

モニタリングシステムを革新する原子時計（1）

Atomic Clock Leading to Innovation of Monitoring System (1)

本研究の差異化ポイント

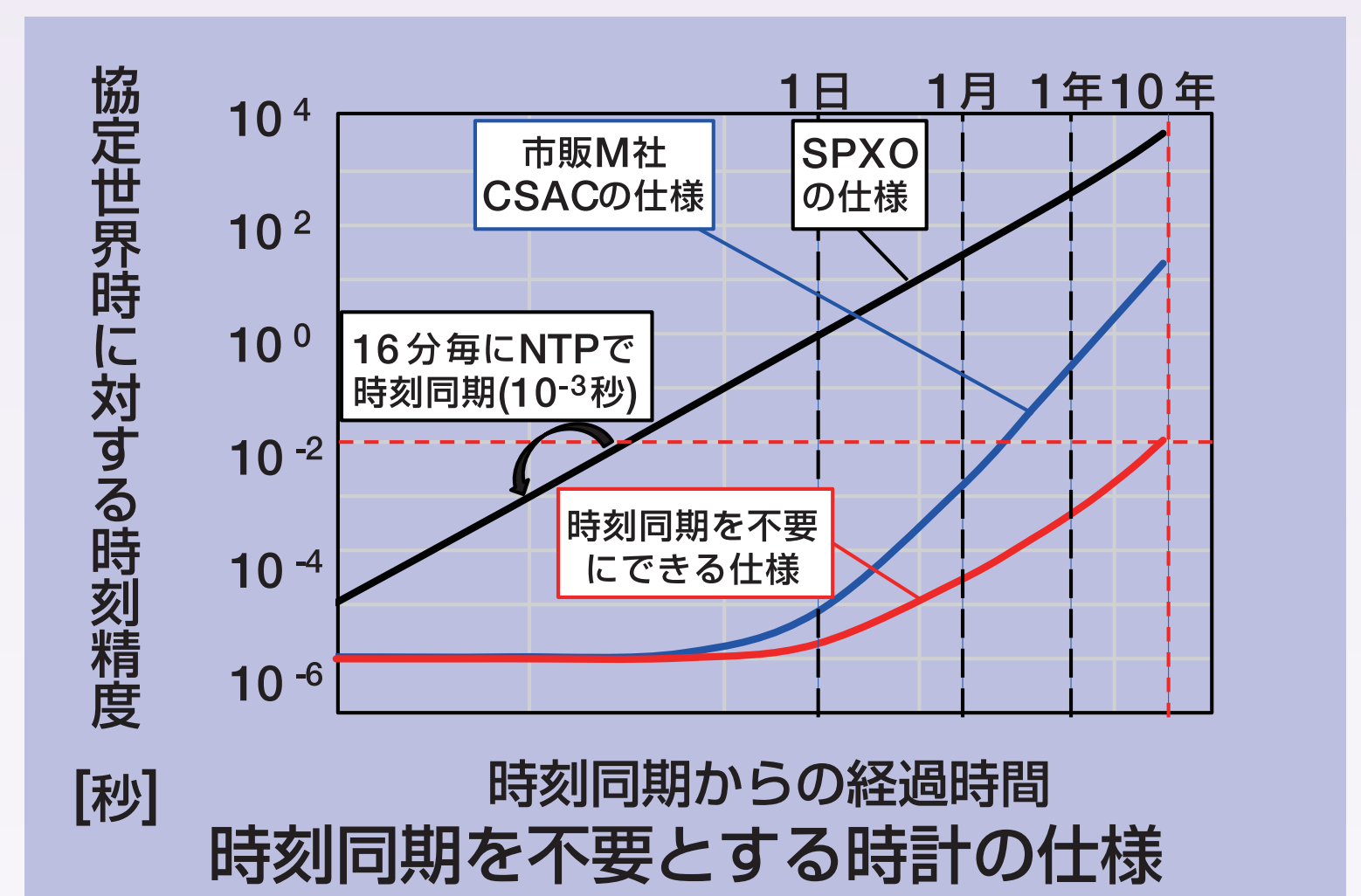
- ◆原子時計の小型化と時刻精度向上を両立するガスセル内環境制御技術
- ◆原子時計内外の環境観測データを基にした基準周波数補正技術
- ◆時刻同期が不要な原子時計を組み込んだセンサ端末によるモニタリング

背景とねらい

■データ間の時刻整合性での課題

橋梁や法面、道路付帯物など各フィールドからのデータを統合して分析するには、データ間の時刻の整合性が重要となる。各データに付与する時刻精度は、センサ端末などに組み込んだ時計間の同期精度で決まり、設置環境や天候で変化する電波状況に依存するため、システム構築には多大なノウハウが必要となっている。

センサ端末に組み込可能な小型で低消費電力な原子時計を開発することで、時刻同期を不要としたモニタリングシステムを実現し、システム構築の労力を大幅に削減する。



SPXO : Simple Packaged Crystal Oscillator
CSAC : Chip Scale Atomic Clock
ULPAC : Ultra-Low Power Atomic Clock
NTP : Network Time Protocol

概要図

時刻精度と消費電力を両立した小型原子時計を実現する開発技術

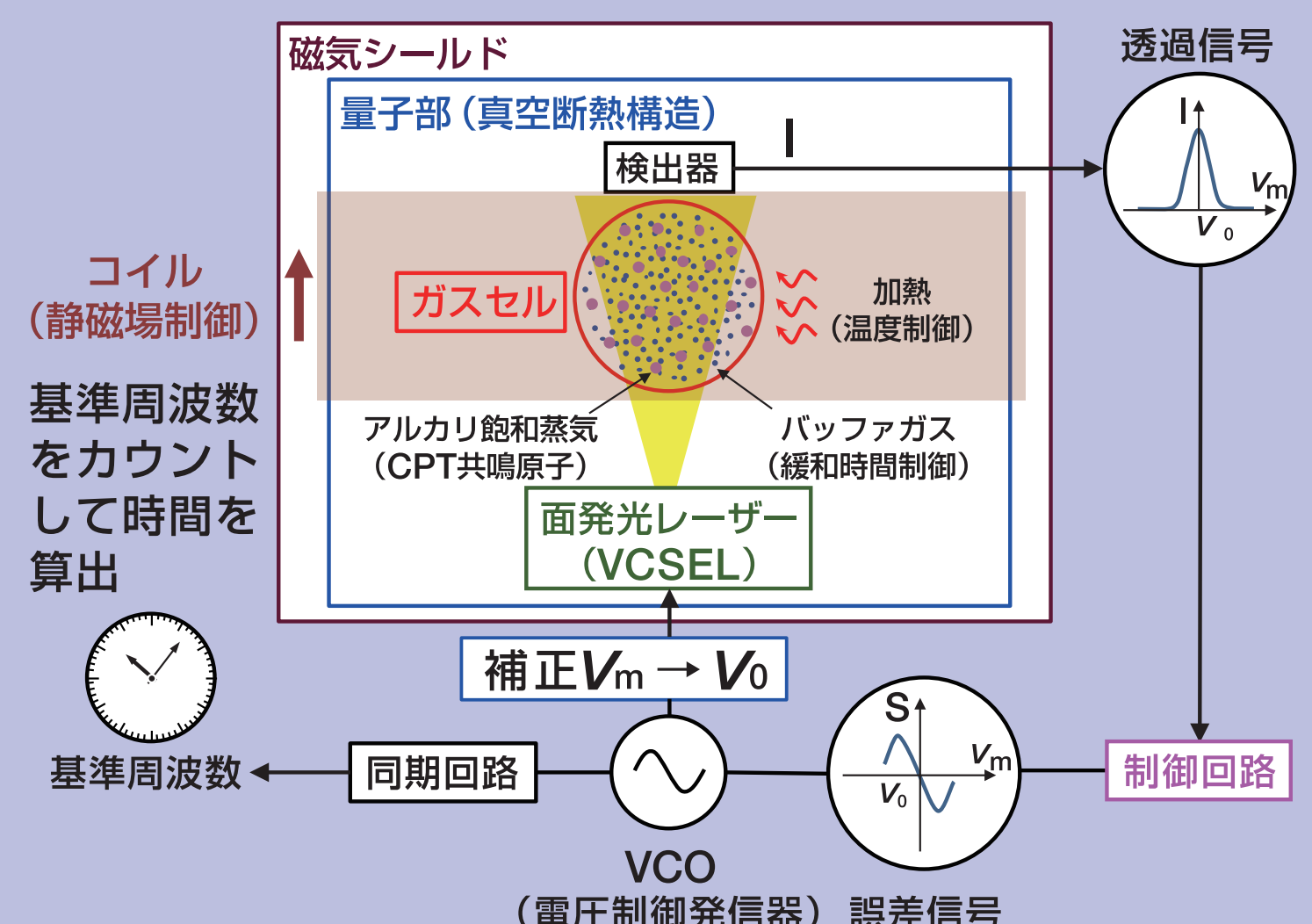
■時刻の高精度化

- 1) 混合バッファガス（温度依存性の低減）
- 2) 真空内でのガスセル中空保持（熱の移動低減）
- 3) 低透過率ガスセル（バッファガス圧変動抑制）
- 4) VCSELエーシング処理（光強度の変動抑制 → ライトシフト低減）
- 5) ガスセル内静磁場制御（磁気シールド+磁場生成コイル → ゼーマンシフト固定）
- 6) 環境温度を基にした基準周波数の補正
- 7) デュアルガスによるバッファガス圧の可観測化と、それを基にした基準周波数の補正

■低消費電力化

- 8) 低消費電力と低位相雑音を両立したCMOS集積化PLL回路
- 9) 小型ガスセル: $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$ (内 $1.4 \times 1.4 \times 1.4 \text{ mm}^3$)

アルカリ原子固有のCPT共鳴の周波数を利用して、高精度な周波数を作り出す仕組み



センサ端末同期用原子時計(ULPAC)

CPT : Coherent Population Trapping
PLL : Phase Locked Loop
VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser

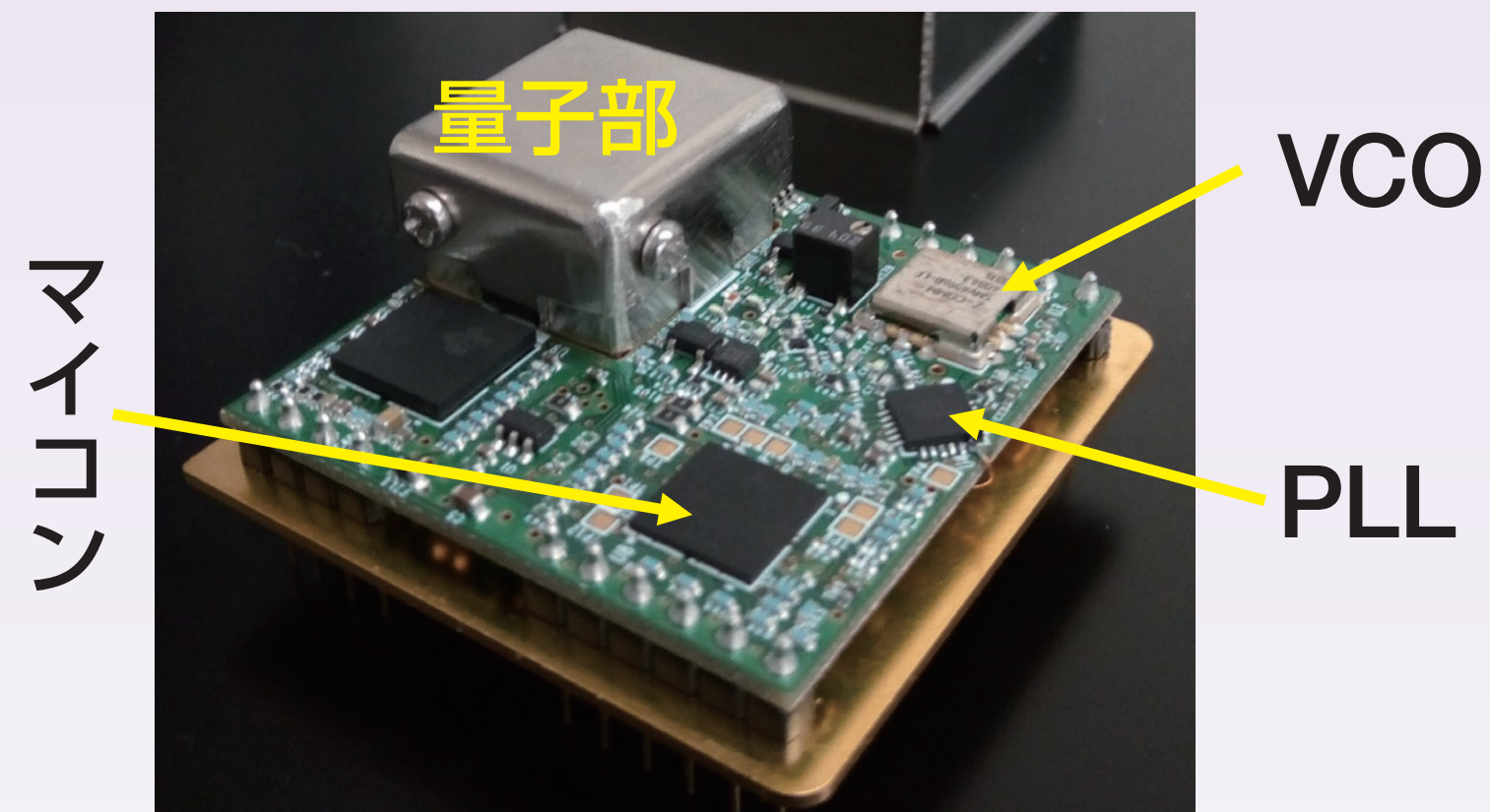
モニタリングシステムを革新する原子時計 (2)

Atomic Clock Leading to Innovation of Monitoring System (2)

これまでの成果 (H27 年～)

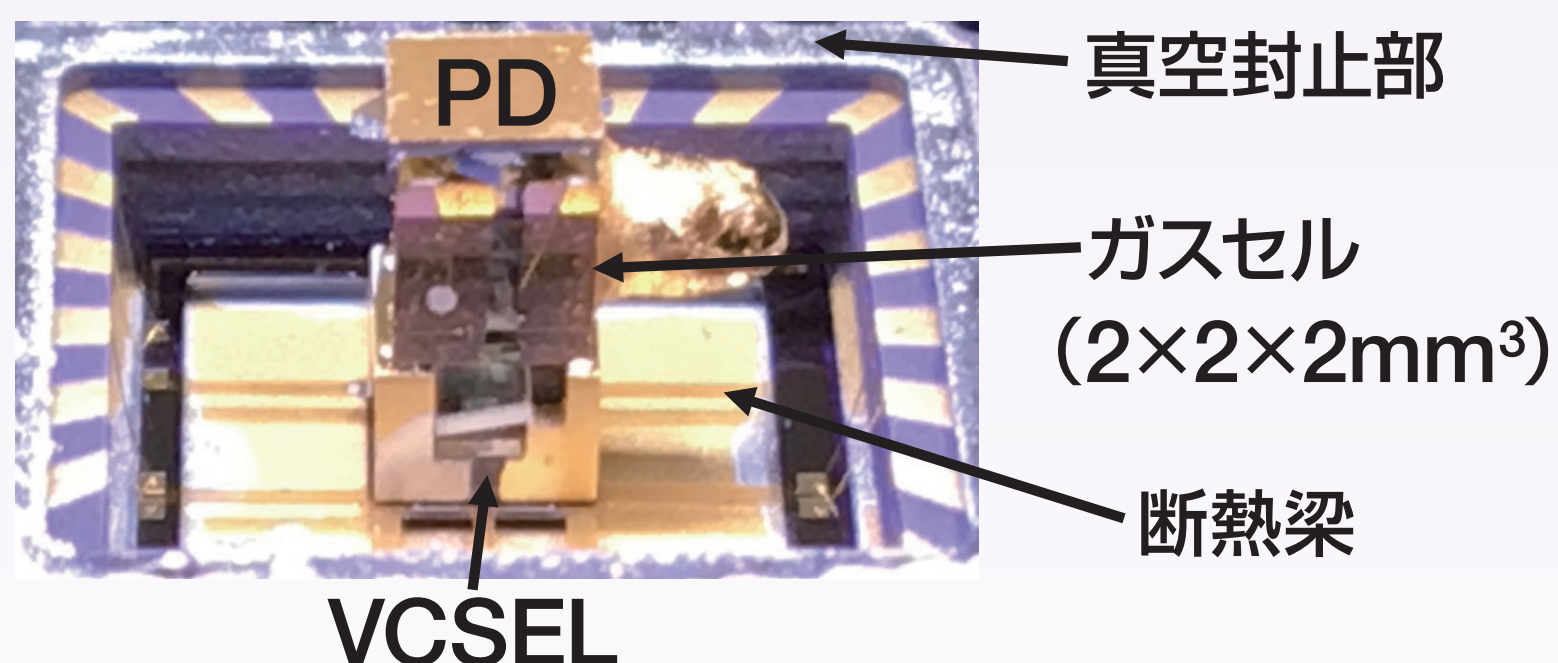
TCXO : Temperature Compensated Crystal Oscillator
VCO : Voltage-Controlled Oscillator
PLL : Phase Locked Loop

■ガスセルの小型化と量子部の真空封止による原子時計の小型・低消費電力化



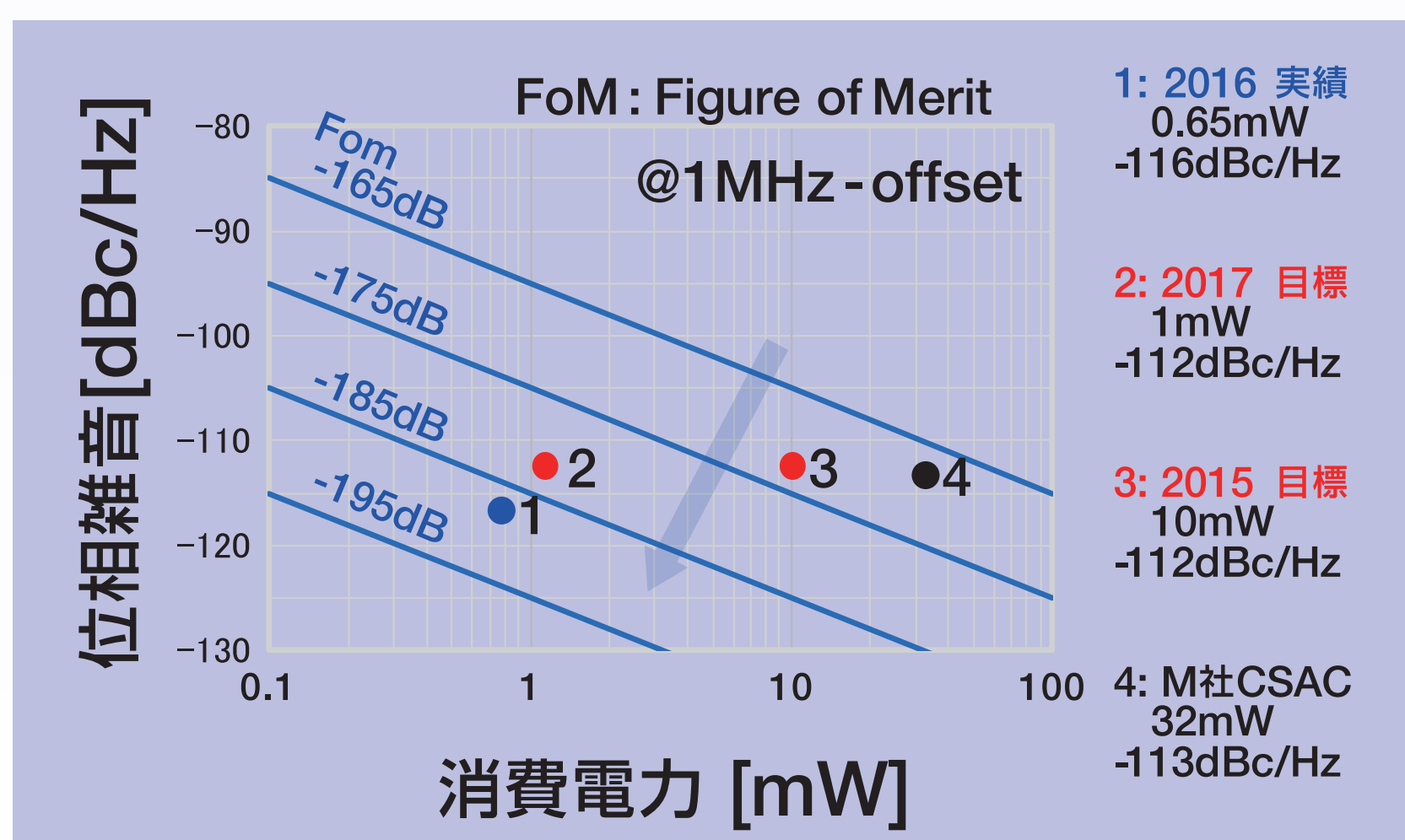
H28 年度 ULPAC プロトタイプ
内部構造 (40×40×18mm³)

PD : PhotoDiode

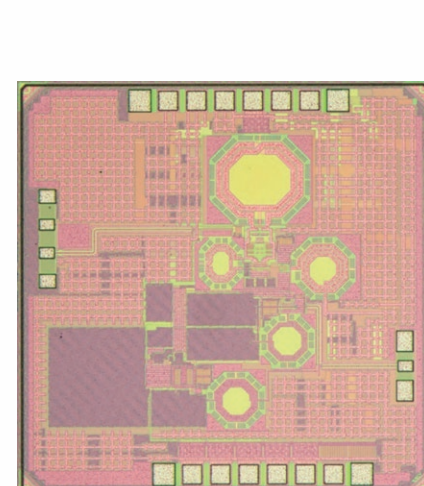


量子部内部構造 (11×11×5mm³)

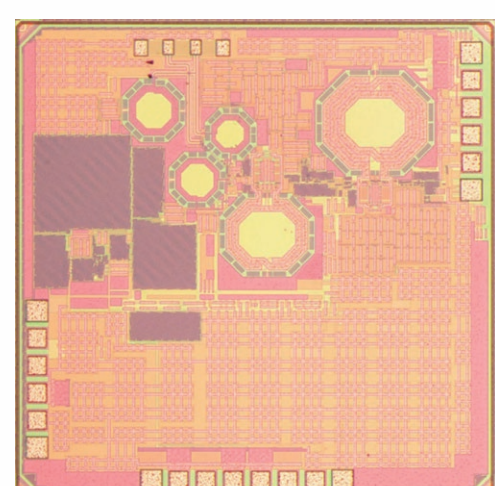
■低消費電力と低位相雑音を両立した CMOS集積化PLL回路



消費電力を
大幅に削減

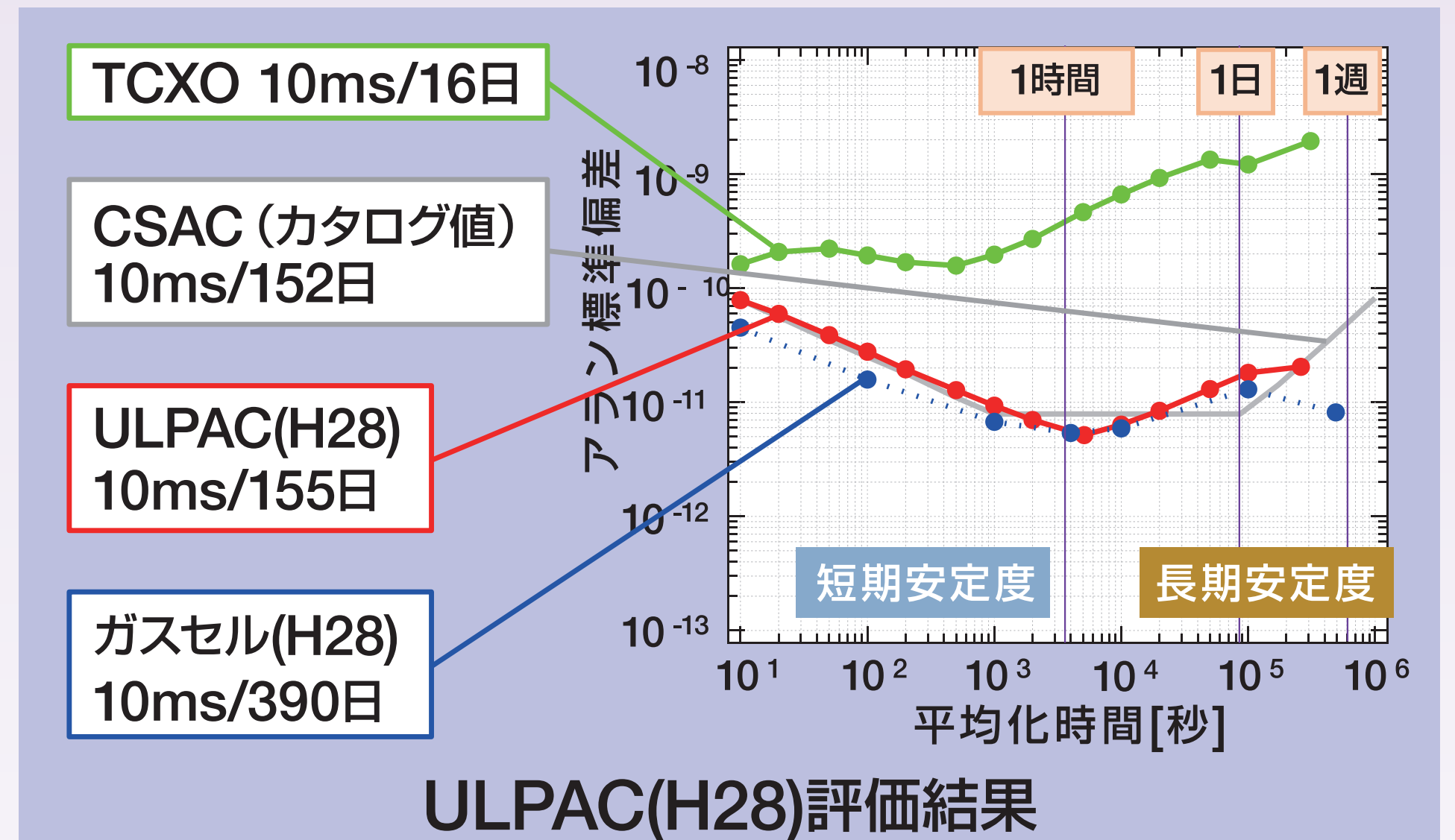


VCO



PLL

CMOS集積化回路 (実装サイズ: 3mm角)

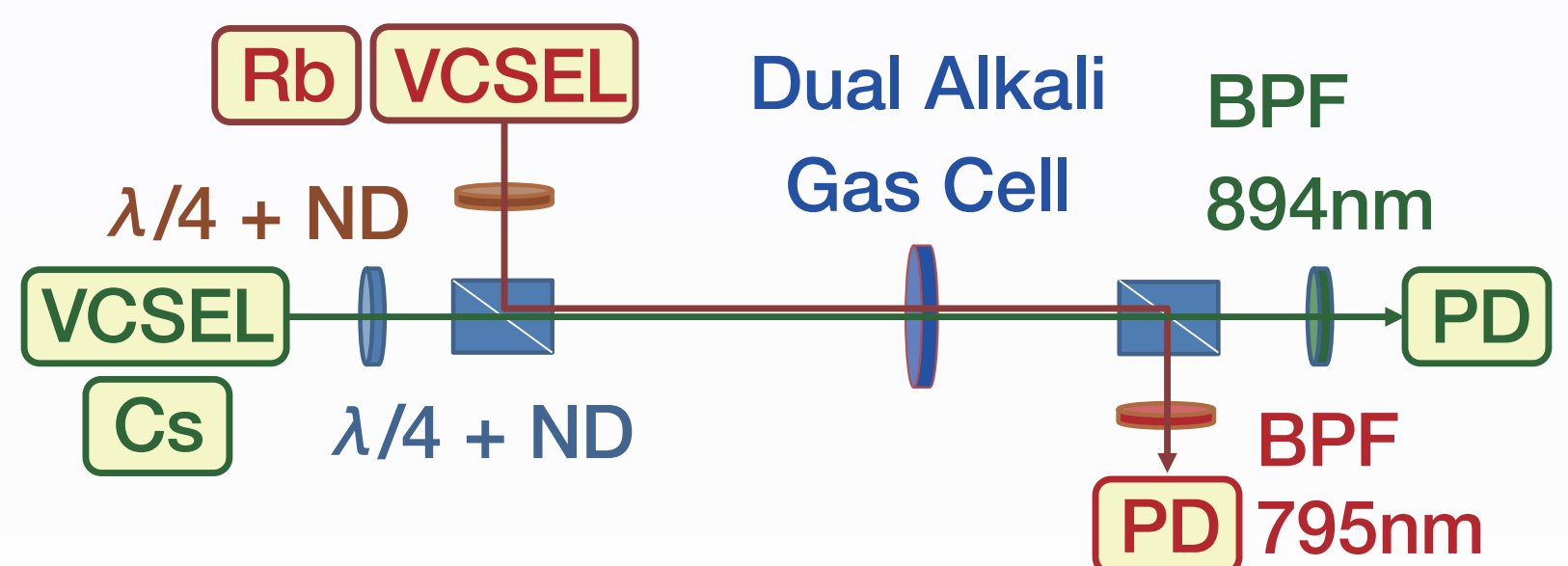


ULPACプロトタイプの開発目標

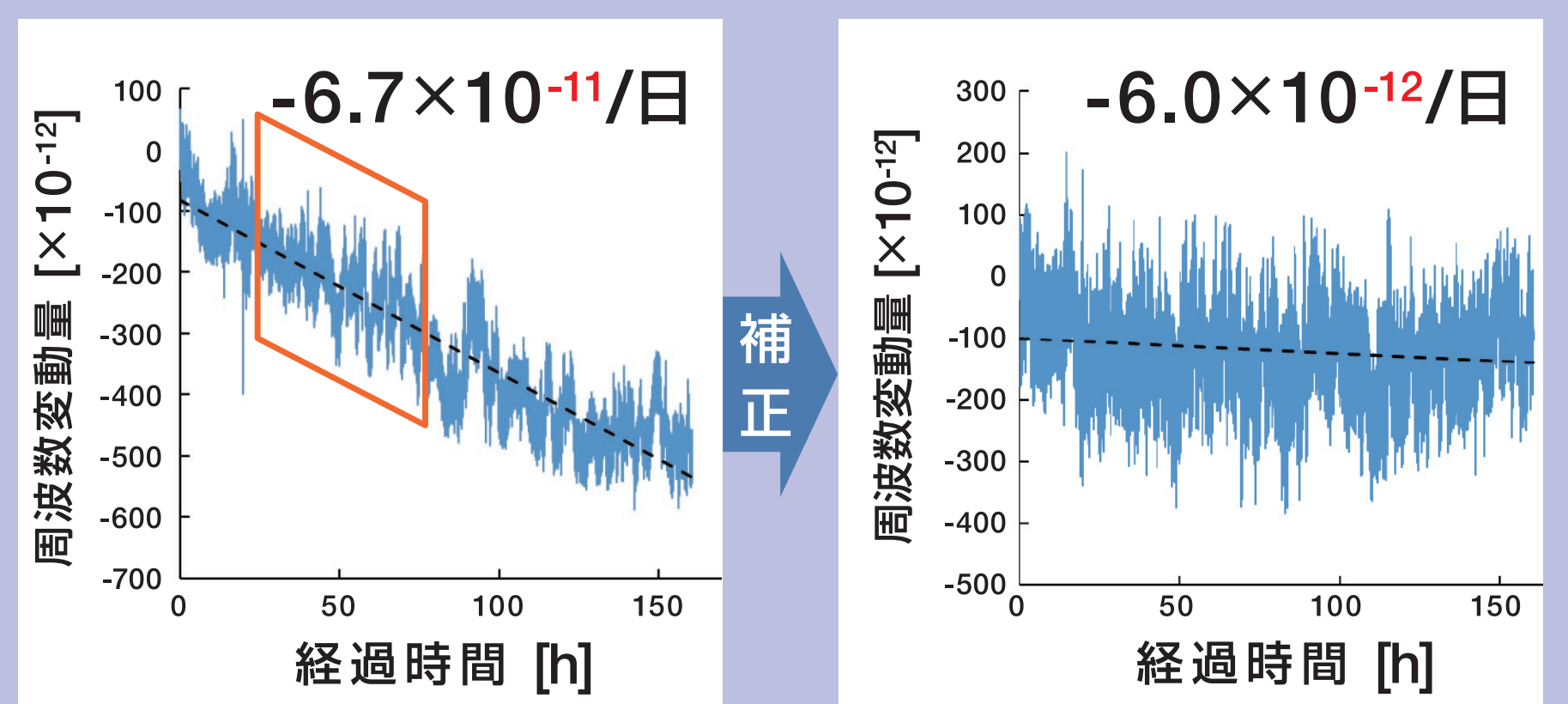
	H28年度	H29年度	H30年度
時刻精度	10ms/6ヵ月	10ms/8ヵ月	10ms/12ヵ月
消費電力	120mW	90mW	60mW
サイズ	40×40×18 mm ³	40×35×11 mm ³	30×30×11 mm ³

■デュアルガス補正

BPF : Band-Pass Filter
ND : Neutral Density



デュアルガス補正システムの構成



2日間の2周波数変動データからパラメータを
求め、Cs全体を補正 ➡ 11倍向上