

超高速周波数カウンタを実現する 周波数／位相算出アルゴリズム

国立研究開発法人産業技術総合研究所
計量標準総合センター 分析計測標準研究部門
音波振動標準研究グループ 主任研究員

穀山 渉

2024年9月10日

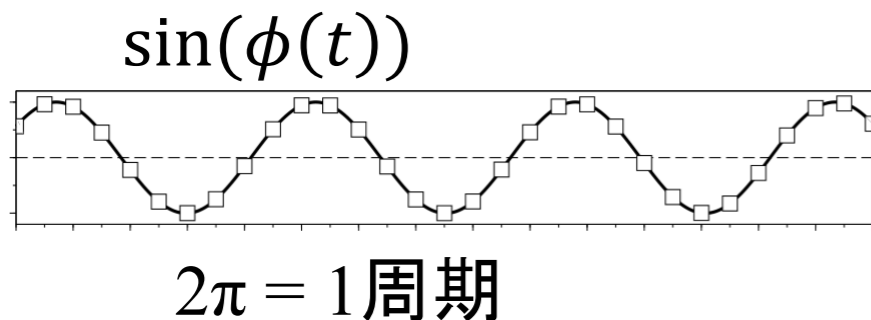
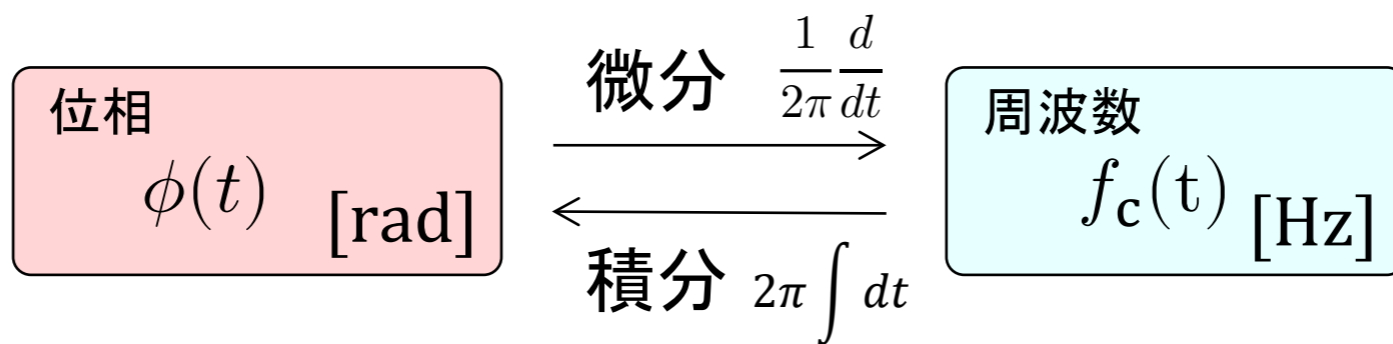
本技術について

電気信号の周波数や位相を算出するアルゴリズムです。

信号をアナログ・デジタル変換したうえで、デジタル信号に適用する技術です。

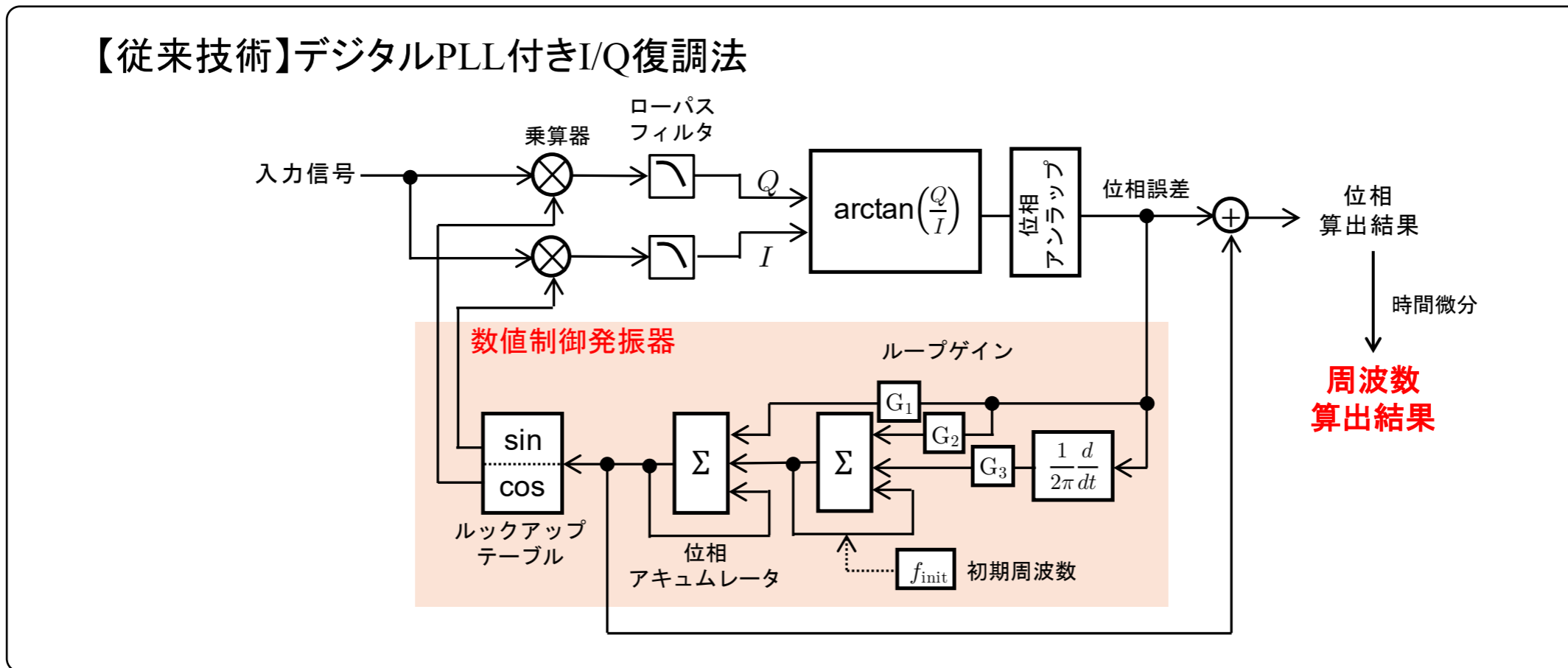
周波数と位相の計測

本技術は、まず信号の位相を計測して周波数に変換することで周波数カウンタを実現します。



従来技術とその問題点

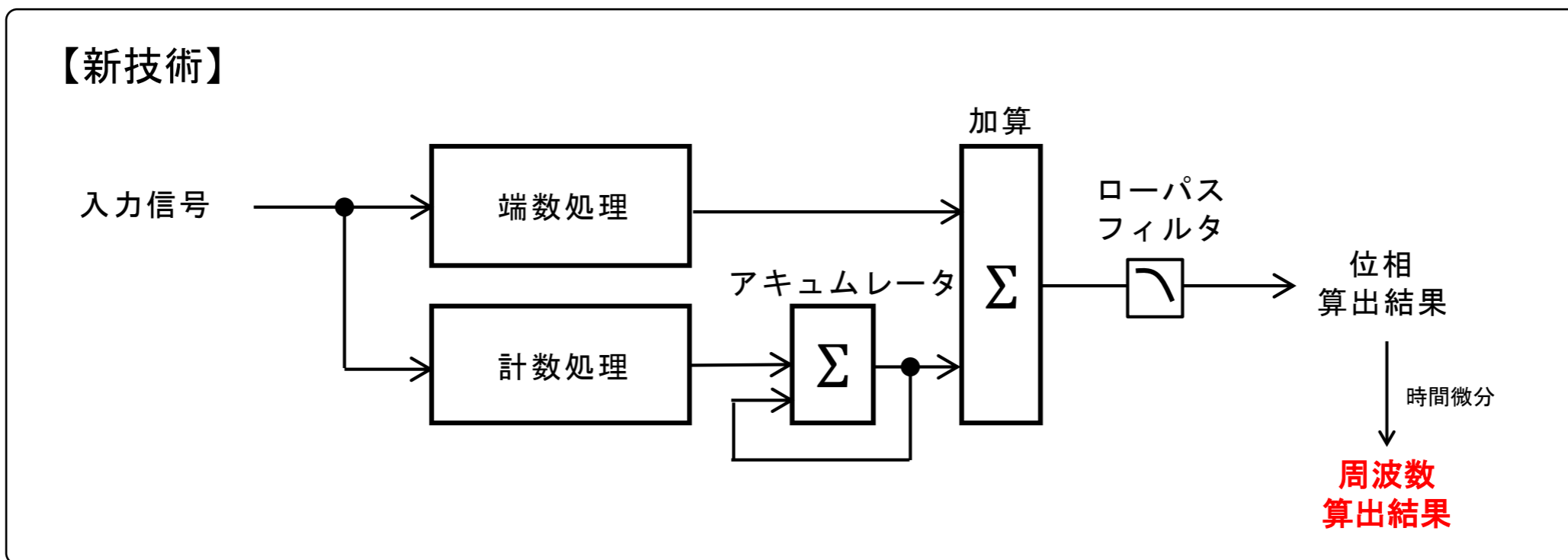
従来の位相計測は、基準正弦波信号との掛け算に基づいており、複雑で速度にも限界があります。



新技術の概要

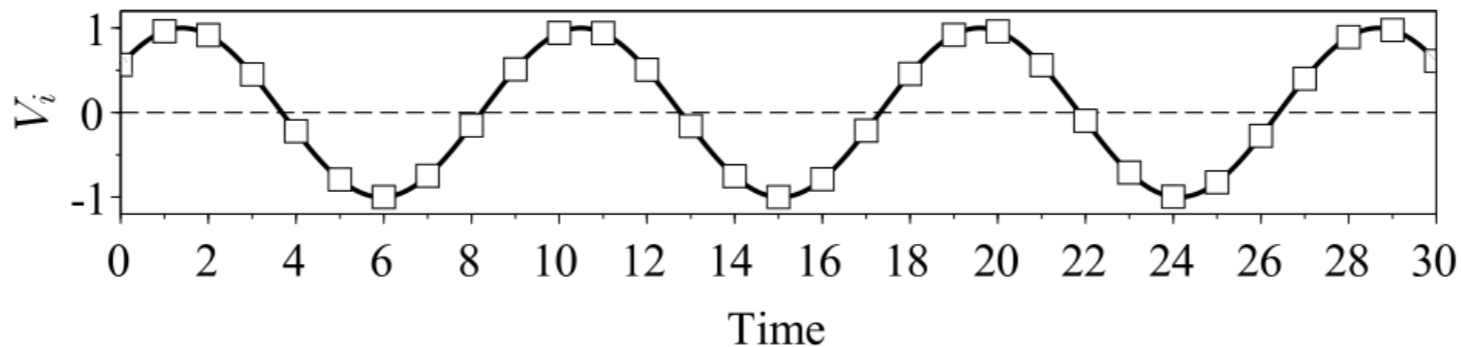
非常にシンプルな演算で、従来技術とほぼ同等な結果を得るアルゴリズムを発明しました。

正弦波との掛け算でなく、ゼロクロス点のみの情報を処理することで位相を算出しています。

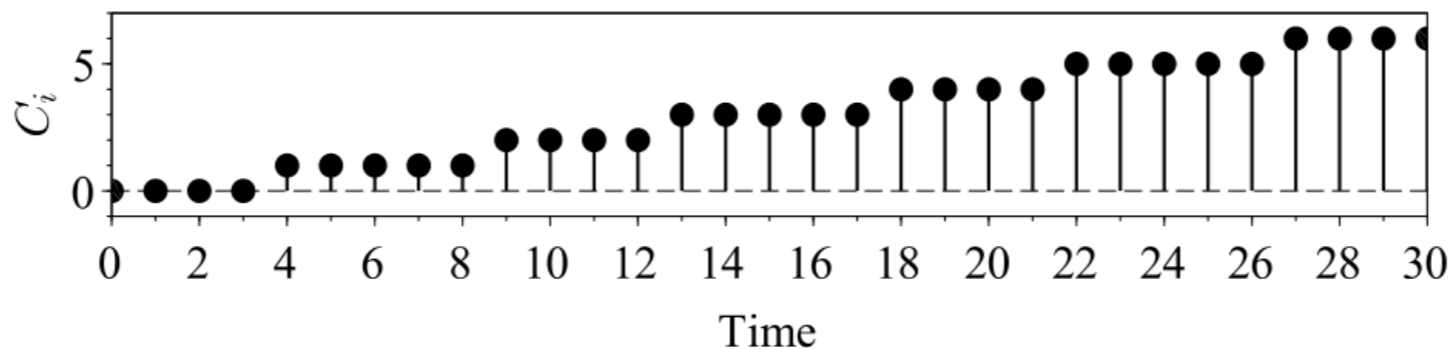


新技術の概要

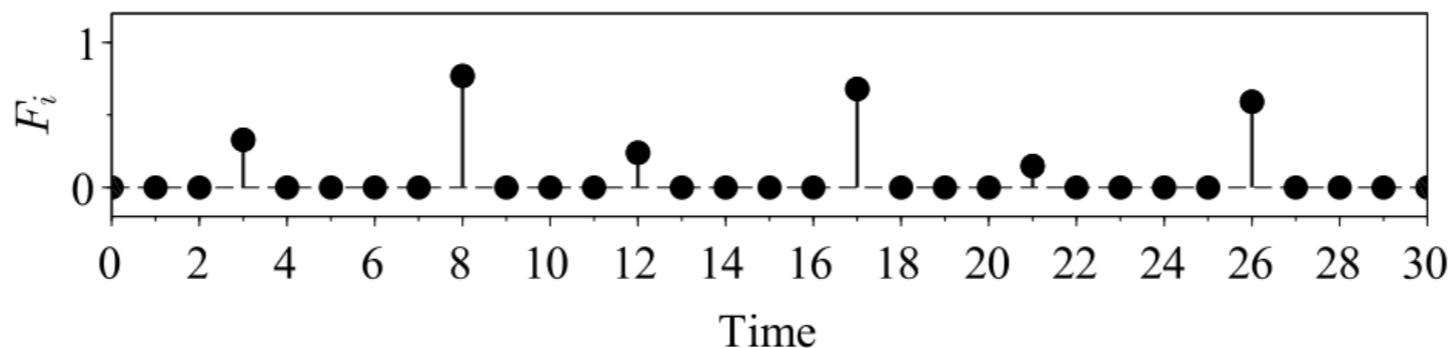
入力信号



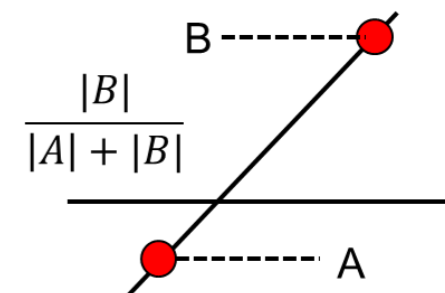
計数処理
(アキュムレータ後)



端数処理



線形補間



新技術の概要

本アルゴリズムを搭載した試作機で性能評価しました。

FPGA搭載デジタイザ(1GSps, 4ch)
Teledyne SPDevices社製 ADQ14AC-4C



新技術の特徴

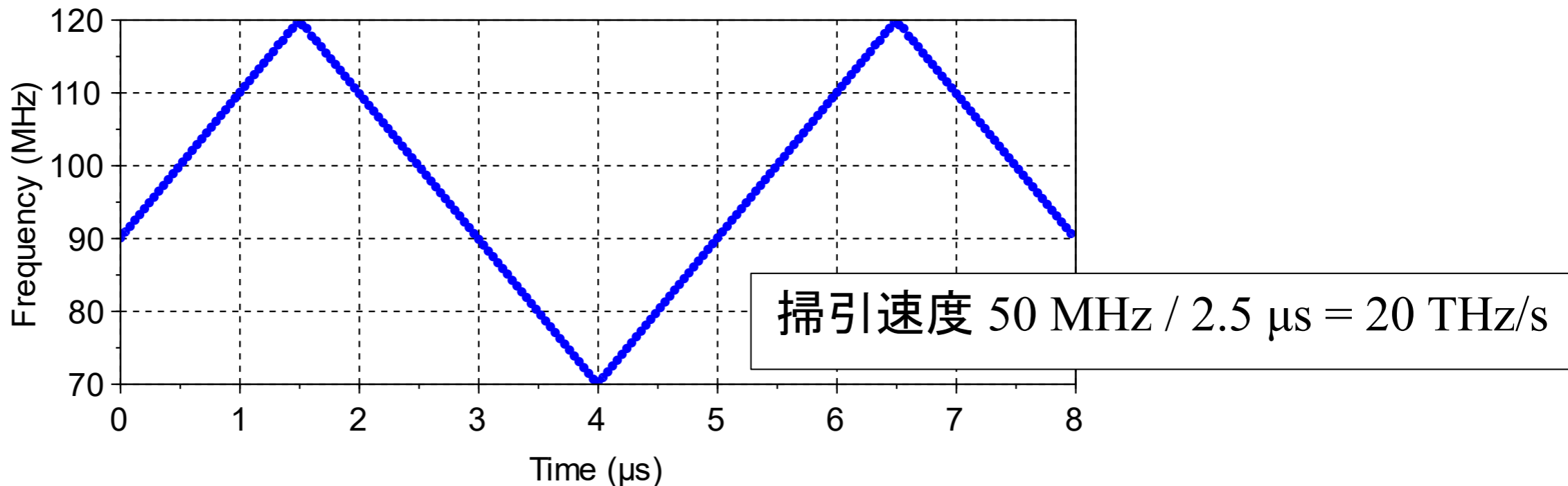
- (1) 超高速周波数カウンタが実現できます。
- (2) 市販品を2桁上回る分解能の周波数カウンタが実現できます。
- (3) 矩形波の位相の高分解能計測が実現できます。

以下、これらをご紹介します。

新技術の特徴(1)

超高速周波数カウンタが実現できます。

(例) 三角波周波数変調信号を周期 40 ns (25 MHz) で実測

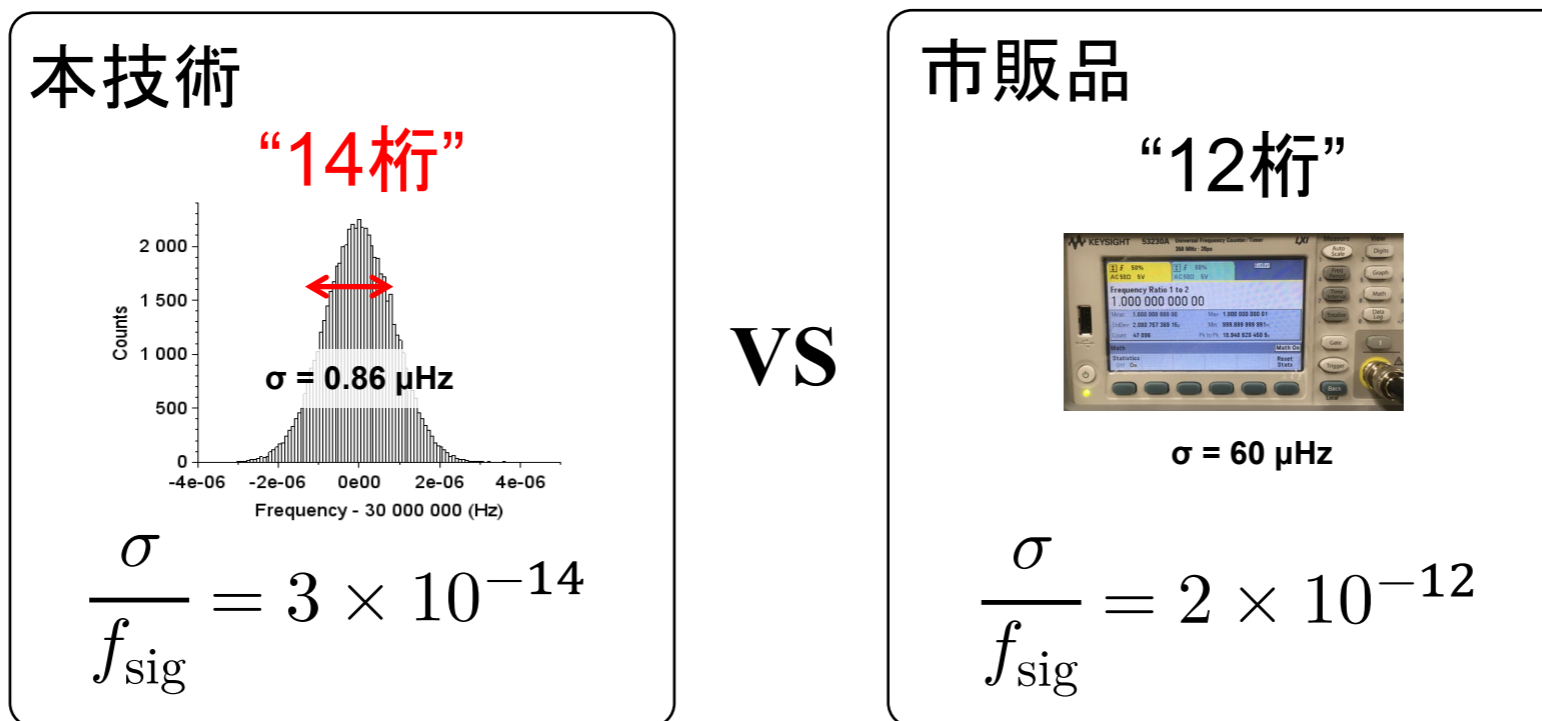


一般的な周波数カウンタ (kHz帯が限度) では難しい、非常に速い周波数変動を観察したい場面で役立ちます。

※技術的には、MHz以上の高速で位相を算出可能なためです。

新技術の特徴(2)

1 s 周期の計測で比較しても、市販品を2桁上回る高分解能の周波数カウンタとなります。



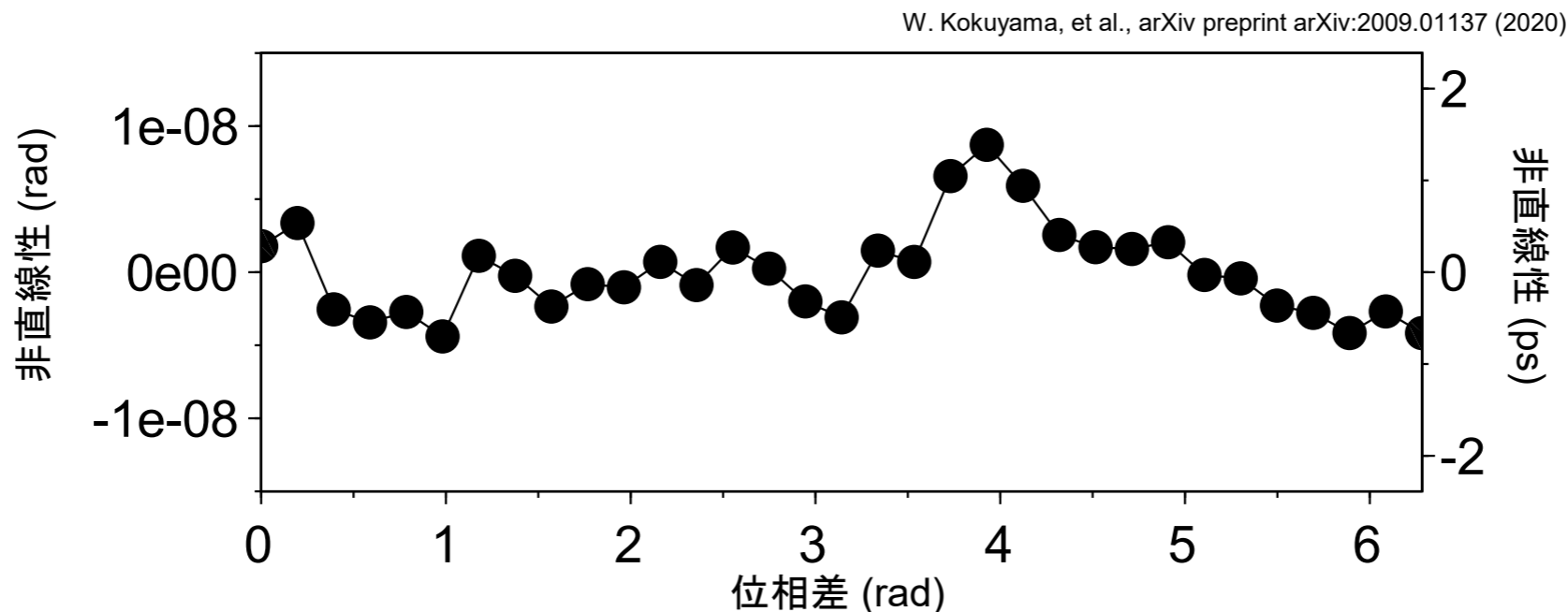
測定条件：30 MHz, +7 dBm, ゲートタイム 1 秒 (1 Sps)

※技術的には、高周波成分の雑音への寄与を十分に落とせる(アンチエイリアシング)ためです。

新技術の特徴(3)

矩形波の位相を超高精度で計測可能になります。これは従来技術では不可能です。

(例) 1 kHz矩形波の実測値： 10^{-8} rad (1.6 ピコ秒) 以下



※技術的には、信号全体でなくゼロクロス点のみの情報から位相に換算できるためです。

想定される用途

- (1) 周波数出力デバイスの超高速読み出し装置
- (2) 光ビート信号の読み出し装置
- (3) 大きな周波数変調や周波数スイープ等を正確に読み取る装置

が考えられます。以下ご説明します。

想定される用途(1)

周波数出力デバイス（水晶振動子等）の超高速or高精度読み出し装置

【適用例】



- ・MHzを超える高速読み出し
 - ・矩形波を利用した高精度読み出し
- の2通りの利用可能性があります

想定される用途(2)

光ビート信号の読み出し装置

【適用例】

被測定レーザー

基準レーザー



本技術を適用

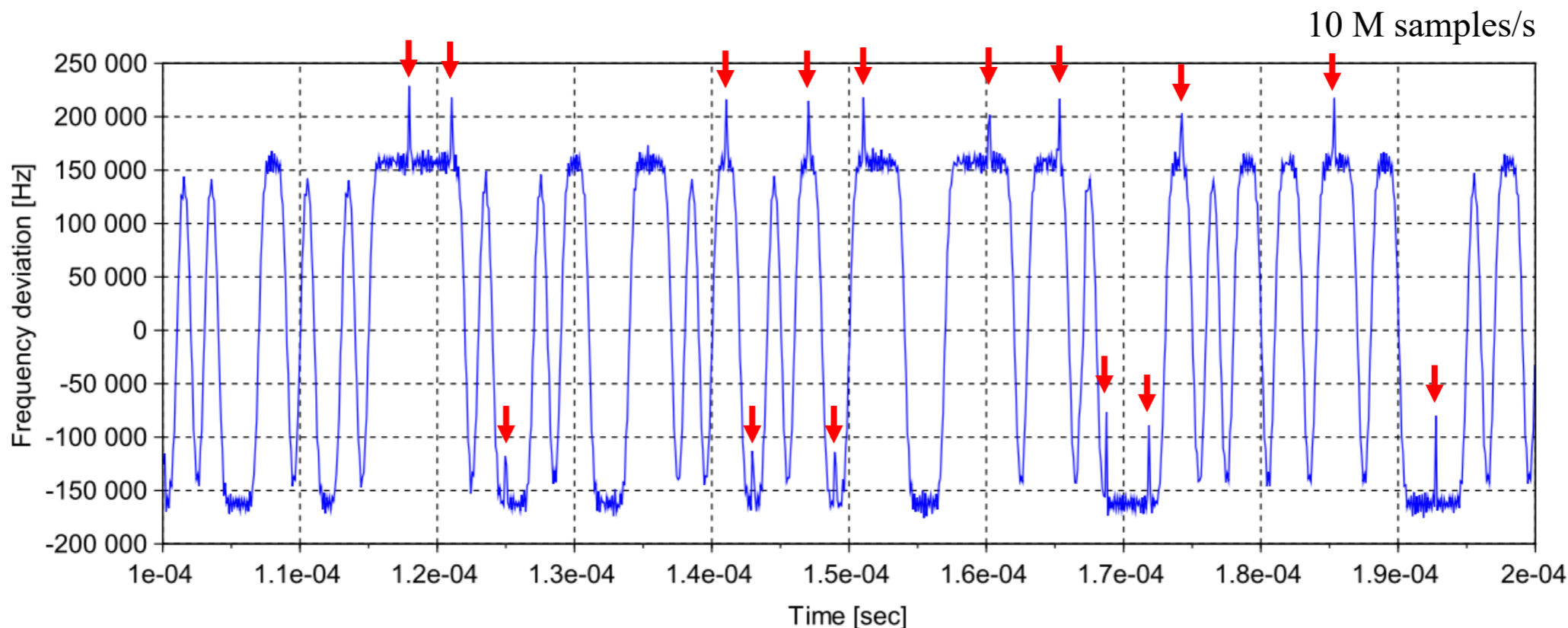
- ・線幅
- ・周波数雑音
- ・位相雑音
- ・変調
- ・位相シフト量

フリーラン光ビート信号や、変調がかかっている光ビート信号でも位相追跡が可能です

想定される用途(3)

大きな周波数変調や周波数スweep等を正確に読み取る装置

(例) 某社信号発生器が生成した2値周波数変調(FSK)信号に位相の飛び



周波数ホッピングの評価、FMCW LiDAR 等にも役立つ可能性があります

実用化に向けた課題(1)

- 本技術は、ゼロクロス点の計測に基づく周波数／位相計測のため、信号対ノイズ比 (S/N) が低い信号の計測には向いていません。
- 周波数カウンタの代替に適しています。ロックインアンプ等による微小信号計測への適用には向いていません。

実用化に向けた課題(2)

- ご紹介した参考データは、高価な（～400万円）FPGA搭載デジタイザを用いて取得したものです。
- 製品化を見据えれば、安価な装置に実装することが必要かと思われます。
- その際のコストと性能のトレードオフは個別に検討する必要があります。

企業様への期待

- 光信号や水晶振動子等を用いたセンシング技術への応用にポテンシャルがあると考えます。
- そのため、本技術の計測・センシングへの応用にご関心のある企業様との共同研究を希望します。
- また、「周波数カウンタ／位相計」単体としての製品化も歓迎いたします。

企業様への貢献、PRポイント

- 本技術は汎用性が高く、御社内での信号計測に係る幅広い分野で貢献できる可能性があります。
- 本格導入にあたっての技術支援も可能です。
- 弊所が保有する試作品のデモも可能です。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 位相計測装置およびこの位相計測装置を適用した機器
- 特許番号 : 特許 6583738 号
- 出願人 : 産業技術総合研究所
- 発明者 : 穀山 渉

産学連携の経歴

- 2015年-2017年：静岡県先端企業育成プロジェクト推進事業に採択され、ユニオプト社と共同研究実施、製品化を実現。
- 2014年-現在：民間企業への技術コンサルティング・共同研究等を累計50件以上（分担を含む）実施経験あり。

お問い合わせ先

(株)AIST Solutions

知的財産本部 知財戦略渉外部

aisol-syougai-all-ml@aist-solutions.co.jp