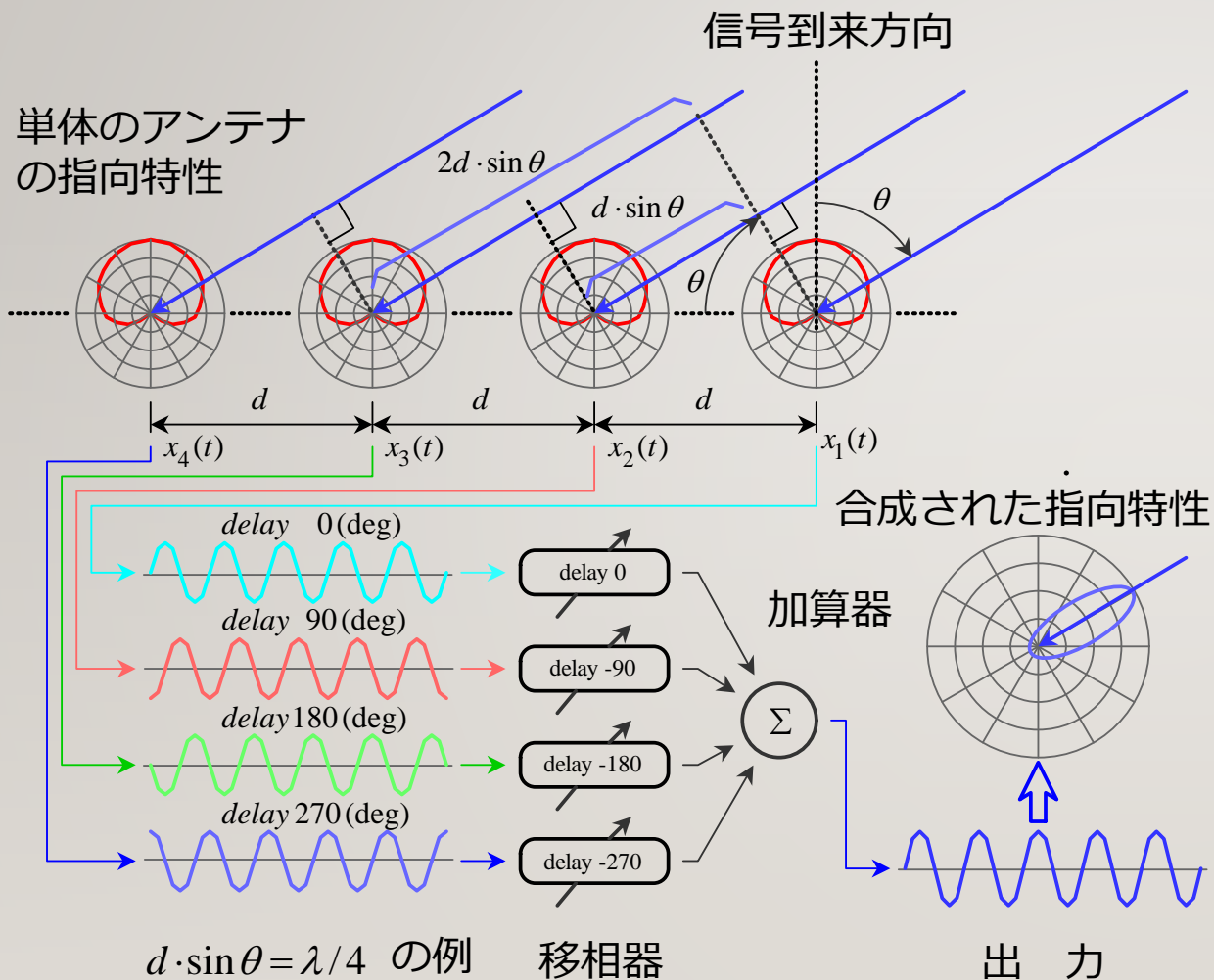
- 衛星1 (反射波 (NLOS信号) のみ)
 - 測位から排除できれば悪影響はない
 - 魚眼レンズによる上空の写真や、3-D 地図情報を用いたNLOS信号の排除方法も研究されている
- 衛星2 (直接波のみ)
 - 測位使用可能 (マルチパスの影響小)
 - 衛星数が少ない
 - 準天頂衛星に期待
- 衛星3 (直接波 + 反射波)
 - 測位に使用するが、マルチパス成分を含む
 - 搬送波位相の成分分離は不可能
 - 搬送波位相による測位を困難にする
 - 擬似距離測位の場合は、測位誤差増大
 - 搬送波位相の場合は測位可否の問題

2.2 都心部における望ましいアンテナの指向特性



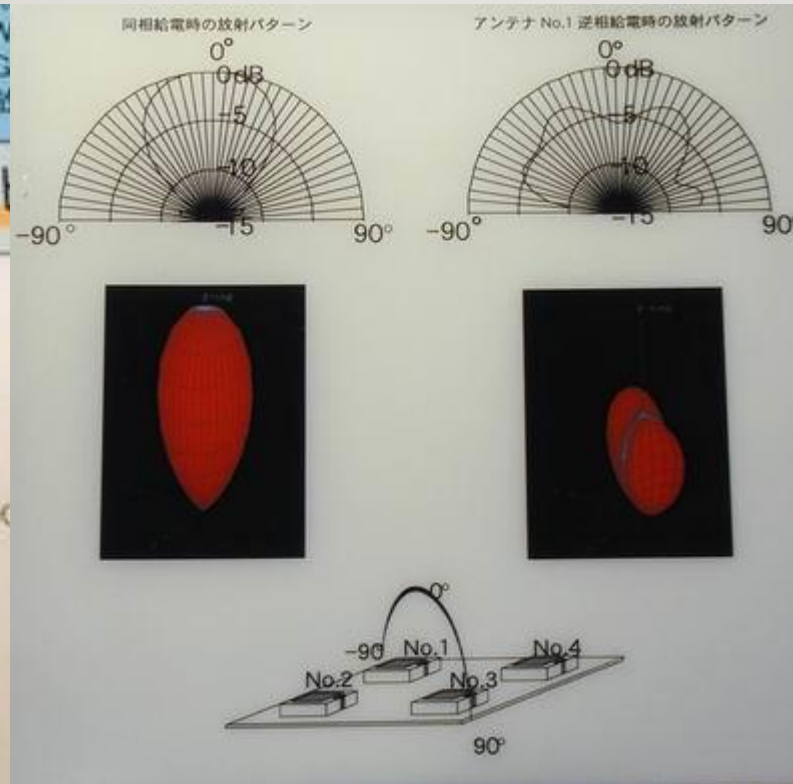
- アンテナの利得が直接波の方向のみにあれば問題が軽減できる
- 衛星 1 の信号（反射波による）レベルは低下し、捕捉・追尾が維持できず、測位から排除される
- 衛星 3 は受信信号中のマルチパス成分の大きさが減少する
- GNSS衛星は天空の広範囲に散らばっており、その位置は時々刻々変化する。衛星それぞれに指向性を向け続ける必要がある

3. 複数のアンテナによる指向性の制御



- $d \cdot \sin \theta$ が $\lambda/4$ の場合、
- $x_1(t)$ を基準に
 - $x_2(t)$ 90° , $x_3(t)$ 180° , $x_4(t)$ 270° 遅れる
- そのまま加算すると、出力はゼロ
- $x_2(t)$ -90° , $x_3(t)$ -180° , $x_4(t)$ -270° 遅延させて加算
- 信号の到来方向は6(dB)利得向上 (信号電力4倍)
 - 他の方向の利得は減少 (不要な信号の排除)
- 複数のアンテナの信号の位相 (及び振幅) を調整して加算することで、アンテナ単体の指向性とは異なった形を合成できる (ビームフォーミング)
- 利得を有さない方向を作り出すことも出来る (ヌルステアリング)
- CRPA (Controlled Radiation/reception Pattern Antenna) と呼ばれる

4.1 アレイアンテナの例 - 1 (TDK社)



- 4つのパッチ・アンテナから成るアレイ・アンテナ素子,
- 位相遅延および合成用IC「Y2050」, LNA「Y1000」
 - いずれも新規開発。バイポーラCMOS技術で製造したが, 今後SiGe技術での製造も検討
- 及びダウンコンバータIC「Y1500」で構成
- 全体の消費電力は約100mW
- 外形寸法
 - 90mm×90mm×23mm

アナログ回路による
ビームフォーミング

4.2 アレイアンテナの例 - 2 (NAVSYS社)



実験車両に搭載した 109素子
アレイアンテナ



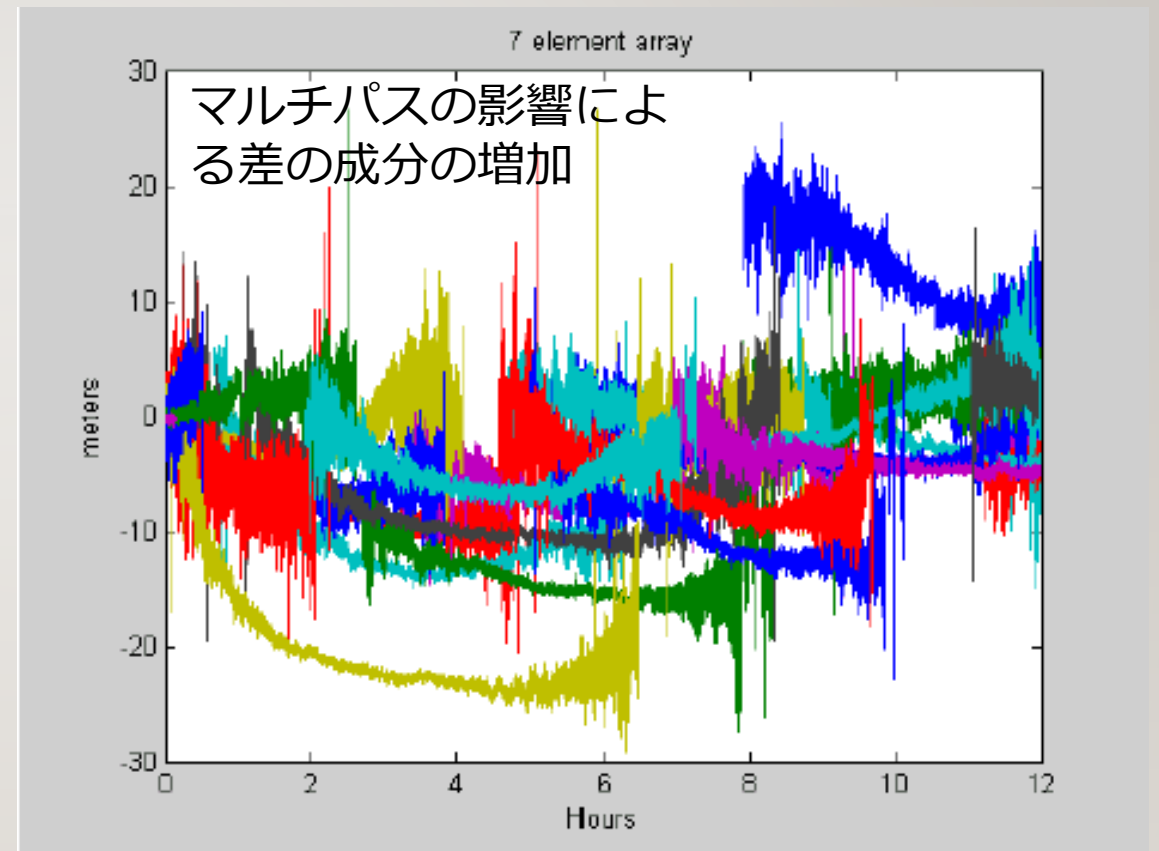
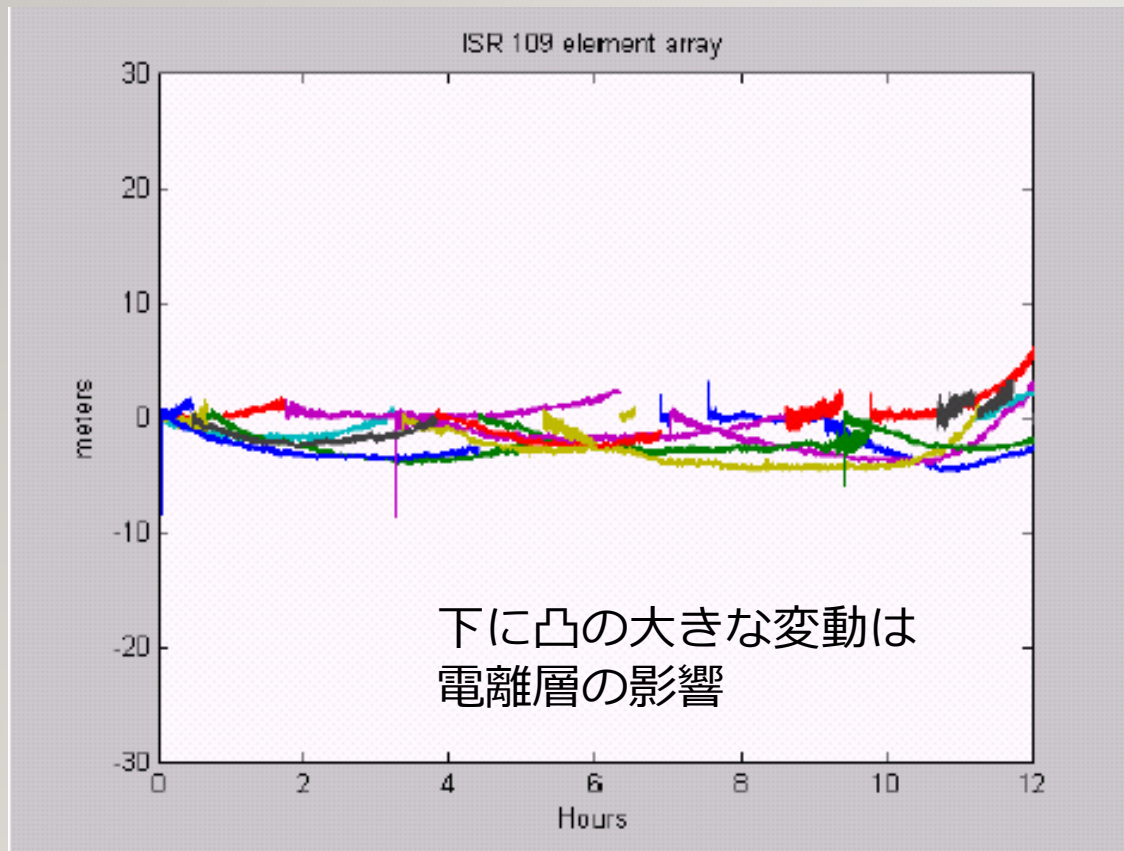
実験車両



受信部及びデータロガー

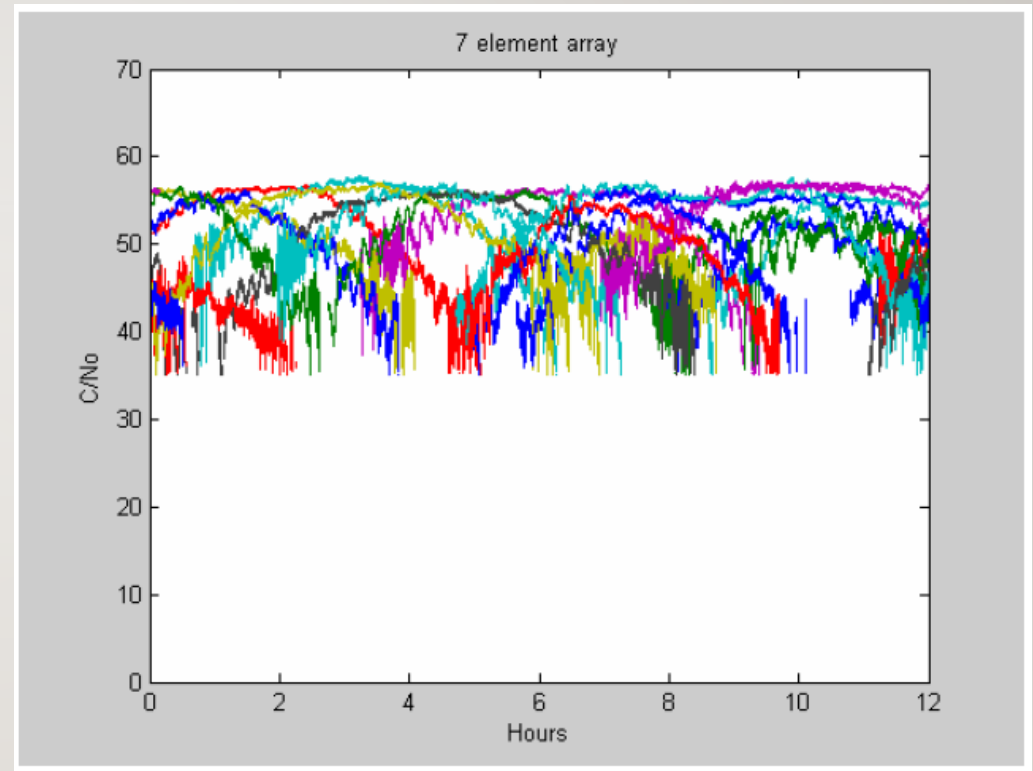
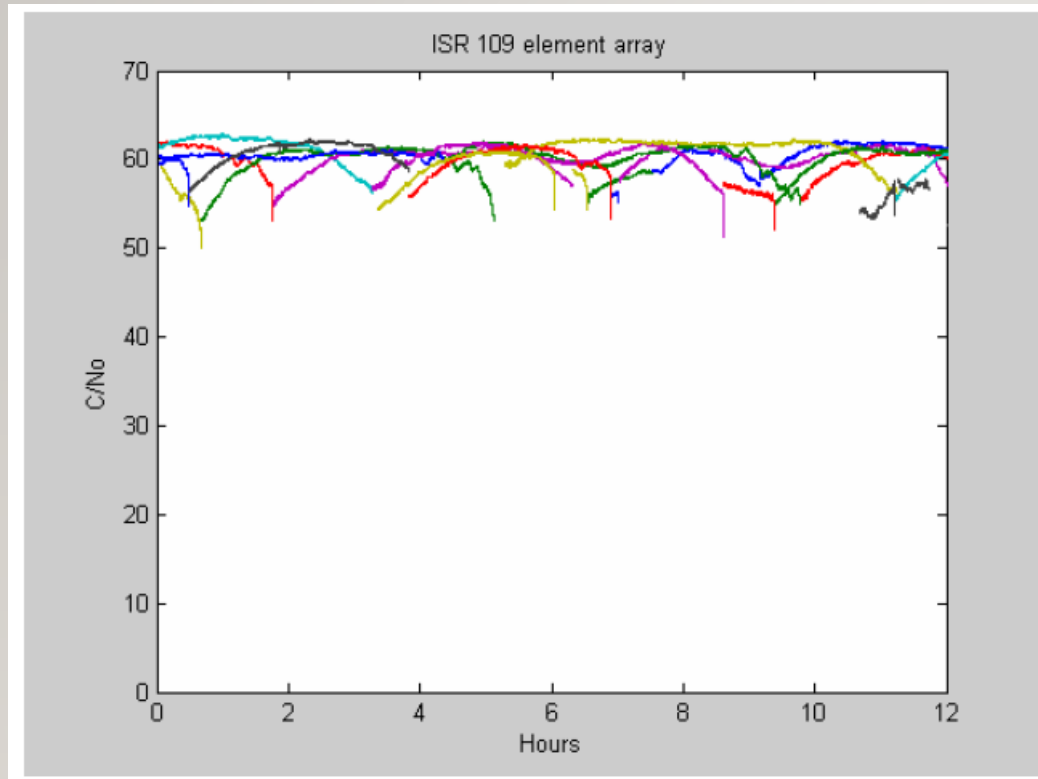
- 米 NAVSYS 社の109素子アレイアンテナの例
- 米軍の予算
- 2000年代前半に多数の論文発表
- 実時間処理には至らなかった模様

4.3 マルチパスの抑圧効果



Code minus Carrier (CMC or CC difference) 処理によるマルチパス成分の抽出結果
109素子アレイアンテナはマルチパス成分が抑えられていることが確認できる

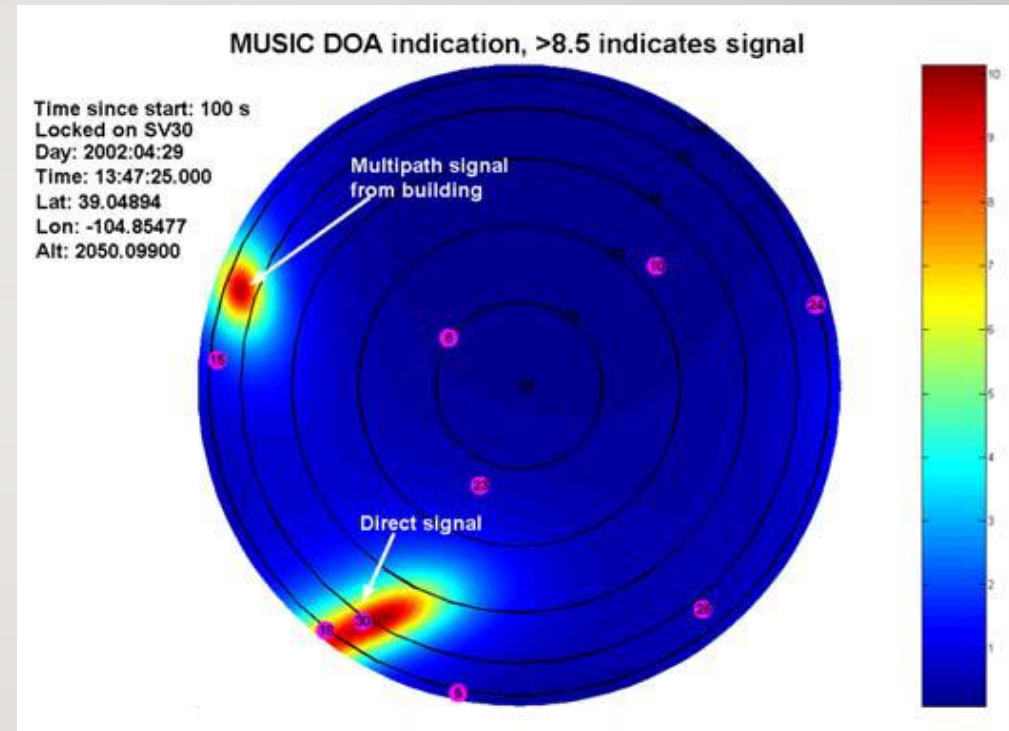
4.4 信号 C/N0の向上



- 109素子は7素子に比べ、7(dB)程度高いC/N0が得られている
- 擬似距離、搬送波位相の観測誤差（熱雑音）は $\sqrt{1/CN0}$ に比例するため、約 1/2.2 に減少する

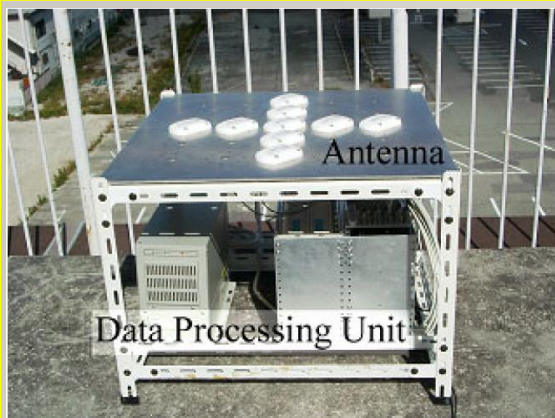
4.4 信号到来方向の推定

- 信号到来方向の推定
- ビームフォーミングを行う前に、信号到来方向の推定が必要
 - アレイアンテナの正確な姿勢が既知であれば省略可能か…
- アルゴリズムの例
 - MUSIC(Multiple Signal Classification)
 - 信号の相関行列を作り、固有値、固有ベクトルを求め、空間スペクトルを計算する他にも、
 - Beamformer, Capon, LP, Min-Norm, ESPRITなどが存在する

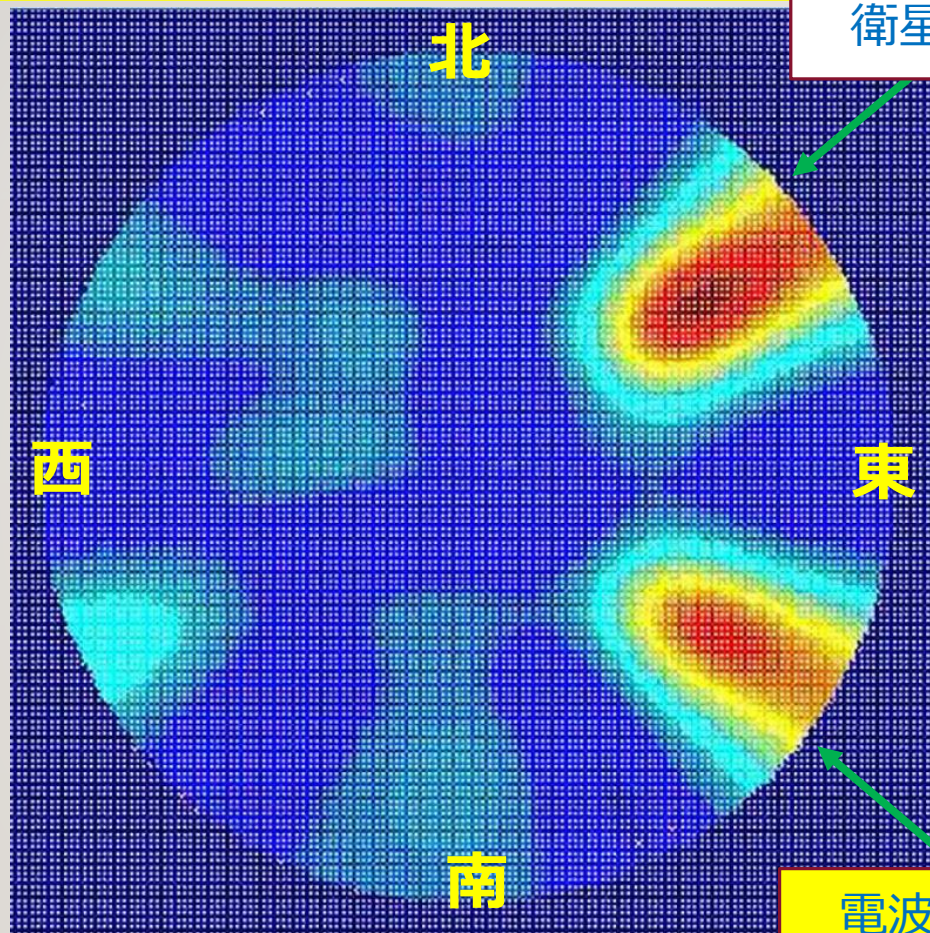


NAVSYS社がMUSICアルゴリズムによって推定したマルチパス成分

4.5 アレイアンテナの例 - 3 (古野電気)



アレイアンテナ及び
データ収録用CPU



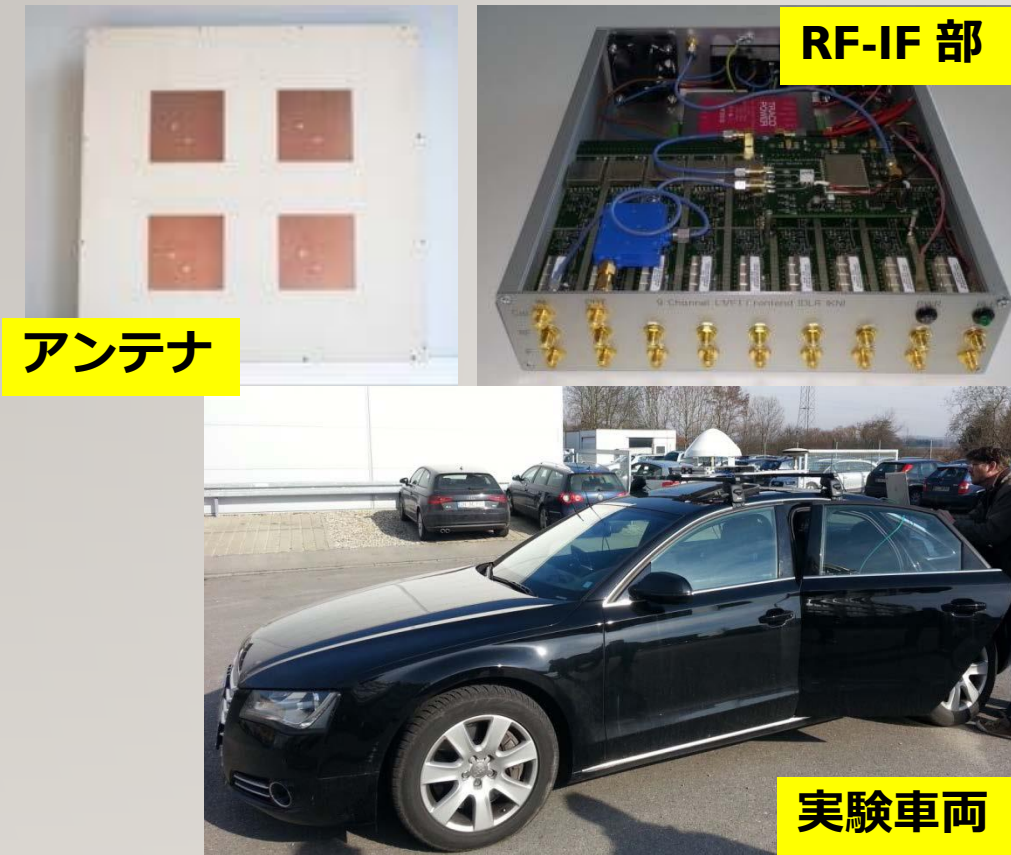
推定したマルチパス成 (2001.02.14)

衛星の方向

電波反射物

- 目的
 - GPS搬送波位相のマルチパス成分の除去
- 縦5素子、横5素子 (9素子"十"型配列)
- MUSICによる信号到来方向推定
- 成果
 - 信号到来方向の推定ができること確認
 - 信号間のバイアス除去のためのアルゴリズムを開発 (特許申請)
 - ION GPS/GNSS 2003 にて報告

4.6 アレイアンテナの例 - 4 (独航空宇宙センター-(DLR))

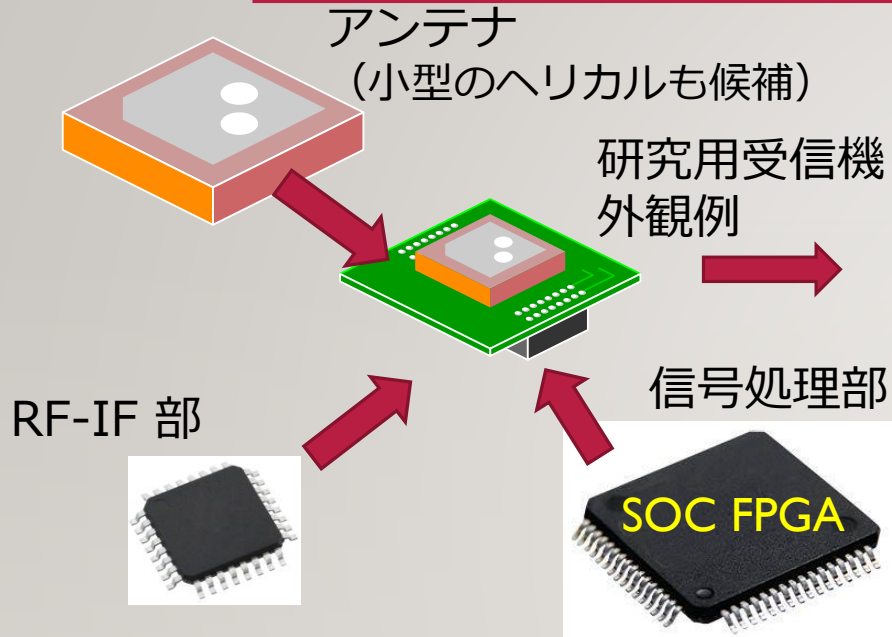


http://itsnt.recherche.enac.fr/application/files/8214/5373/8378/Antenna_Arrays_for_Robust_GNSS_in_Challenging_Environments_Konovaltsev.pdf

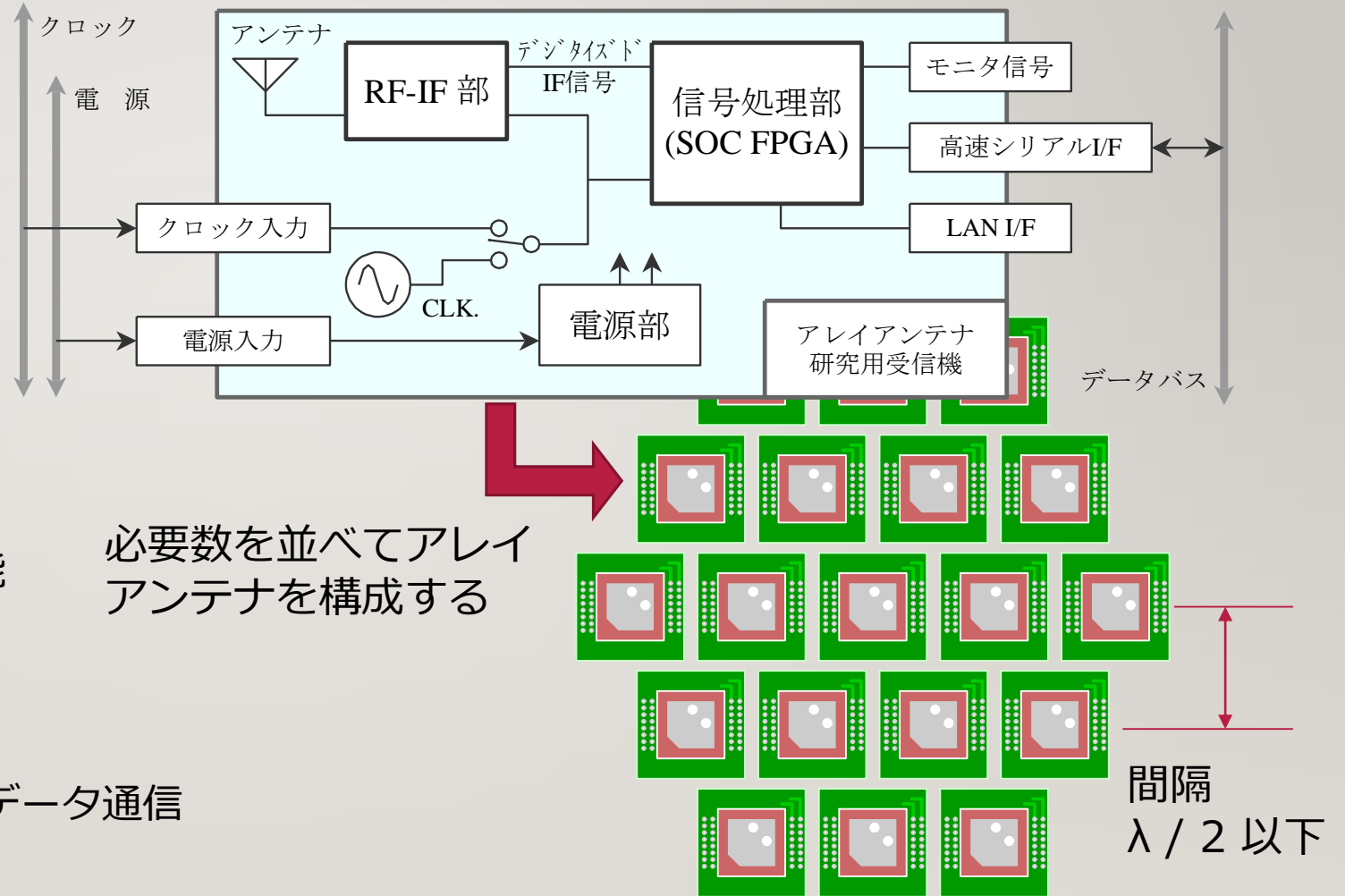
5. 都市部での高精度測位にはアレイアンテナが…

- わが国でも興味が持たれつつある
- 問 題 点
 - 米国は軍の要求（対ジャミング、対スプーフィング）もあり、（金に糸目を付けない）研究が行われたようだ
 - 民生用ではアレイアンテナの必要性は現時点ではそれ程感じられていない…ようだ
 - 先行する研究は受信機ハードウェアの規模が可也大きい→研究用の機器の準備に費用を要する
 - ハードウェアの遅延時間の変動
 - 計算量が膨大で、実時間処理が困難であった
- 対 案
 - まずは研究に共通に使用できる受信機を安価に実現できないか
 - 小型化、高速データ入出力、処理の分散 を図る

6.1 アレイアンテナ研究用受信機



- デジタイズド IF信号を高速で入出力できる機能
- アンテナ、RF-IF、信号処理部を一体化
- 外部クロックに同期可能
- 高速シリアル通信 (G bit/s以上) で相互にデータ通信
- 受信機そのものの研究にも使用できる



6.2 アレイアンテナ研究の課題

- 原理そのものは古くから研究され、確立している
- アンテナ素子の相互干渉
 - 素子の感覚は最大 $1/\lambda$ (GPS L1の場合、9.5(cm))
 - 校正、補正が必要
- 配線や素子の遅延時間、位相の変動
 - 各種ケーブル
 - 受信機アナログ部
 - 出来るだけ小型化が必要
- 大量のデータをどのように集約し処理するか
 - 多数の受信機のデータそれぞれの信号を、衛星別に位相と重みを調整し、加算する
 - 高速のシリアル通信を利用できないか？
 - 衛星及びアンテナの姿勢の変化で時々刻々位相と重みは変化する
- 実時間処理は必須
 - オフライン処理では能率が非常に悪い
 - FPGA内の乗算器を活用して処理を分散できないか (ビームフォーミングの処理はFPGA内で完結できないか)
- 模擬信号発生器も必要
 - 既製品もあるが、非常に高価
- GNSSのみでなく、多方面の支援が必要
 - 一人で出来ることは限りがある
 - アレイアンテナの処理アルゴリズムの研究に専念できるような環境づくり
- もちろん予算獲得も…

7. まとめ

- GPS近代化、QZS実用化によって、（システムが提供する）測位精度は向上する
- 但し、受信環境が良くなければならない
 - CLASは測量、情報化施工、IT農業での利用を想定（内閣府 みちびきについて）
- 利用者側の受信機がこのままでは、利用範囲の拡大は困難であろう
- 大きな誤差要因である（搬送波位相）マルチパスの対策が必要
- アレイアンテナによって搬送波位相（擬似距離も含む）マルチパスの緩和が期待できる
 - 「数は力なり」センサーの数を増やせば、質の良い情報を得ることができる
- 現在は高価でも、実用化（大量生産）されれば、安価になる
- 研究には GNSS のみでなく、幅広い分野からの協力が必要

ご清聴ありがとうございました