

新世代

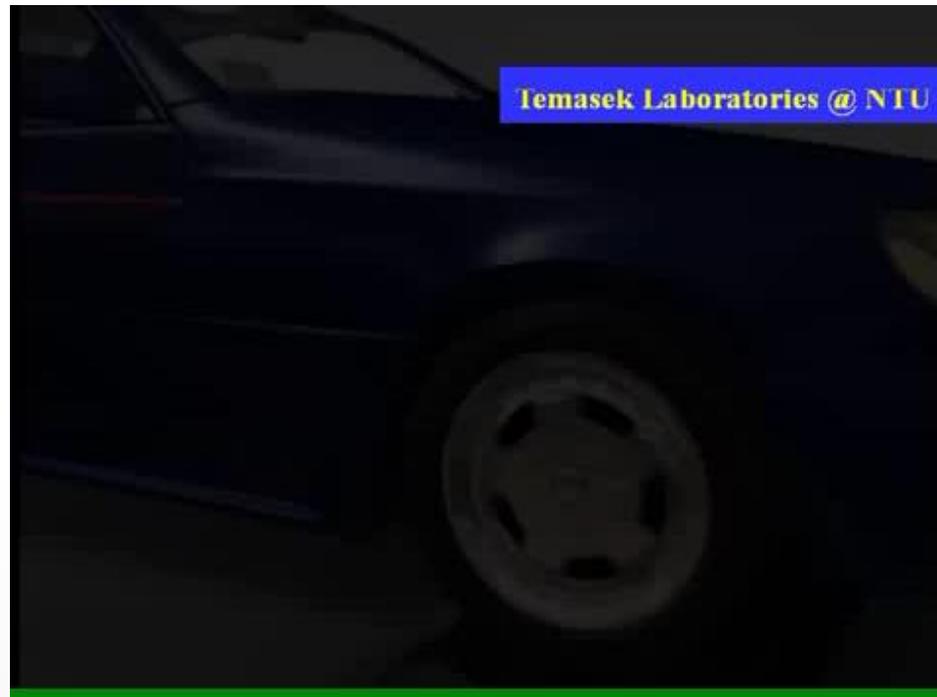
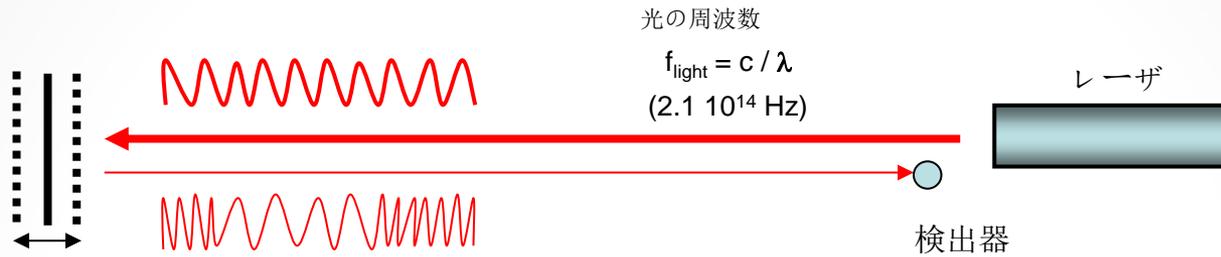
レーザードップラー振動計
(LDV)



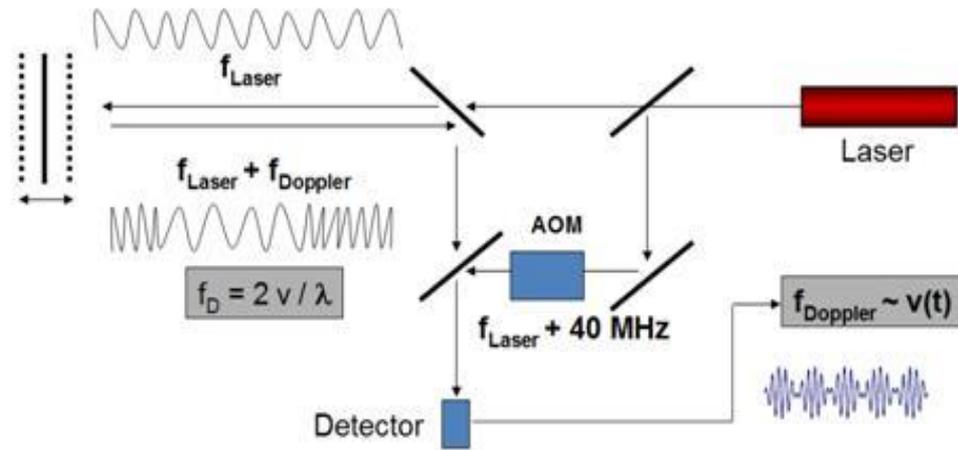
目次

- ◆ レーザドップラー振動計 (LDV) の理論
- ◆ LDVの構造およびタイプ
- ◆ LDVの応用
- ◆ WOE社のLDV とその仕様
- ◆ まとめ

レーザドップラー振動計 (LDV)



レーザドップラー振動計 (LDV)



点ごとの測定

指向曖昧性

- ヘテロダイン検出--- AOM (時間的キャリア) を追加
- 単一ピクセル検出器 (1-D信号)

レーザドップラー振動計の構造

光学部分

- レーザ光源
- 送信機と受信機
- 干渉計
- 検出器

電気的部分

- 増幅器およびフィルター
- 復調器ボード
- LCD コントロールパネル
- 電源
- ソフトウェア (表示部, 分析部, データ記録部)

機械的部分

市販のレーザドップラー振動計のタイプ

1. シングルポイント レーザドップラー振動計（近視野）

(a) フリースペース型



市販のレーザドップラー振動計のタイプ

(b) ファイバーベース型



市販のレーザドップラー振動計のタイプ

2. 走査型レーザドップラー振動計



市販のレーザドップラー振動計のタイプ

3. 長距離 レーザドップラー振動計



当社のLDV



1. ファイバーベース・シングルポイント・レーザドップラー振動計
2. ファイバーベース・マルチポイント・レーザドップラー振動計 (一般的な測定ポイント数: 2、4、8、16)
3. 長距離シングルポイント・レーザドップラー振動計

単一信号検出器を用いた空間的エンコード型 マルチビームレーザドップラー振動計

- ◆ AOMによりビームアレイを生成
- ◆ 単一の高速光検出器を使用
- ◆ 1-D信号
- ◆ バイパスクロストーク
- ◆ 同時測定
- ◆ 優れた費用対効果

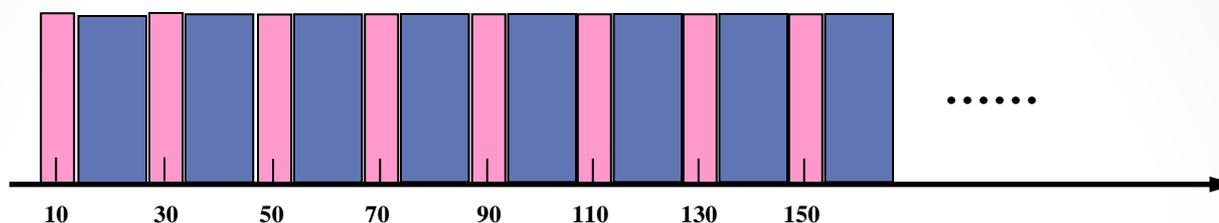
[20 物体ビーム + 1 参照ビーム] の干渉

$$I = I_{DC} + \sum_{i=1}^{20} I_{M(i)} \cos(2\pi(f_{D(i)} + f_{AOM(i)})t + \Delta\phi_{(i)}) \\ + \sum_{m=1}^{19} \sum_{n>m}^{20} I_{mn} \cos(2\pi[(f_{D(m)} - f_{D(n)}) + (f_{AOM(m)} - f_{AOM(n)})]t + \Delta\phi_{mn})$$

$i = 1, 2, \dots, 20, m$ と n は整数;

クロストーク

半ステップの周波数シフトによって

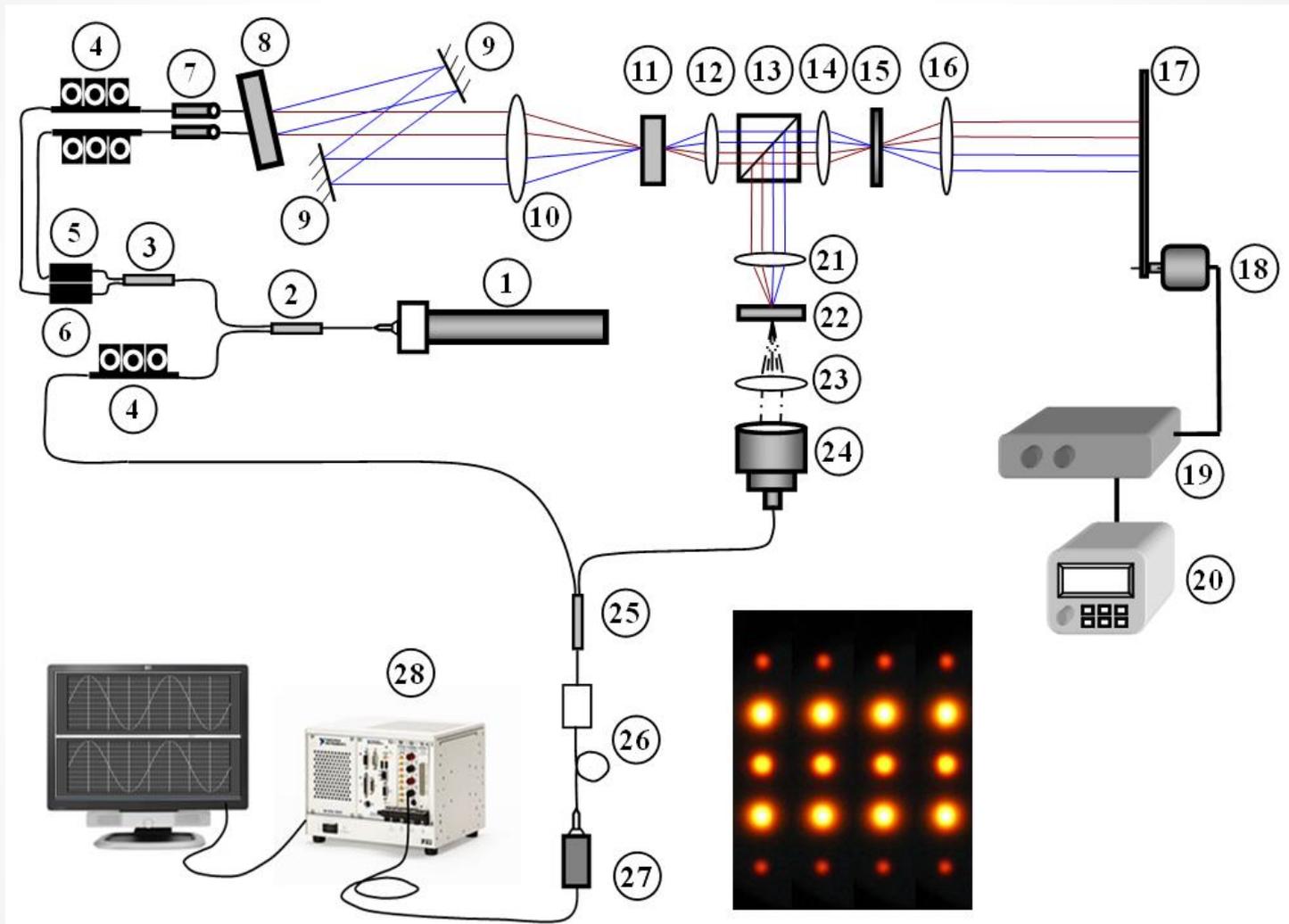


10MHz, 30MHz, 390MHz $\pm 3.3\text{MHz}$

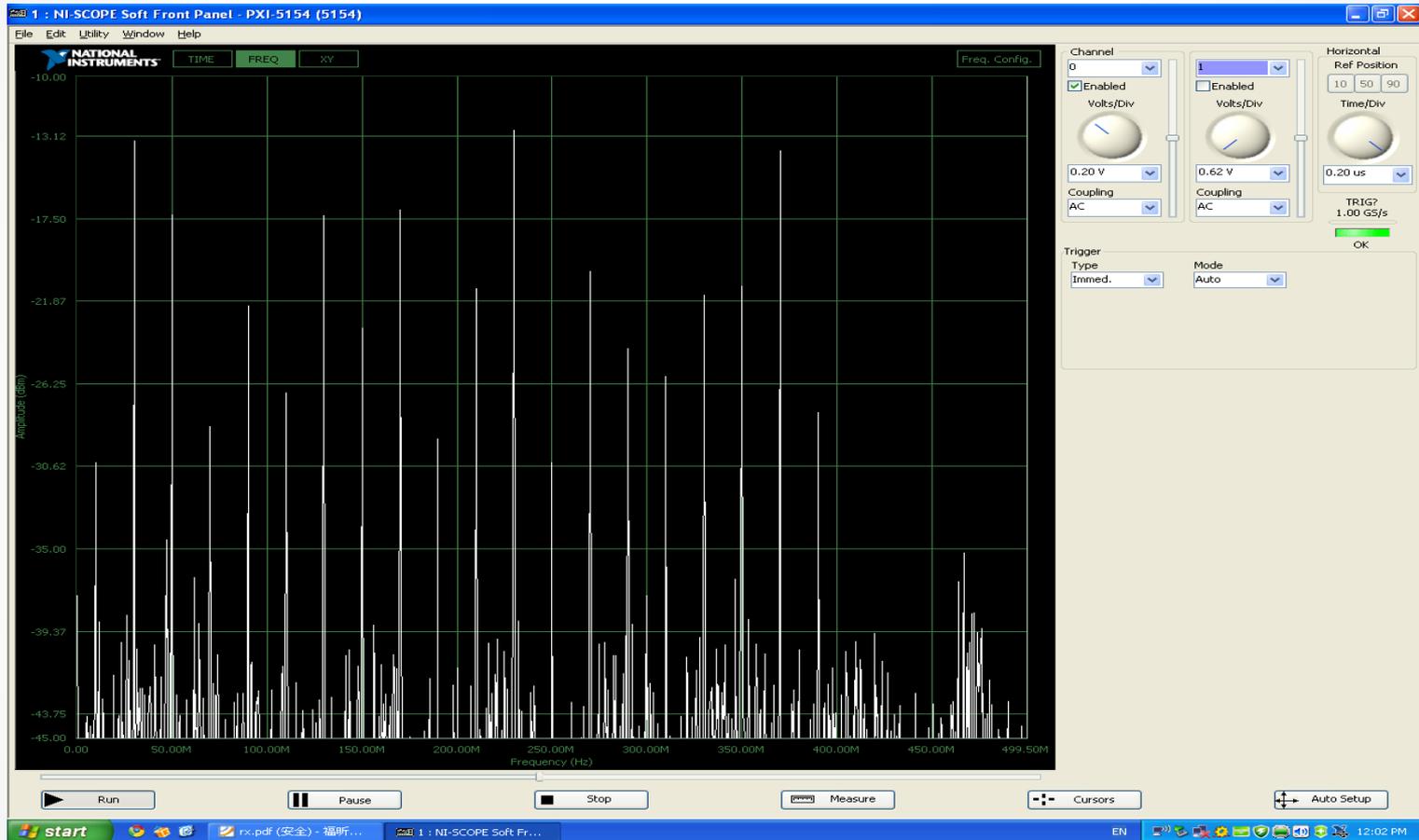
20MHz, 40MHz, 380MHz $\pm 6.6\text{MHz}$

- **小さな速度測定範囲 $\pm 3.3\text{MHz}$ ($\pm 2.55\text{m/s}$, 波長1550nm);**
- **デジタル復号化システム内の半分のサンプリングレート;**
- **データの半分の量は ----- 高速で処理**

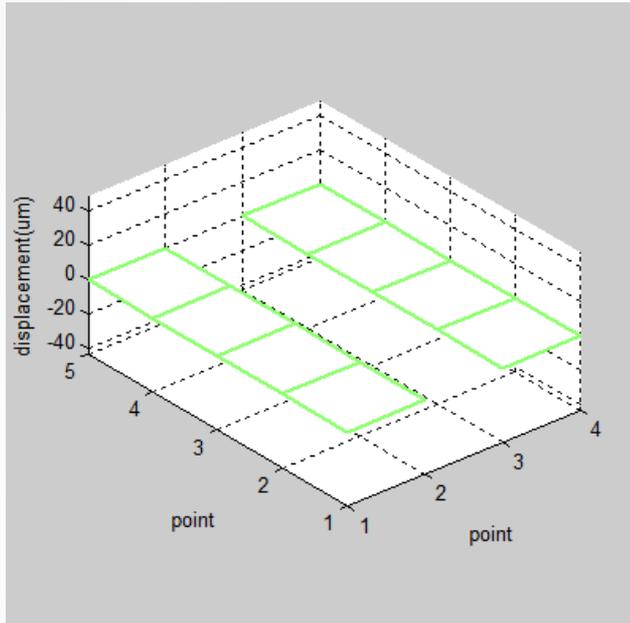
20-ポイント・レーザドップラー振動計



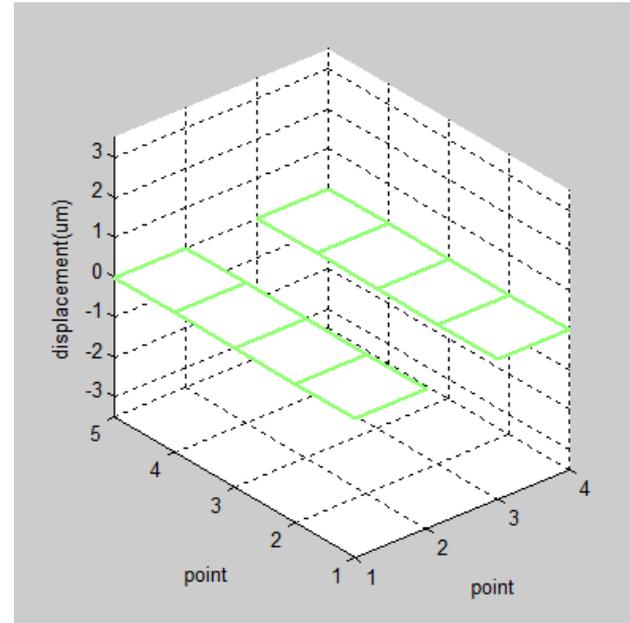
信号のスペクトル



370Hz:

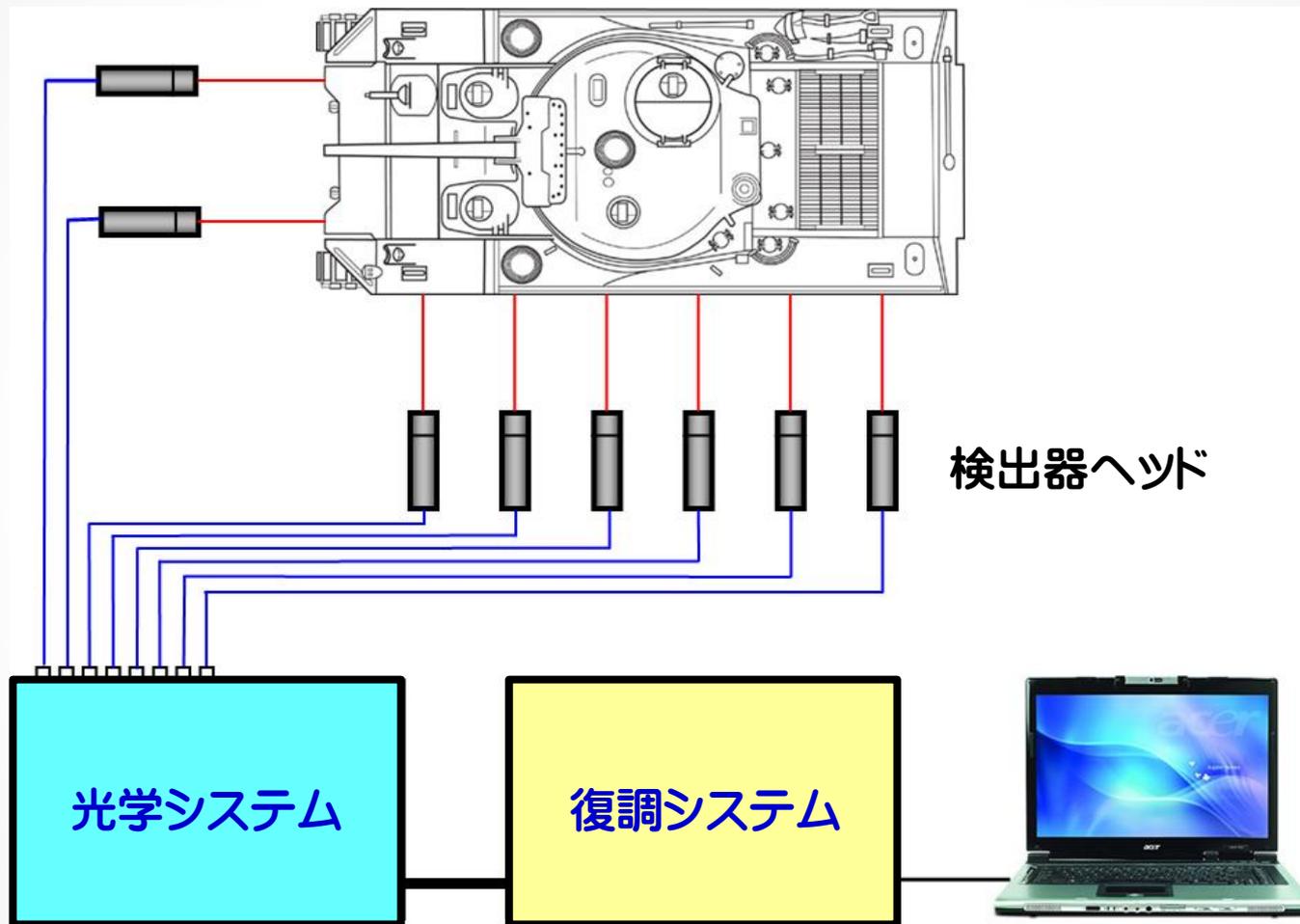


1300Hz:

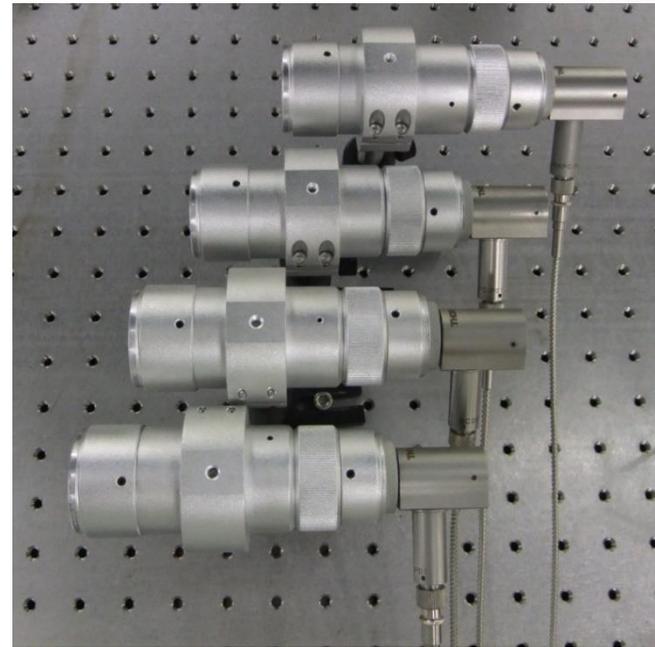


Y. Fu, M. Guo and P. B. Phua, “Multi-point laser Doppler vibrometry with single detector: Principles, implementations and signal analyses,” *Applied Optics*, Vol. 50(10), 1280-1288, April, 2011.

マルチポイント・レーザドップラー振動計のレイアウト図

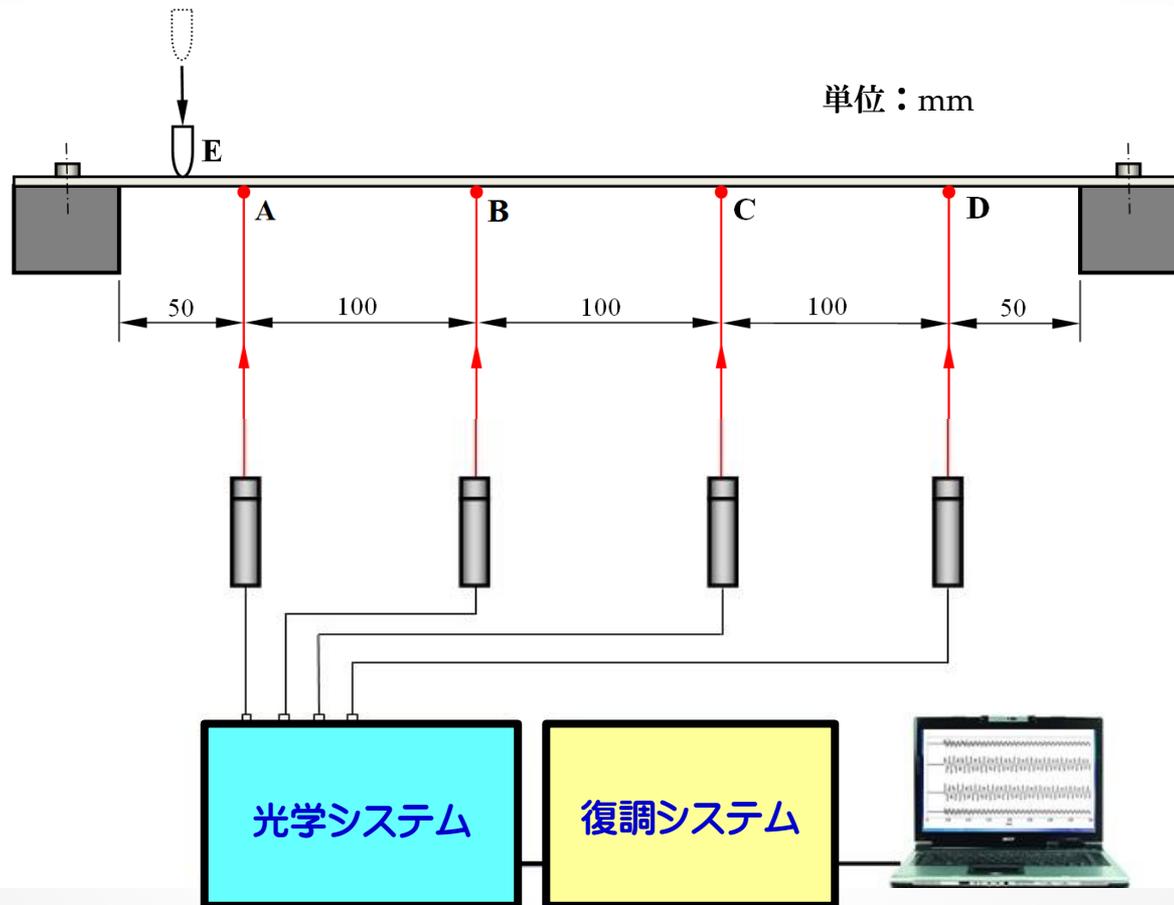


ファイバーベースの4-ポイントLDVの試作機

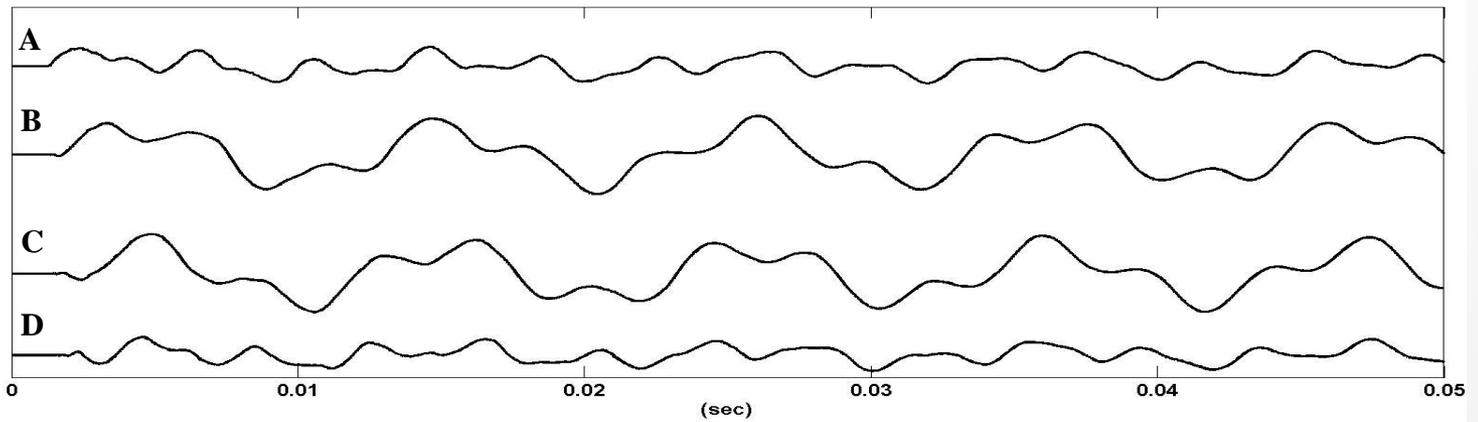
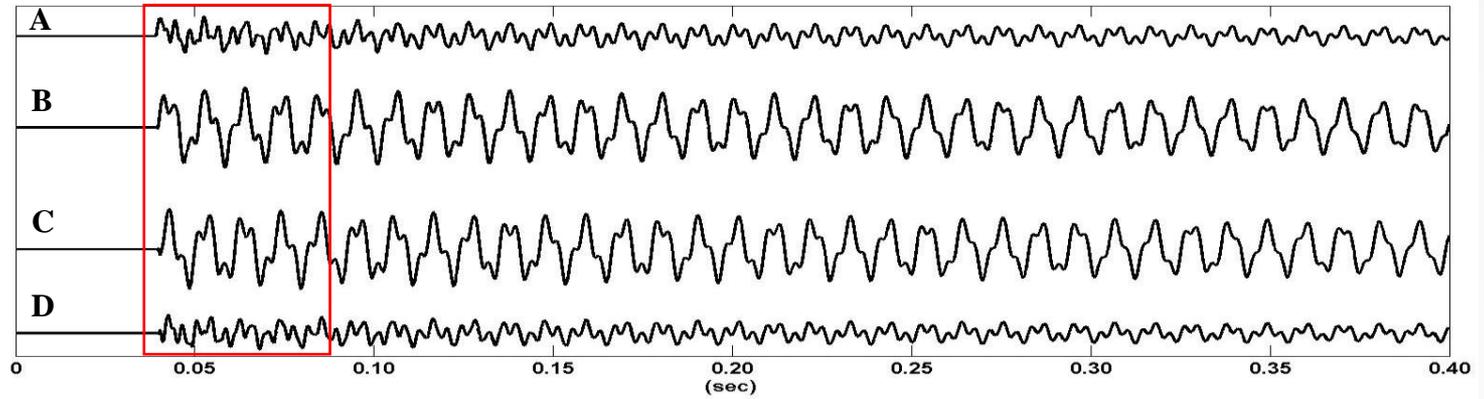


4-ポイントLDVによる測定結果

衝撃試験

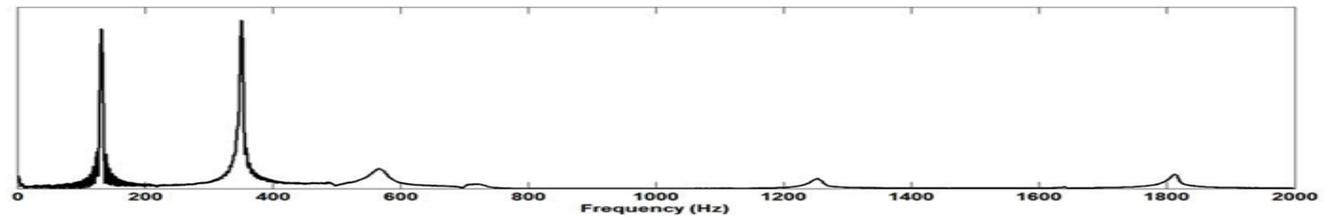


ポイントEにおける衝撃

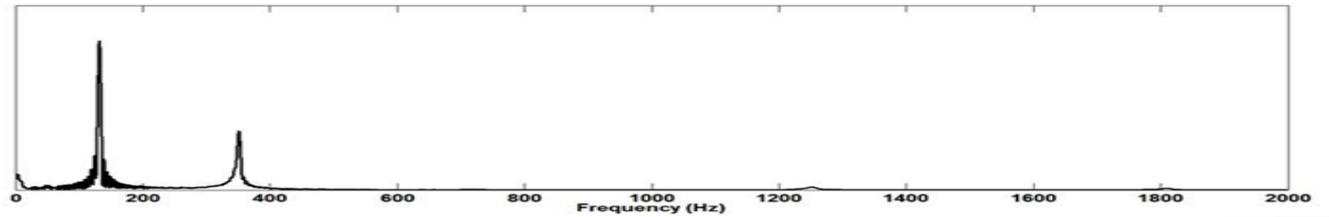


スペクトラム

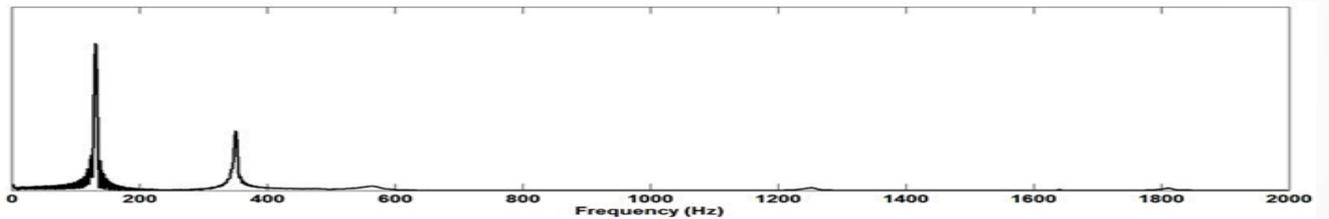
Point A
(30MHz)



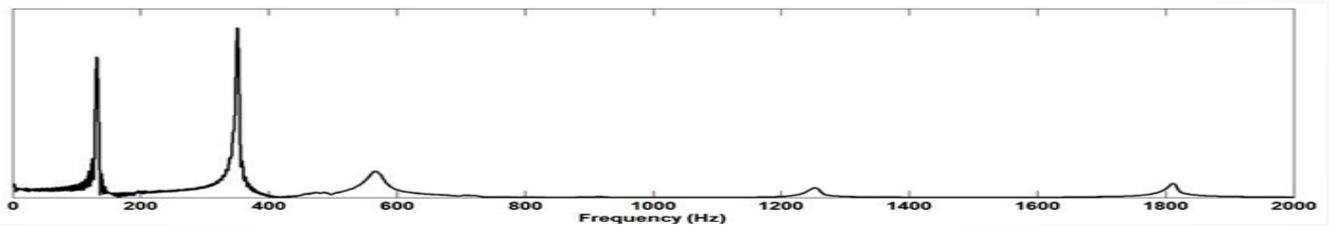
Point B
(50MHz)



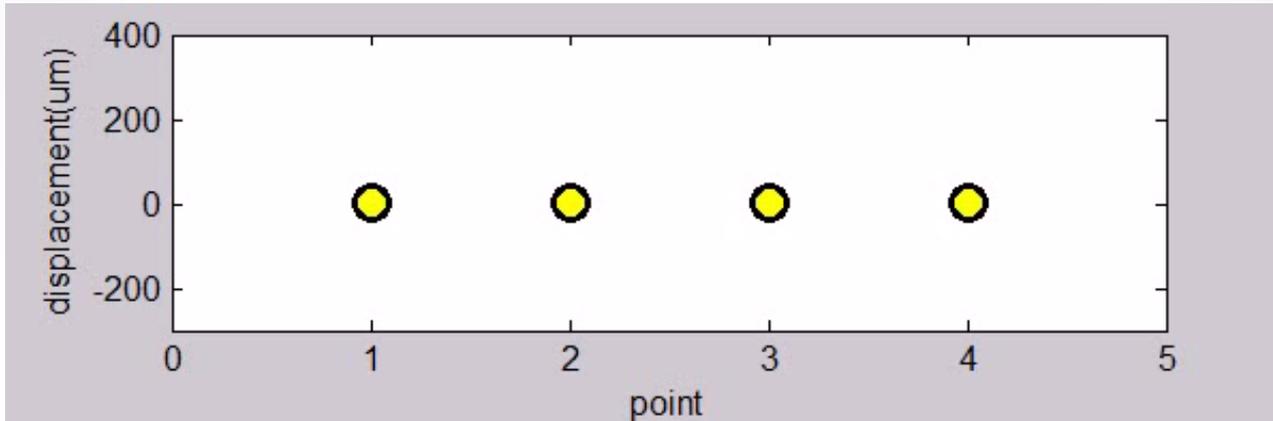
Point C
(70MHz)



Point D
(90MHz)

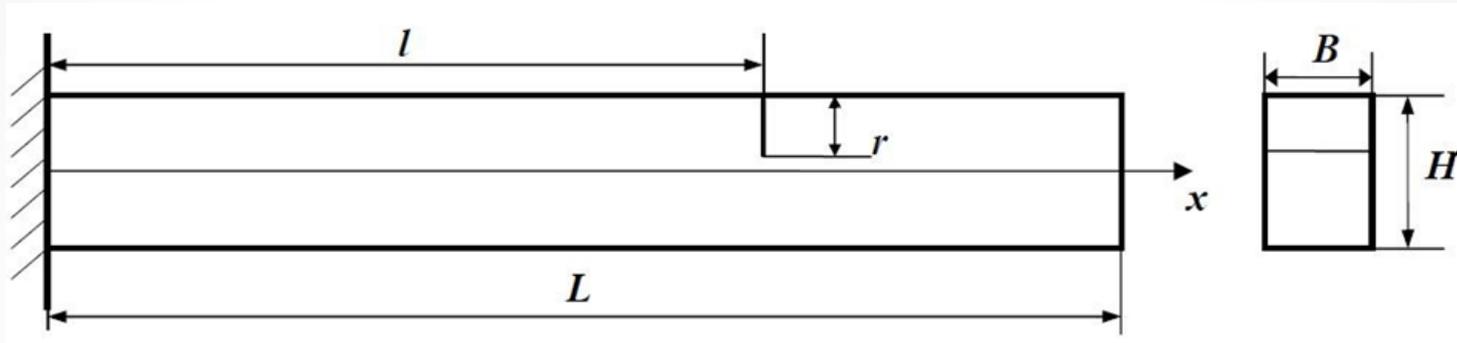


最初の0.1秒における変位



- テストビームの一方(ポイントE)に衝撃を与える。
- 共振周波数の数桁が励振される。
- 共振周波数は、 131.5Hz , 351.2Hz , 565.9Hz , 1253Hz および 1813Hz , etc.
- 観測: 4ポイントの位相差

クラックの検出

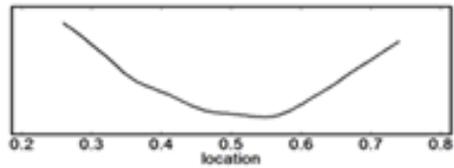
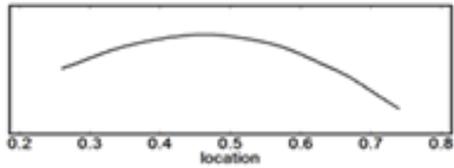
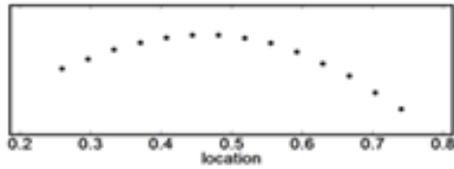


- 周波数ベースの技術
- モード形状に基づく技術

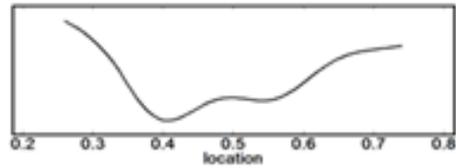
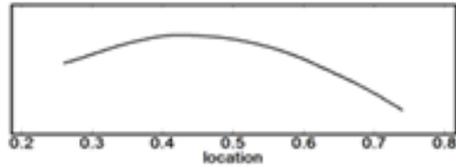
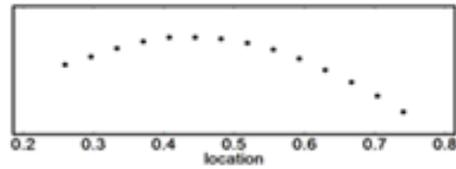
曲げ剛性:
$$EI = \frac{M}{d\phi^2/dx^2}$$

曲率モード形状

Intact Beam



Cracked Beam
($e=0.4$)

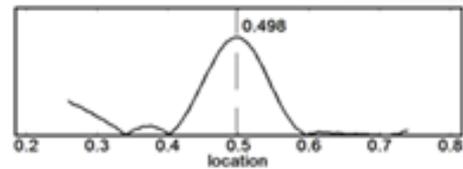
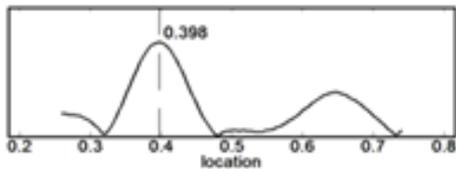
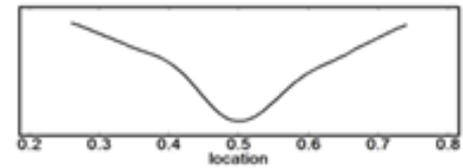
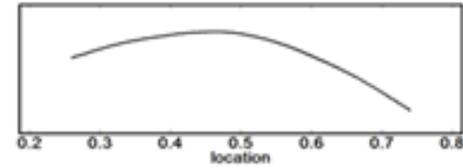
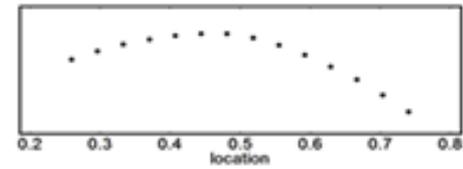


(a)

(b)

(c)

Cracked Beam
($e=0.5$)



(d)

LDV のアプリケーション



自動車および輸送

- ・実験モード解析
- ・FE-テストの相
- ・NVHテスト
- ・ドライブトレイン開発



航空宇宙・非破壊検査

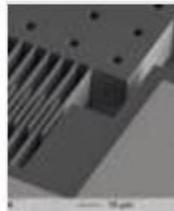
- ・地上振動試験
- ・NVHテスト
- ・実験モード解析
- ・材料と疲労試験
- ・エンジン試験



音響故障探傷 およびビーム形成



土木工学



マイクロ&ナノテクノロジー



PV/ソーラー および半導体



ライフサイエンス、 バイオメディカル

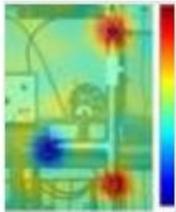
- ・聴覚とバイオメカニクス
- ・生物学
- ・医療技術



品質検査およびプロセス制御



データストレージ 基板とメディア



音響 & 超音波

- ・スピーカーデザイン
- ・楽器
- ・超音波加工



材料研究・機械工学



アプリケーションノート

高度な振動測定技術は、次のアプリケーションに 重大な影響を与えています：

□航空宇宙産業

航空宇宙製品の性能、品質、信頼性を確保することは不可欠であるので、構造試験は、航空宇宙製品の設計および製造の一部です。

光学振動測定システムは、地上振動試験、材料および疲労試験、エンジンのノイズ試験および振動解析および制御に適用することができます。

□自動車産業

光学振動測定システムは、例えば、構造力学の監視、ブレーキ診断、およびノイズ、振動、ハーシュネスの定量化など、自動車産業で広く使用されています。

□ハードディスクドライブの診断

光学振動測定システムは、ハードディスクドライブ、特に読み書きヘッドの分析に広く使用されています。

□マイクロおよびナノ構造の分析

顕微鏡と組み合わせることで、光の振動測定システムは、MEMSコンポーネントのようなマイクロおよびナノ構造体の動的挙動を評価するために使用されています。

□土木構造解析

橋、風力発電機の回転タービン、高い鉄塔および高層ビルのリモート振動測定は、定期的に土木構造安全性解析に使われてきました。

□医療および健康管理

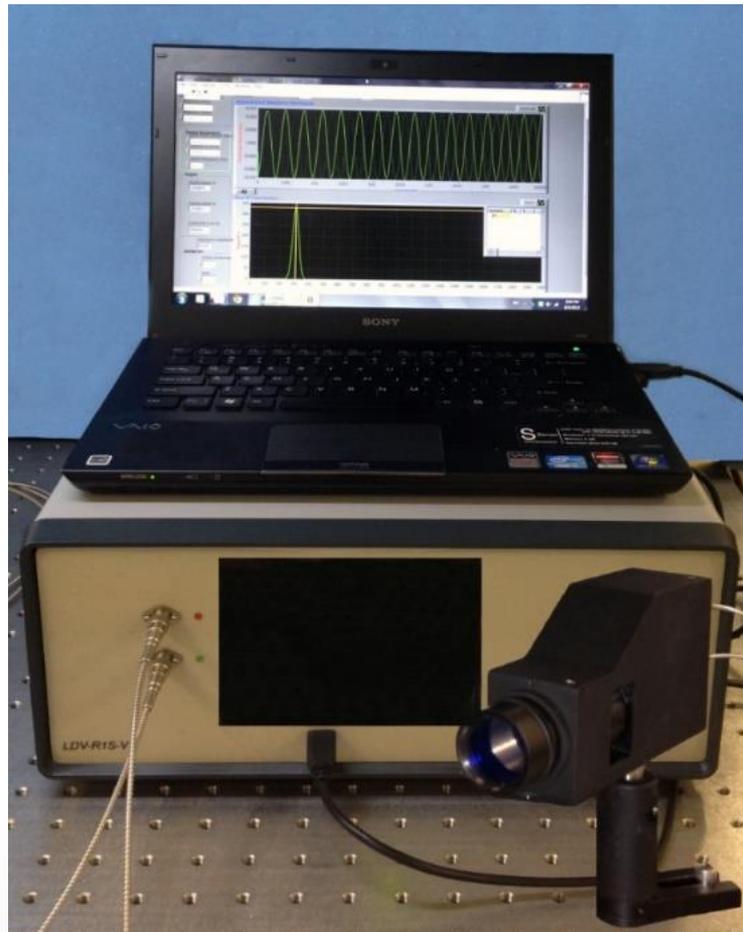
光学振動測定システムは、鼓膜の診断や中耳および内耳の研究を支援することができます。さらに、測定システムは、人工心臓の振動測定、腱の機械的特性、骨穿孔中または医用レーザーアブレーション中の振動分析、および骨の亀裂伝播の検出に使用されてきました。

□製造業の品質管理

光学振動測定システムは、切断工具の振動制御および機械加工の品質管理に広く使われています。

当社の製品

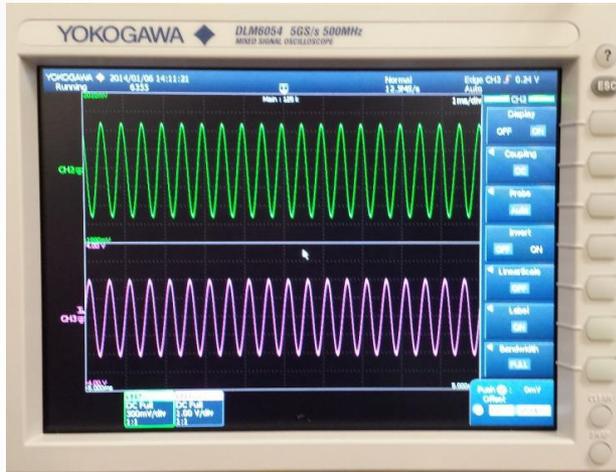
1). シングルポイントのファイバーベース・レーザドップラー振動計



仕様:

- レーザ: He-Ne レーザ (632.8nm)
- 周波数測定範囲: 最大 5MHz (1 チャンネル)
250kHz (マルチチャンネル)
- 変位測定分解能: 5pm
- レーザスポットサイズ: <math><10\mu\text{m}</math> (固定焦点でレンズ装着時)
- 信号出力インターフェイス: USB3.0.
- ファイバー: PM ファイバー (ステンレス製保護機能付)
- ソフトウェア: Windows インターフェイス。信号および周波数領域のディスプレイ信号。データセーブ機能付

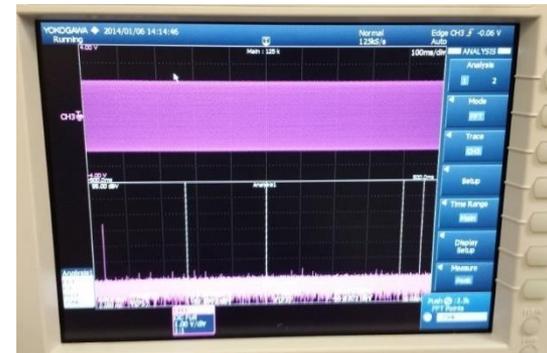
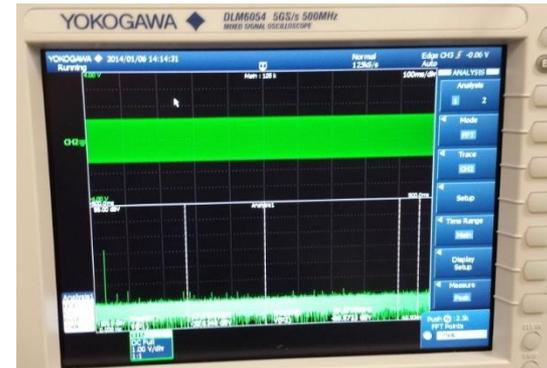
ポリテックVD-06のデジタル復調システムとの比較



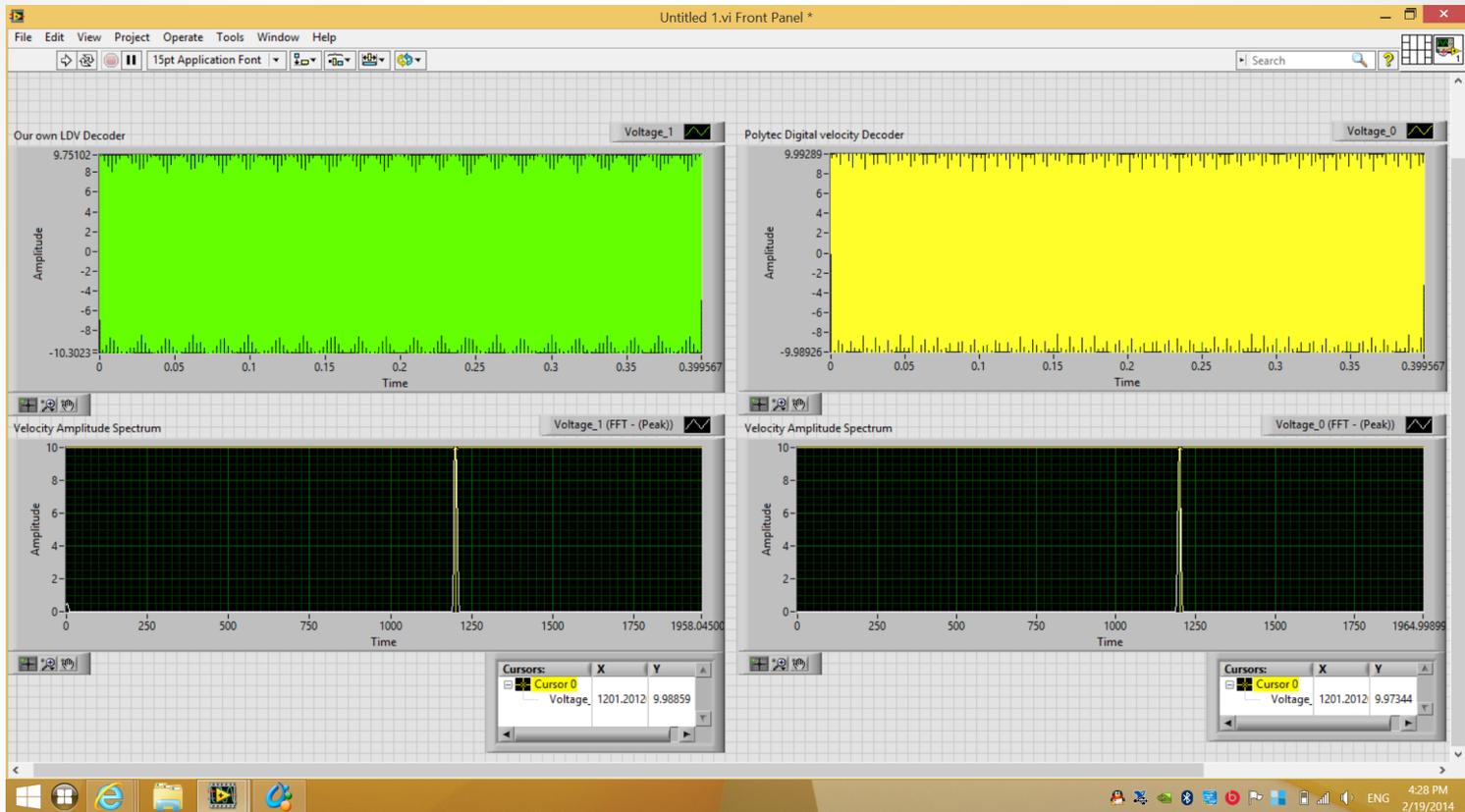
時間領域

緑: ポリテック社

紫: 当社のシステム



周波数領域



1200Hzでの変位測定およびポリテックPDV-100 LDV との比較

2). 2ポイントファイバーベース・レーザドップラー振動計

正面



検出ヘッド



背面



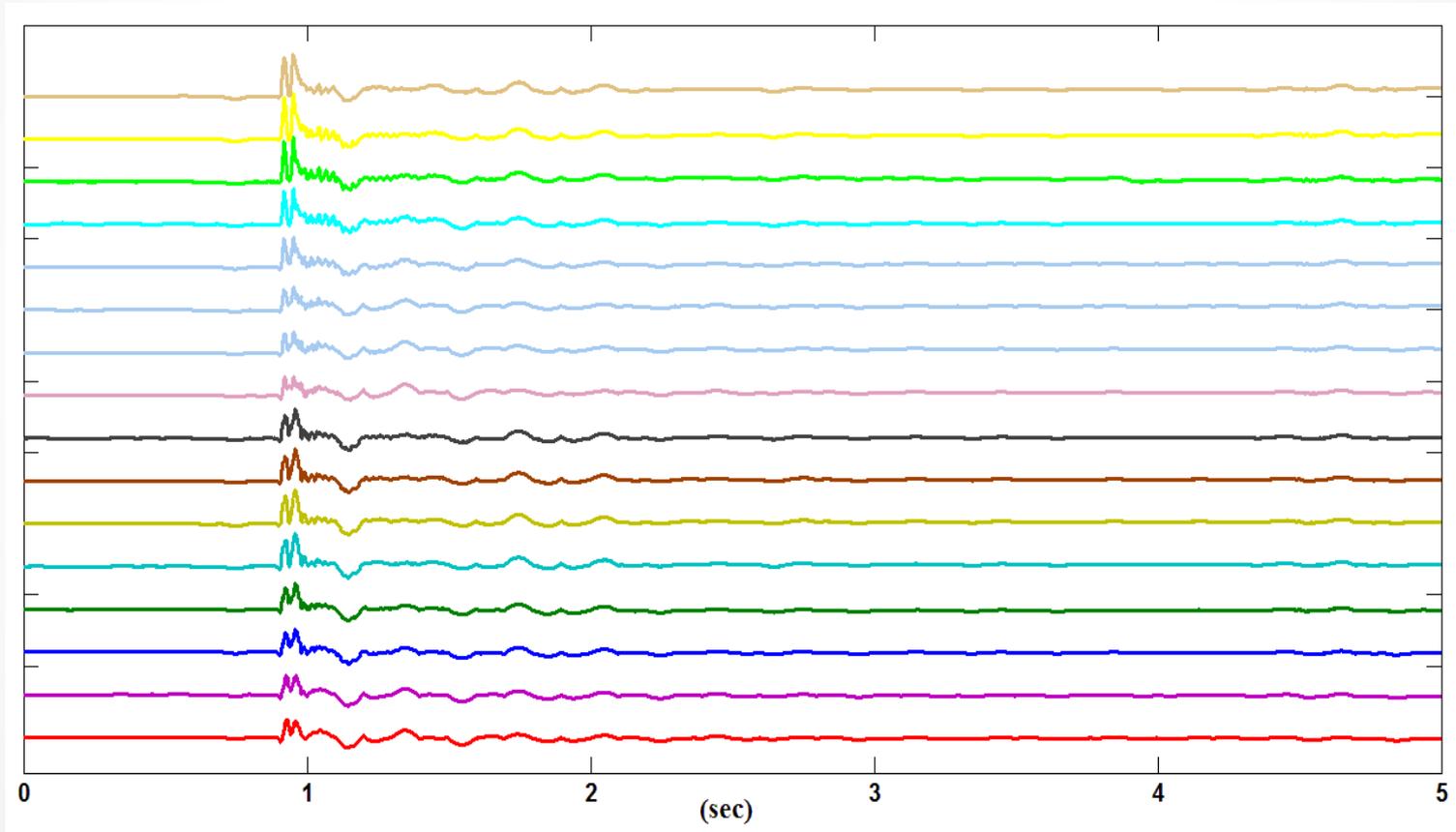
3). マルチポイント・ファイバーベース・レーザドップラー振動計



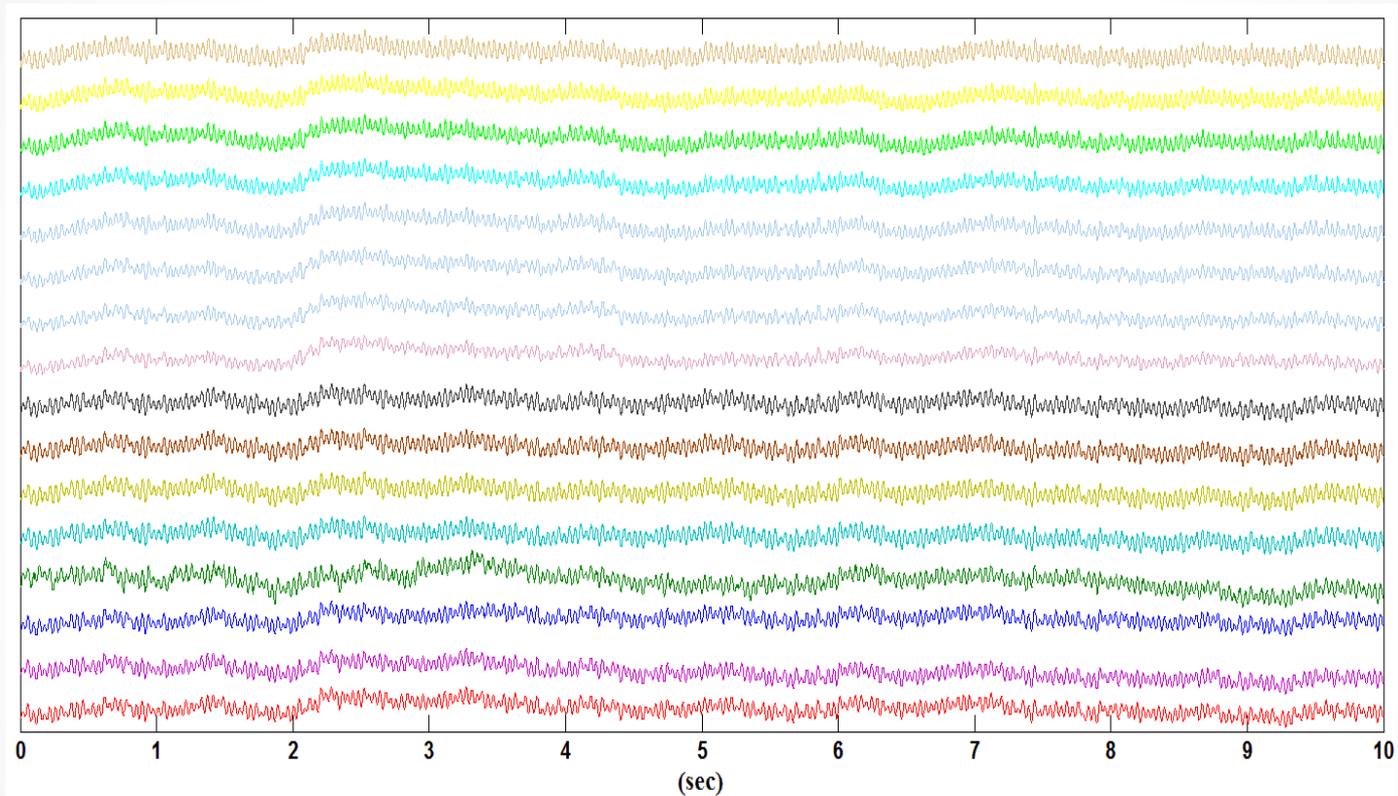
16-ポイント・レーザコヒーレント検出システム(プロトタイプ)



後部ドアを閉めた時の16ポイント振動計測 (過渡事象)



エンジン始動時の16ポイント振動計測



4). シングルポイント長距離レーザドップラー振動計 (100m, 200m, 300m)



まとめ

- WOE社は、シングルポイント、マルチポイント、遠距離の各LDVを提供
- ファイバーベース構造で、より柔軟で、より安定に
- マルチポイントLDVの最先端の技術
- FPGA 技術、高度な計算機能
- より柔軟なマーケティング戦略