



VLBI周波数比較への応用と Gala-Vシステムの開発(II)

関戸 衛、岳藤一宏、氏原秀樹、
ホビガー トーマス、市川隆一

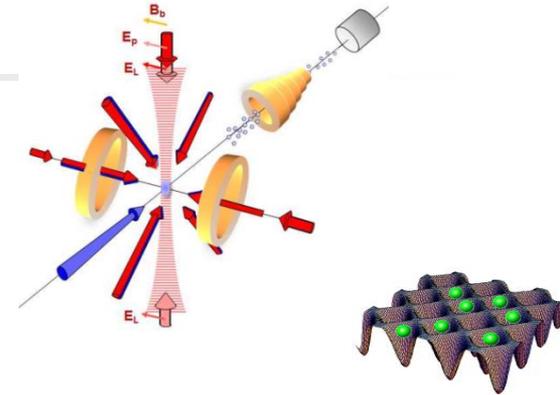
情報通信研究機構 時空標準研究室

Mission Target: =

Frequency Comparison of Clocks at Intercontinental Distances

■ 背景:

- 日本標準時を維持するNICT。
- 光周波数標準の開発が進んでおり、近い将来世界の原子時計の基準はCs原子時計は、より高い周波数の確度 ($1.e-16$ 台) をもつ光周波数標準器に置き換わる。
- 世界各地の光周波数標準器の周波数を高精度で、比較する必要がある。→新しい“秒”の定義へ



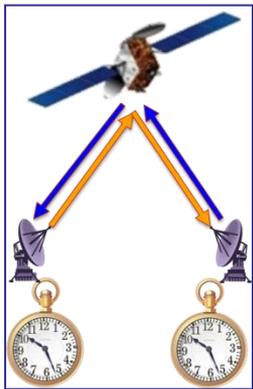
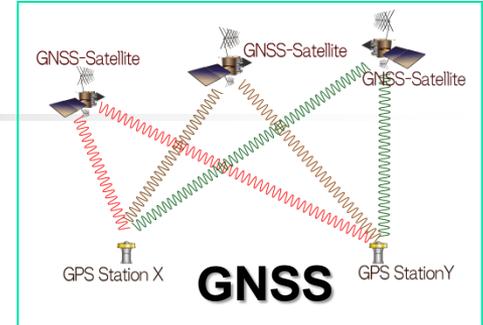
Mission Target: =

Frequency Comparison of Clocks at Intercontinental Distances

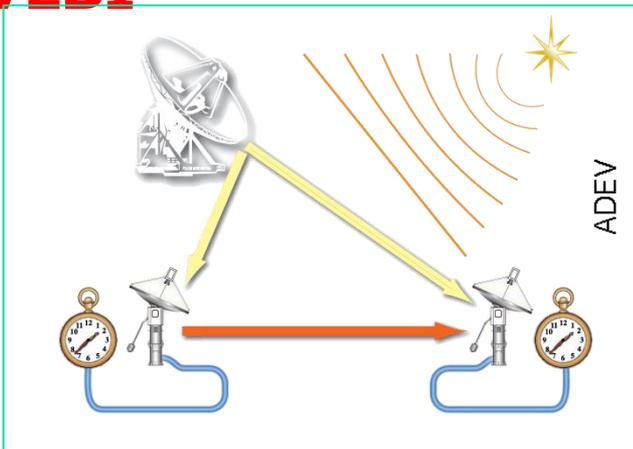
遠隔周波数比較技術としての

宇宙測地技術

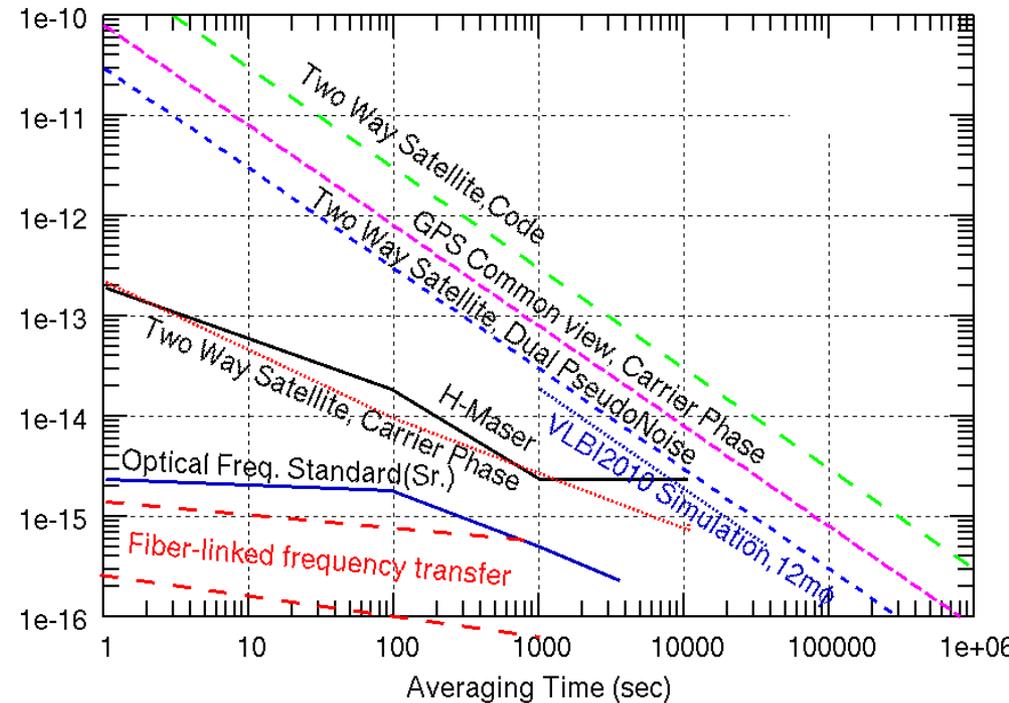
- GNSS(Common view, PPP)
- Two way Satellite Time and Frequency Transfer(TWSTFT)
- VLBI



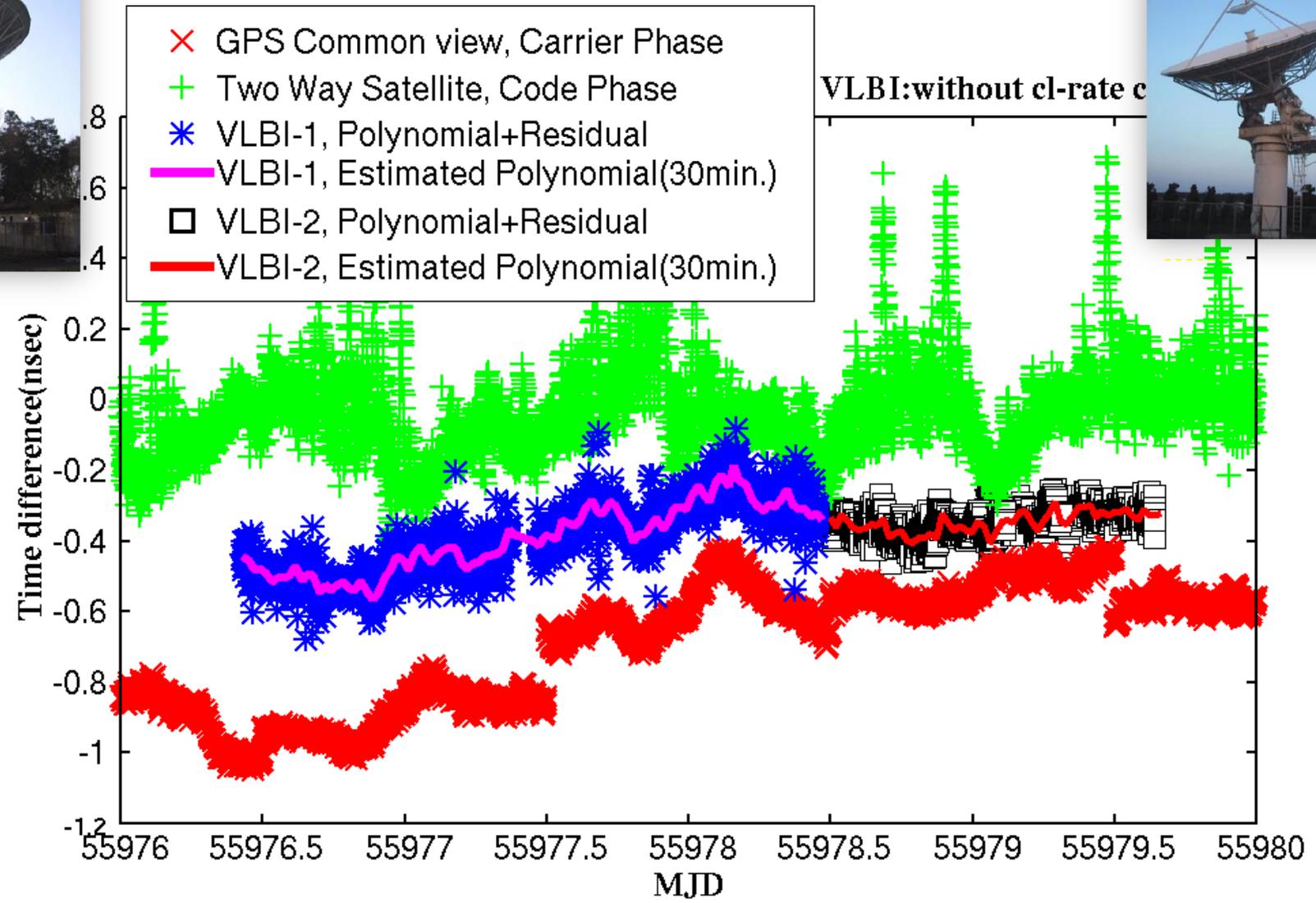
TWSTFT



VLBI



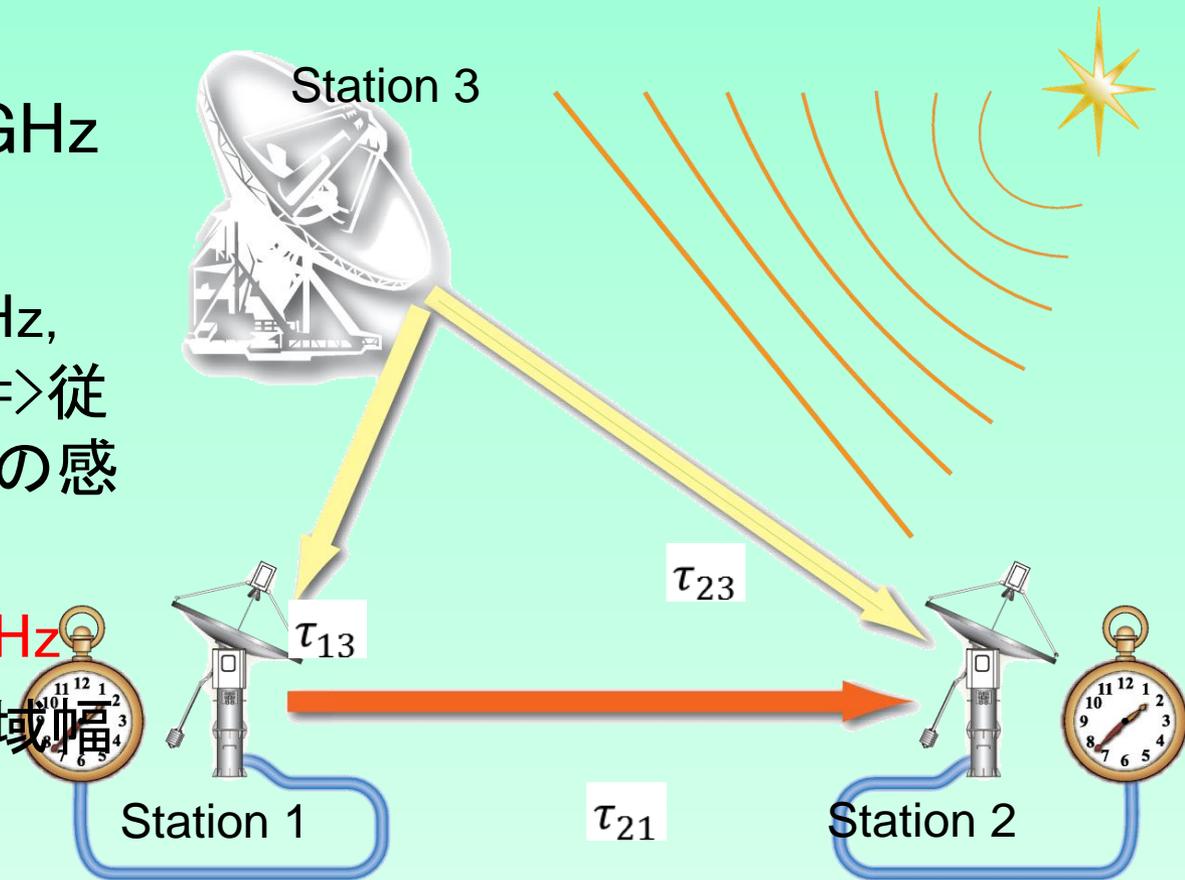
Comparison of TWSTFT, GPS, VLBI Exp. on 19-22 Feb. 2012



Gala-V project Overview

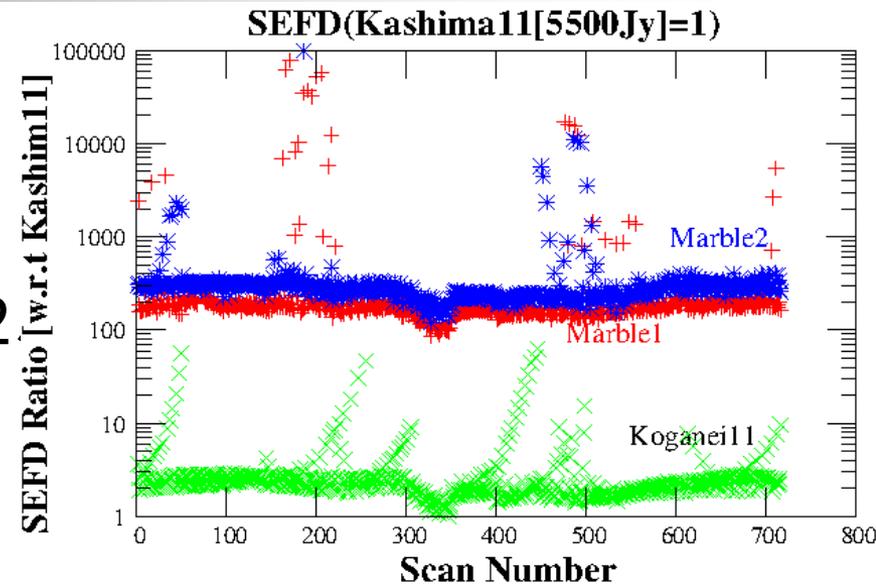
小型—大型アンテナの組み合わせ

- 観測周波数: 3–14GHz
 - 4 band (1024MHz)
 - $F_c = 4.0\text{GHz}, 5.6\text{GHz}, 9.9\text{GHz}, 13.1\text{GHz} \Rightarrow$ 従来(256Mbps)の4倍の感度改善
 - Effective BW: 3.8GHz
 \Rightarrow 従来の10倍の帯域幅



測地VLBI実験: 2013年2月3-4日

- 目的:
 - 地震後の局位置測定。
 - 直線偏波改造前の性能確認
- 参加局: つくば32、MBL1、MBL2
鹿島11m、小金井11m
- 観測周波数: 8GHz
- 帯域幅: 512MHz 1ch



	KASHIM11		KOGANEI11		MARBLE1		MARBLE2	
X座標 (m)	-3997507081.5	± 2.6	-3941938397.3	± 2.4	-3997598301.1	± 3.3	-3942062636.4	± 3.2
Y座標 (m)	3276876927.7	± 2.1	3368149868.3	± 2.1	3276714208.5	± 2.7	3368276237.4	± 2.8
Z座標 (m)	3724240338.8	± 2.3	3702235265.4	± 2.3	3724293103.6	± 3.0	3702003846.9	± 3.0

1.6/1.5m — 34m VLBI antenna

Target Precision: 30 ps -> 7 ps

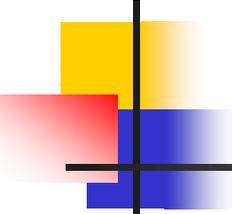


1.5m compact antenna



Kashima 34m antenna

- VGOSシステムに部分準拠したシステムを開発中
- 1 GHz x 4 band in the 3-15GHz Frequency Range



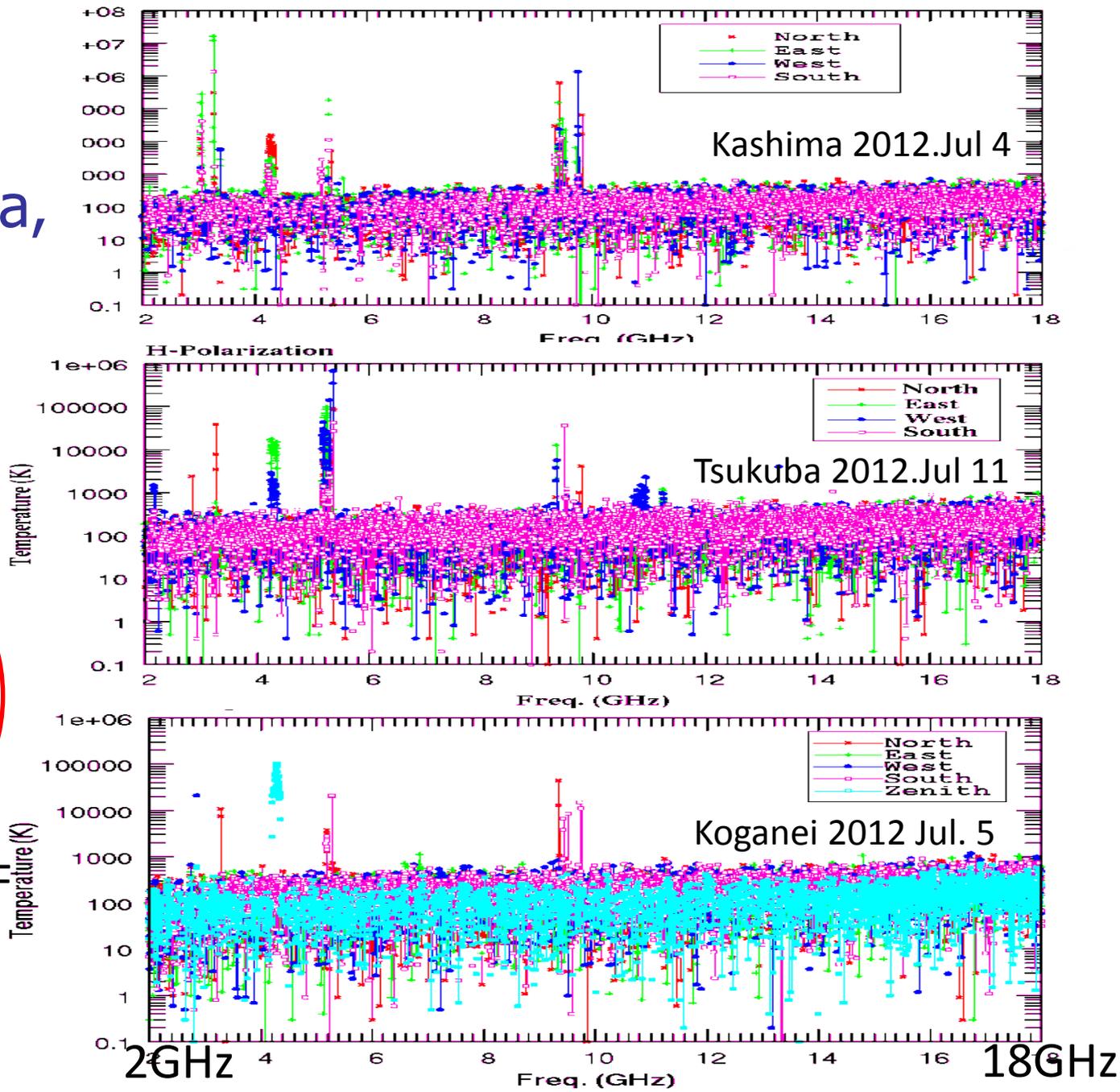
システムの開発要素

1. 観測周波数の選定
2. 広帯域・低NFの光信号伝送
3. データ収集系
4. 位相校正信号
5. 大容量相関処理

RFI Survey 2-18GHz at Tokyo, Kashima, and Tsukuba



With 3.5GHz HPF
before LNA



The Gala-V Feed "Iguana".

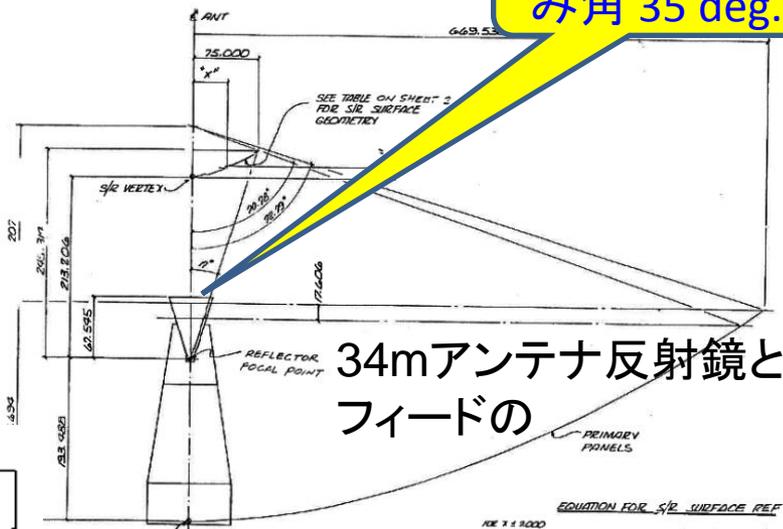
ビーム見込み角 35 deg.

要求:

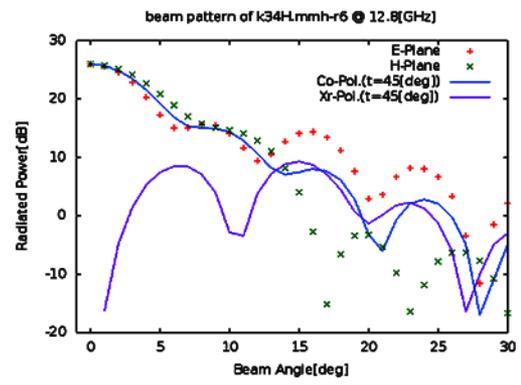
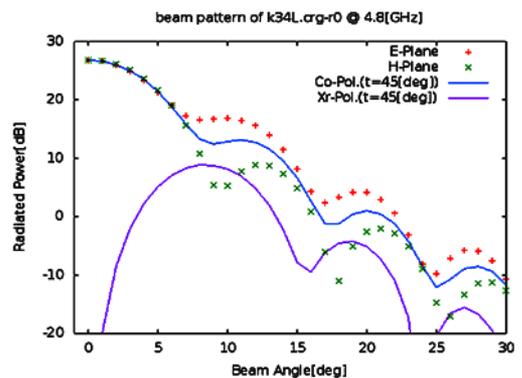
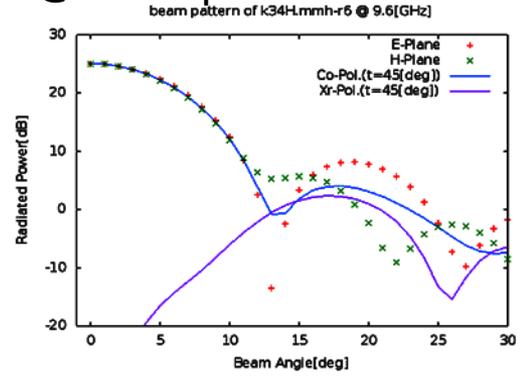
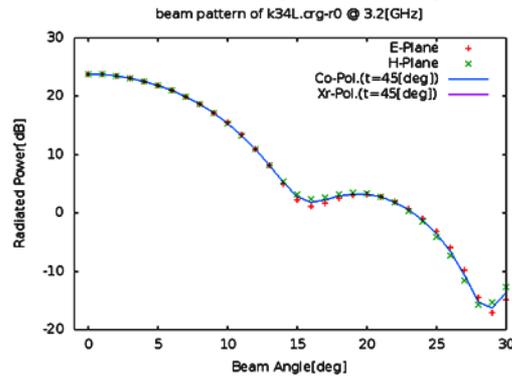
- ビーム幅 ~35 deg. 以下の広帯域フィード

解決策:

- Dividing into two frq.range
- 3-7GHz, 9-14GHz Nested feed



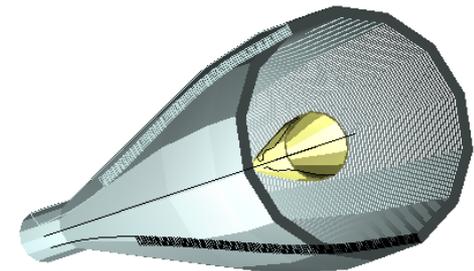
Preliminary beam pattern @ 13-Sep. 2012



EQUATION FOR S/R SURFACE REF

FOR X = 3000
 $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_1 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_2 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_3 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_4 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_5 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$
 $0_6 \times X = 3000$ FOR: $Y = 218.2078 - 1.032602 X + (3.992614 \times 10^{-5}) X^2 + (3.28220 \times 10^{-9}) X^3 - 218.2070$

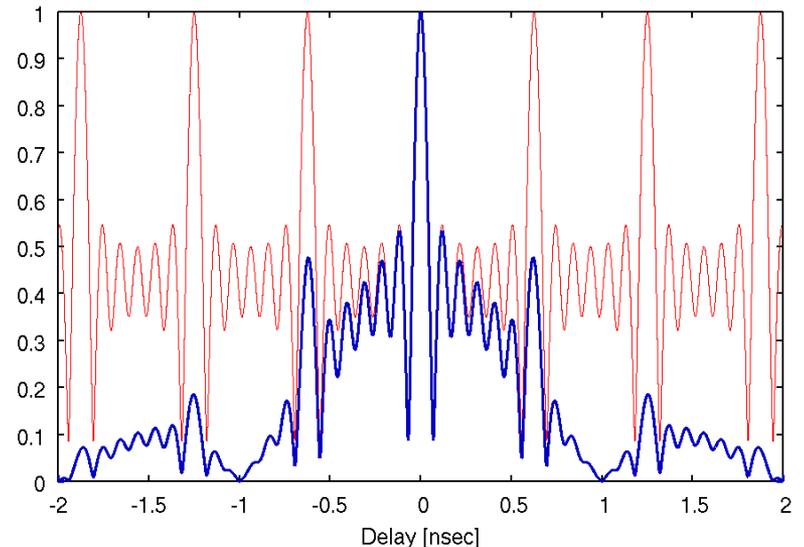
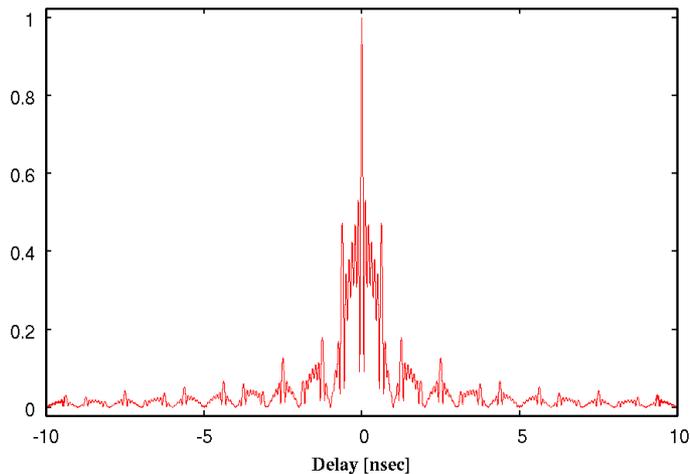
INITIAL COORDINATES OF SUB-REFLECTOR
 USE EQUATION
 VECTOR GEOMETRY GENERATED FROM
 5 10027336



開発中のイグアナフィードのイメージ

観測周波数 の決定

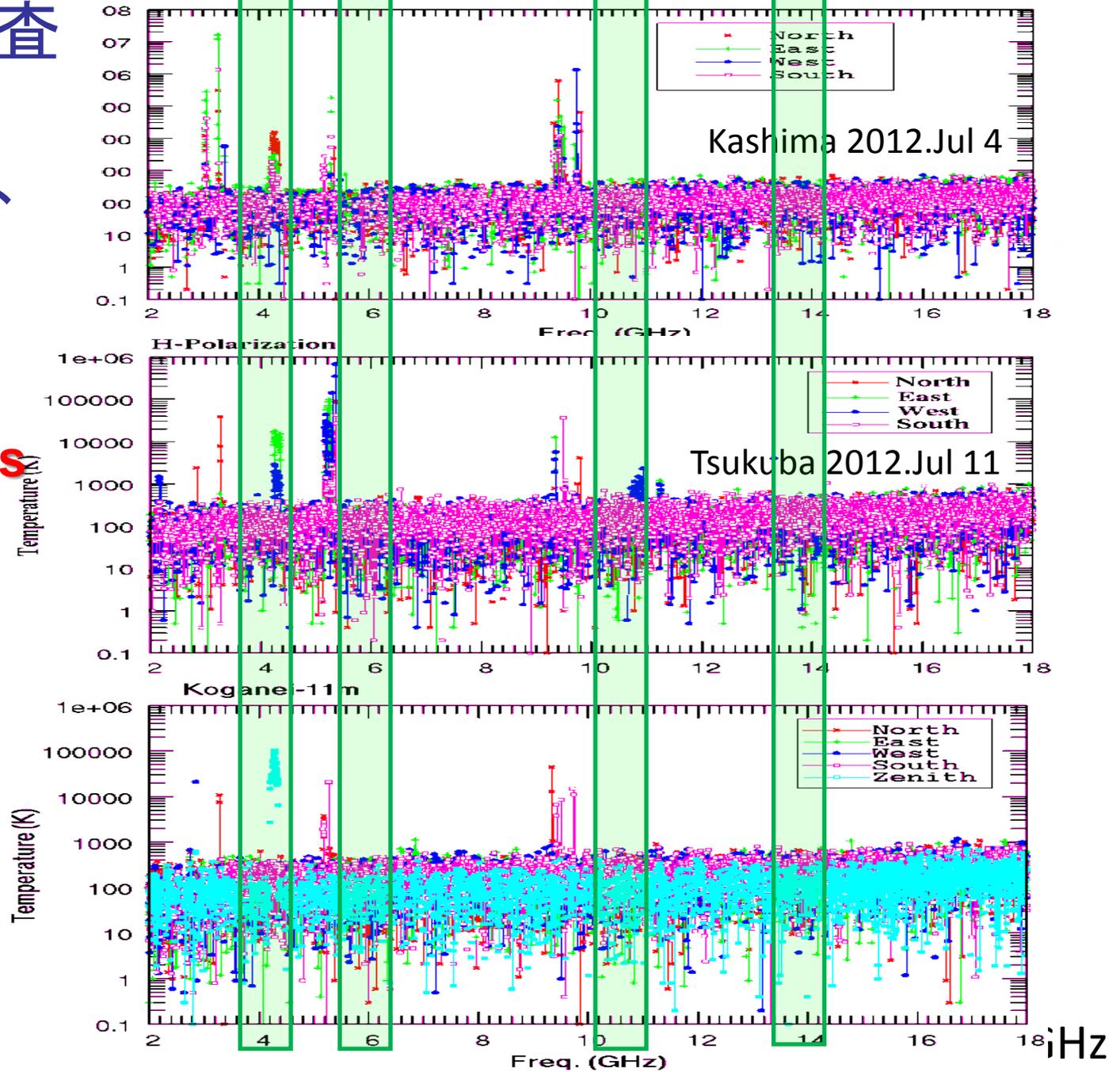
- VGOS 仕様. : 2-14GHz バンド幅の任意の1GHzバンド幅X4バンド
 - さまざまな制限(RFI調査、フィード設計、開発期限等)から固定4バンドとした
 - Band Edge = **3.5GHz, 5.1GHz, 9.9GHz, 13.1GHz**
- 考慮した条件
 - 東京を含めたRFI調査、放送衛星、通信衛星.
 - 34mアンテナに搭載可能な狭いビーム幅の広帯域受信機
 - 遅延分解関数:
 - 周波数間隔1.6GHzのゼロ冗長配列 1:3:2
 - Effective BW=3.8GHz, 0.625nsec Ambiguity

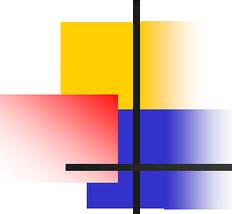


電波干渉調査

2-18GHz at
小金井、鹿島、
つくば

Selected bands
3.5GHz,
5.1GHz,
9.9GHz,
13.1GHz



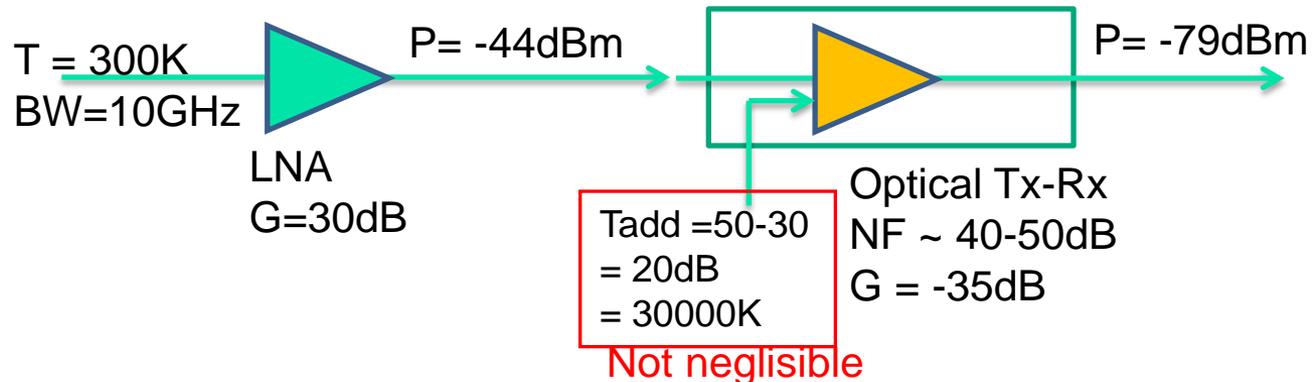


システムの開発要素

1. 観測周波数の選定
2. 広帯域・低NFの光信号伝送
3. データ収集系
4. 位相校正信号
5. 大容量相関処理

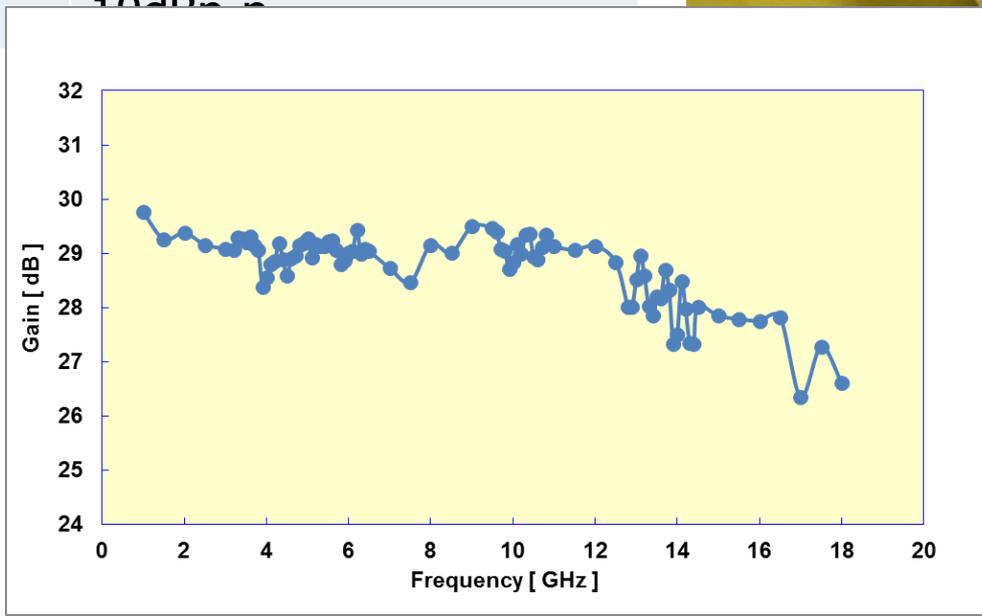
Wideband low NF signal Transmission

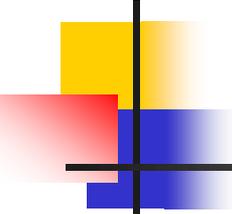
- Wideband signal is transmitted from receiver to observation room with optical fiber.
- Low noise optical transmission is **important** (e.g. Christopher Beaudoin, IVS VLBI2010 Workshop on TechSpec 2012)
 - **10 GHz bandwidth = 100dB gain of total power.**



E18000 from Sumitomo Osaka Cement Co Ltd.

	Parameters
Freq. Range	1-18GHz
Gain	+20dB
NF	< 5dB
P1dB	- 40dBm
Linearity	± 0.5 dB
Flatness	1.0dB





システムの開発要素

1. 観測周波数の選定
2. 広帯域・低NFの光信号伝送
3. データ収集系
4. 位相校正信号
5. 大容量相関処理

Data Acquisition: 1GHz x 4 Ch

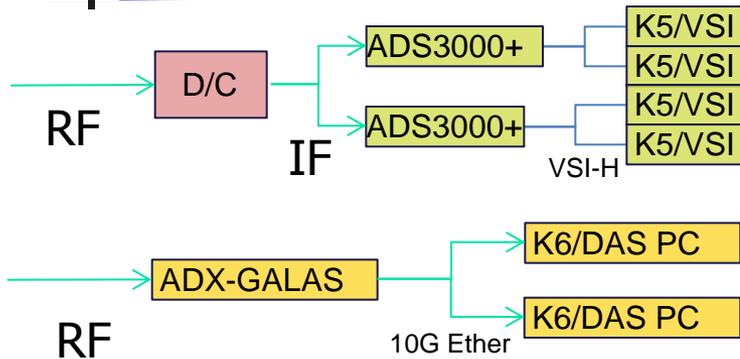
2つのアプローチ

■ Fixed Freq. Down Converter + “ADS3000+”

- DBBCにより従来の観測モードにも対応可能.

■ Direct Sampler “GALAS”

- RF4バンドを周波数変換なしに一度に取得可能
- フラットな周波数特性が必要



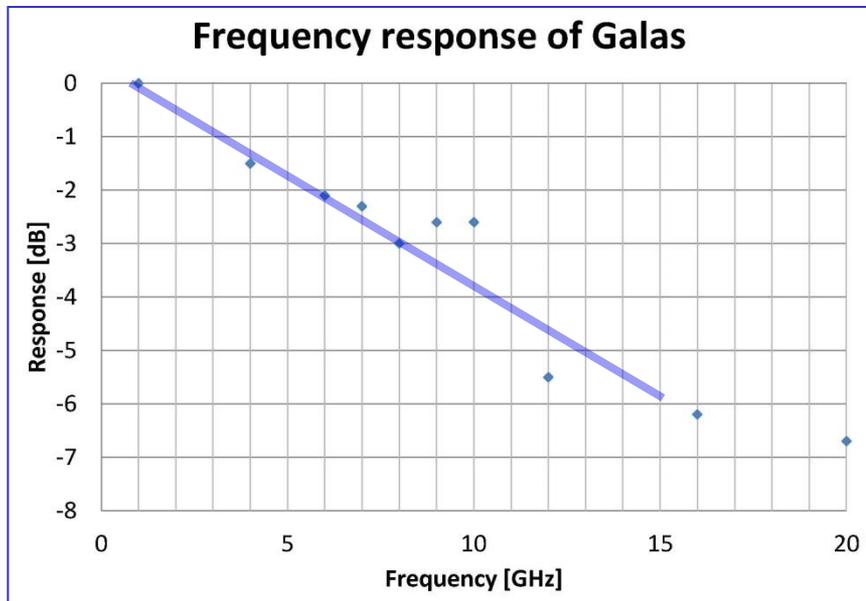
ADS3000+ Sampler
DBBC (BW ≤ 32MHz)

Direct Sampler “GALAS”
DBBC (BW=1024MHz)



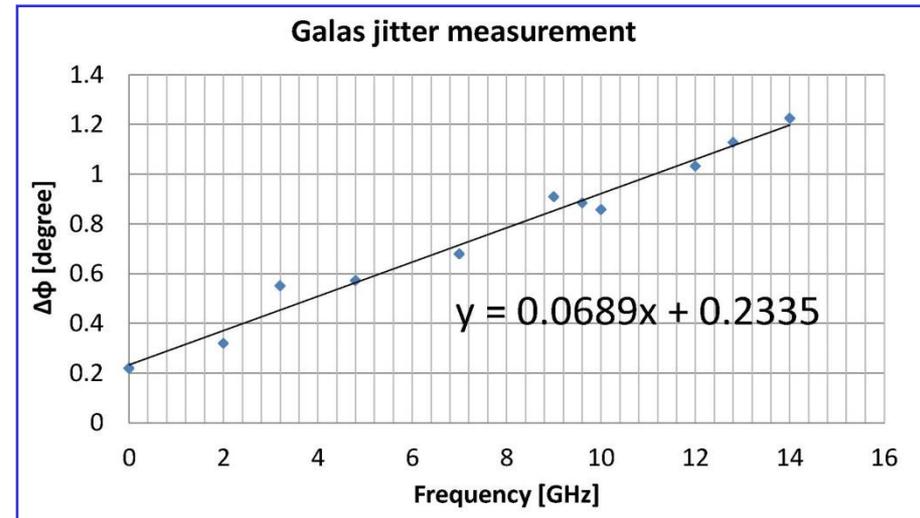
ダイレクトサンプリングGALASの性能 確認試験

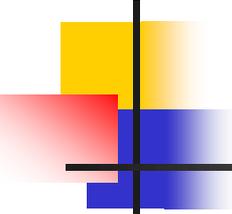
- 周波数応答の確認
 - トーン信号の強度
 - 1-14GHz で-6dB



- サンプリングジッタ計測

- トーン信号の位相のばらつきの周波数特性を測定
- 0.19 psec
→1.8deg@20GHz





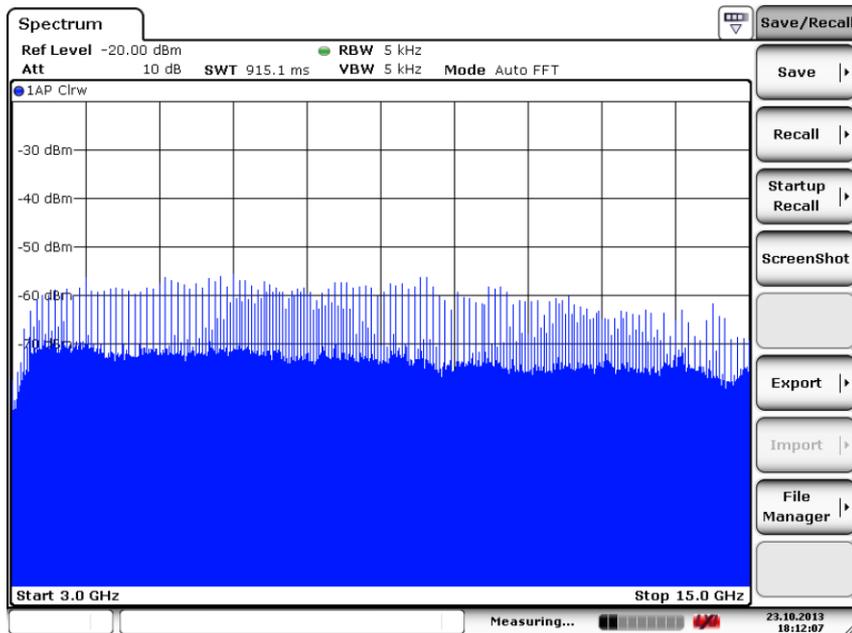
システムの開発要素

1. 観測周波数の選定
2. 広帯域・低NFの光信号伝送
3. データ収集系
4. 位相校正信号
5. 大容量相関処理

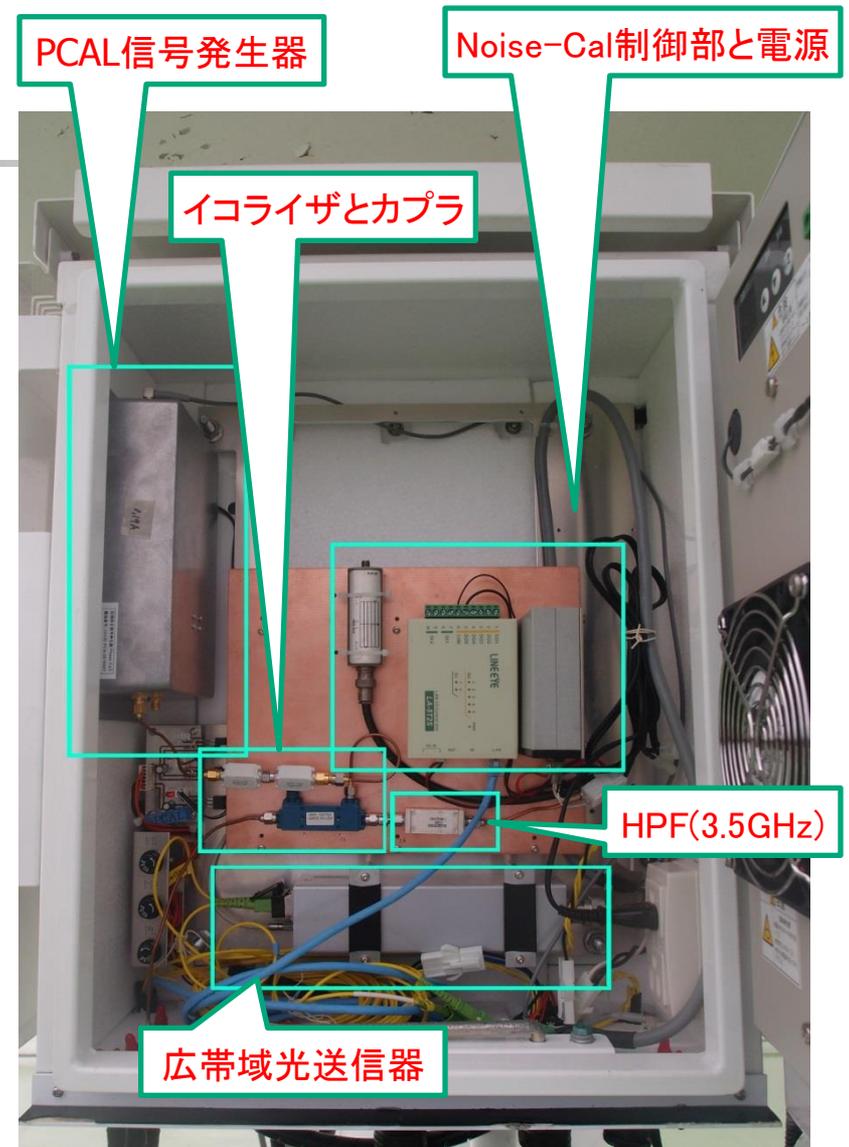
Pcal, NoiseCalコントローラの設置

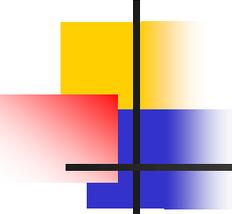


光送信器出力(観測室)で測定した信号(3-15GHz). RBW=5kHz



Date: 23.OCT.2013 18:12:07



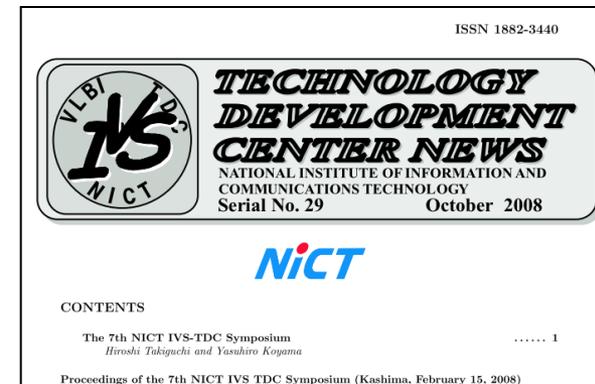


システムの開発要素

1. 観測周波数の選定
2. 広帯域・低NFの光信号伝送
3. データ収集系
4. 位相校正信号
5. **大容量相関処理**

Correlation Processing: GICO3 Software Correlator

- GICO3: M.Kimura(2003-2008)
 - 2Gbps processing performance with CPU Xeon X5355
 - 現在 core i7 を使用で計算上は3-4倍速度改善が期待
- Data processing (1 Polarization)
 - $2\text{Gbps} \times 4 = 8\text{ Gbps} / \text{Station}$
 - $40\text{TB}/\text{Stn} \times 3\text{ stn} = 120\text{ TB}$
- Required Processing Speed
 - $100\text{Gflops}/1\text{Gbps} \times 8 = 800\text{Gflops}$
 - 8- 16 PCs will deal with them.





今後の予定

- 11月: 小型広帯域アンテナを使った試験観
- 12月: 産総研(つくば)へ小型アンテナ1号機を移設

ご静聴ありがとうございました