

光ファイバーセンサーを用いた 風力タービンの構造ヘルスマニタリング

風力タービンブレードの監視：

プロジェクトの概要

- ・ 風力タービンブレードの製造時にメンバーの持つ全てのセンシング技術を実装
 - ・ 風力タービンブレードのライフサイクルを通してのセンシングシステムの性能の評価
 - ・ 風力タービンブレードに組み込むための今後のセンシングシステムの課題の抽出
-
- ・ 弊社(Micron Optics) とのプロジェクトメンバー
 - ・ サンディア国立研究所 (SNL)
 - ・ TPI Composites
 - ・ パデュー大学(Purdue University)
 - ・ アイサーエンジニアリング(Aither Engineering)

内容

- ・ 風力タービン監視（モニタリング）の概要
- ・ ベースとなるFBGの特性と利点
- ・ Sブレード作製とTPI複合材へのセンサー設置
(ロードアイランド州、ワレンの製造施設)
- ・ Sブレードシステムの検証とキャリブレーション
(テキサス州、ブッシュランドの評価施設)
- ・ Sブレードの構成、タービンへの設置と運用テスト
- ・ まとめ

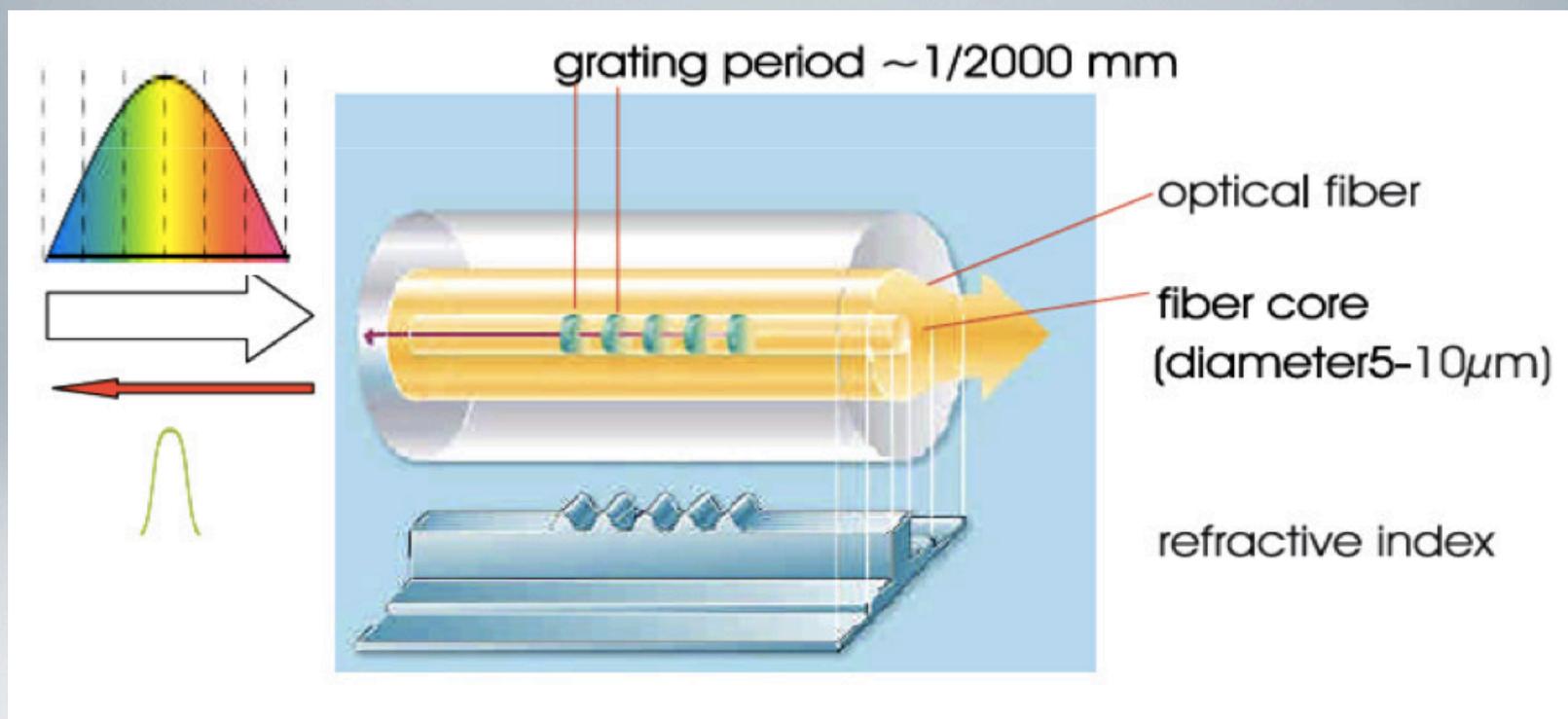
風力タービンの監視(モニタリング) の概要

風力タービンのテストとオンラインでのモニタリング

- ・ 設計検証とテスト
 - 限界強度と疲労
 - 設計検証と改善
 - 確証及び認証の評価
- ・ ブレードの監視
 - 静的及び動的荷重（根元から全長、風速、乱流、その他）
 - 表面ストレス
 - ブレードの歪み（形状プロファイルの決定、タワーへ衝突を避ける）
 - ピッチ制御
 - 振動（周波数、モーダルレスポンス）
 - 表面状態（氷、塵、汚れ）
- ・ タワーと基礎
 - 荷重、曲げとトルク
 - 振動モード

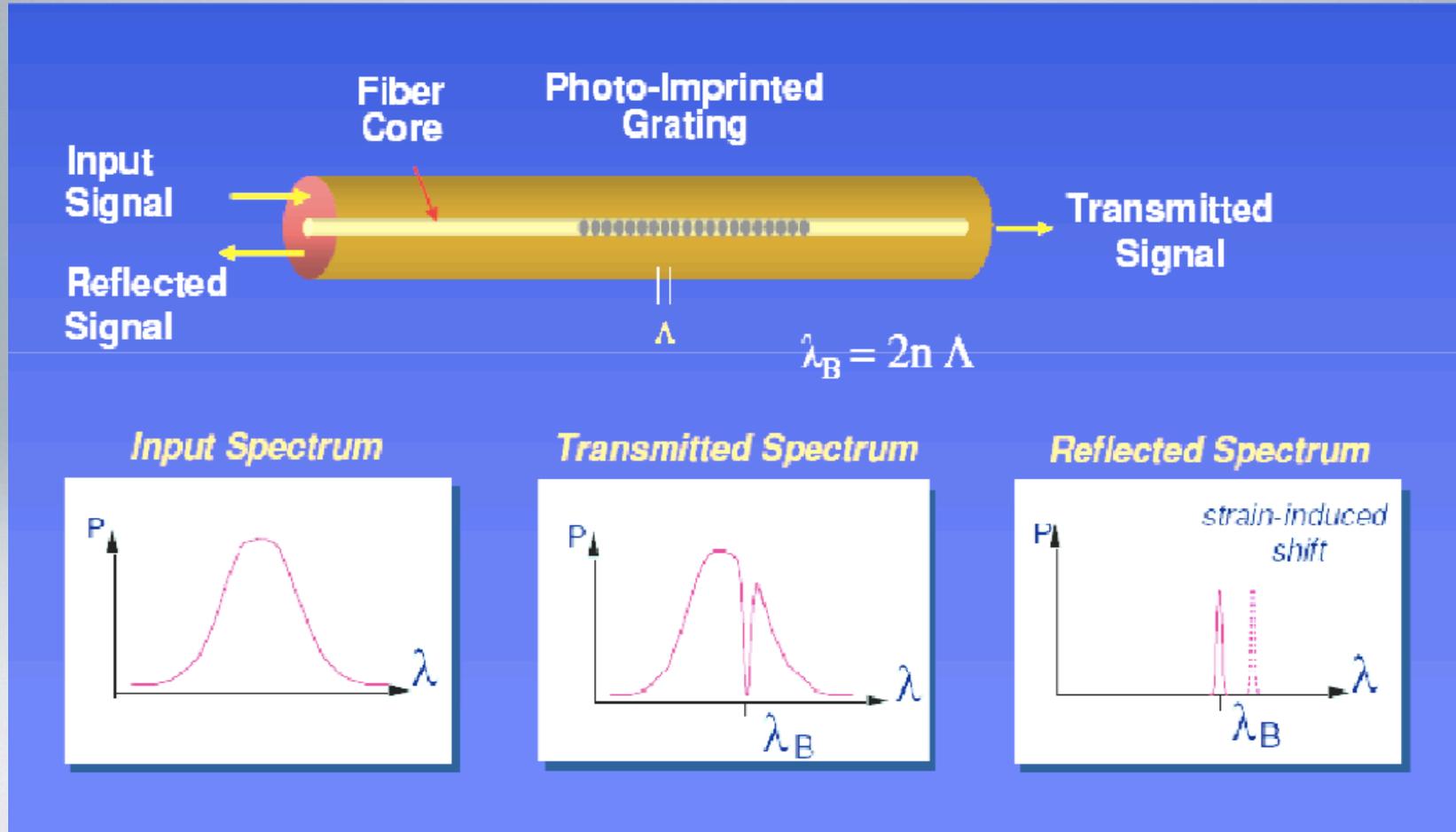
ファイバー・ブラッグ・グレーティング (以下 FBG) の原理

- FBGは光ファイバーのコア部に周期的な屈折率変化を形成したものの



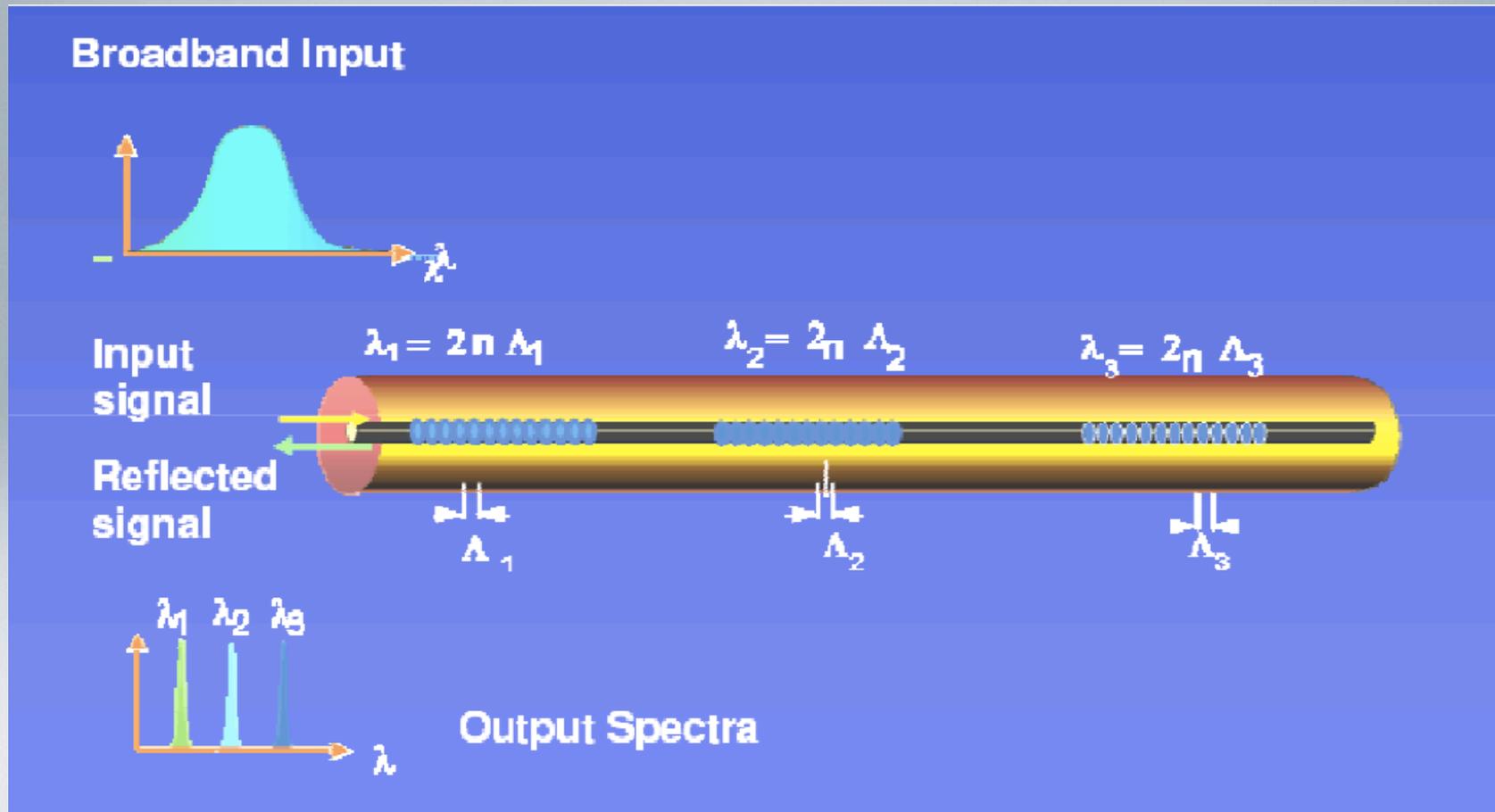
FBG 原理

屈折率変化の周期に比例した特定の波長(以下 ブラッグ波長) のみ反射するといった特性がある。

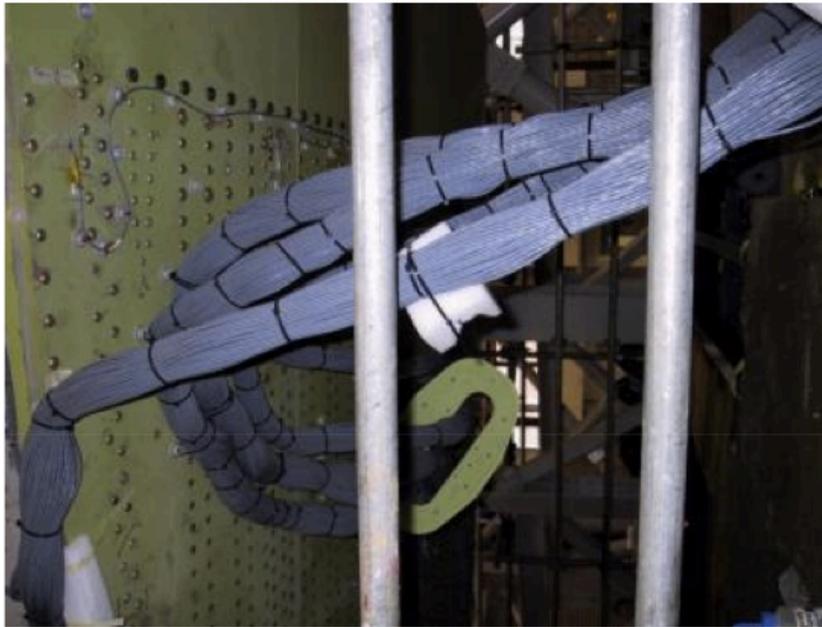


FBG：ファイバーアレイとWDM（波長分割多重伝送）

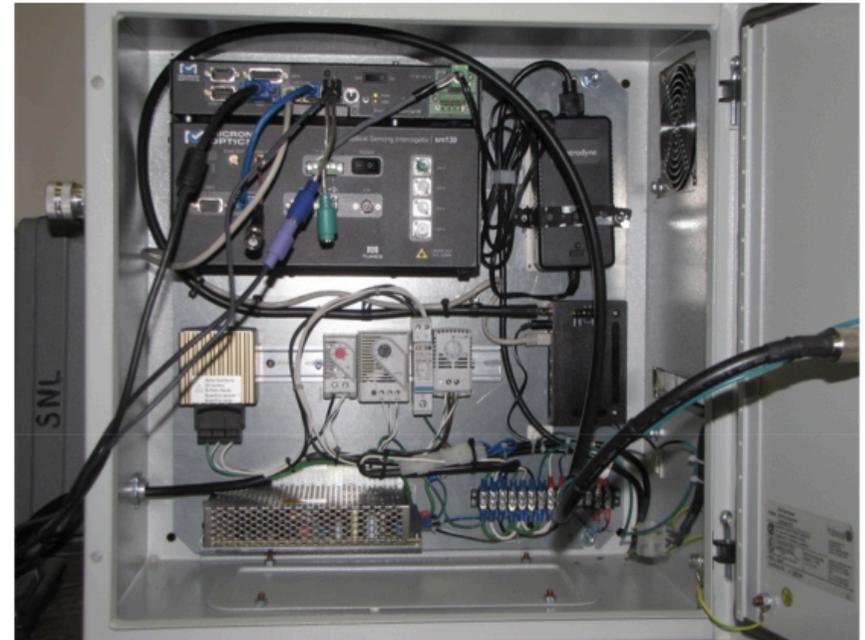
異なるブラッグ波長を持つFBGを光ファイバーに直列に並べ、広帯域の光を入射し反射光の波長とその変位量を動的に測定することにより、多点同時計測（マルチポイントダイナミックモニタリング）が可能となる。



FBGの利点



VS

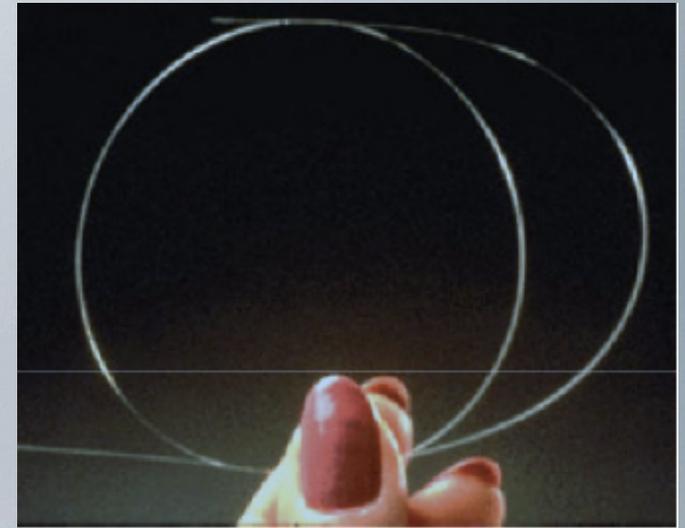


・大型ワイヤーハーネスおよび機器ラック

“シューズボックス”サイズに収められる機器と
容易でシンプルな配線が可能

FBGの利点

- ・ 電磁干渉（EMI）とサージ電流（雷）に対する免疫性
- ・ 電源不要で高い安全性
- ・ 耐腐食性
- ・ 優れた分解能と広いレンジ
- ・ 頑丈、小型、軽量
- ・ 小さいサイズは本来の場所での測定を可能に
- ・ 複数センサーを各チャンネルに設置可能(80点/チャンネル)
- ・ 低損失で長距離に渡ってセンシングが可能
- ・ シグナルコンディショニング装置は、従来に比べ遥かに小型



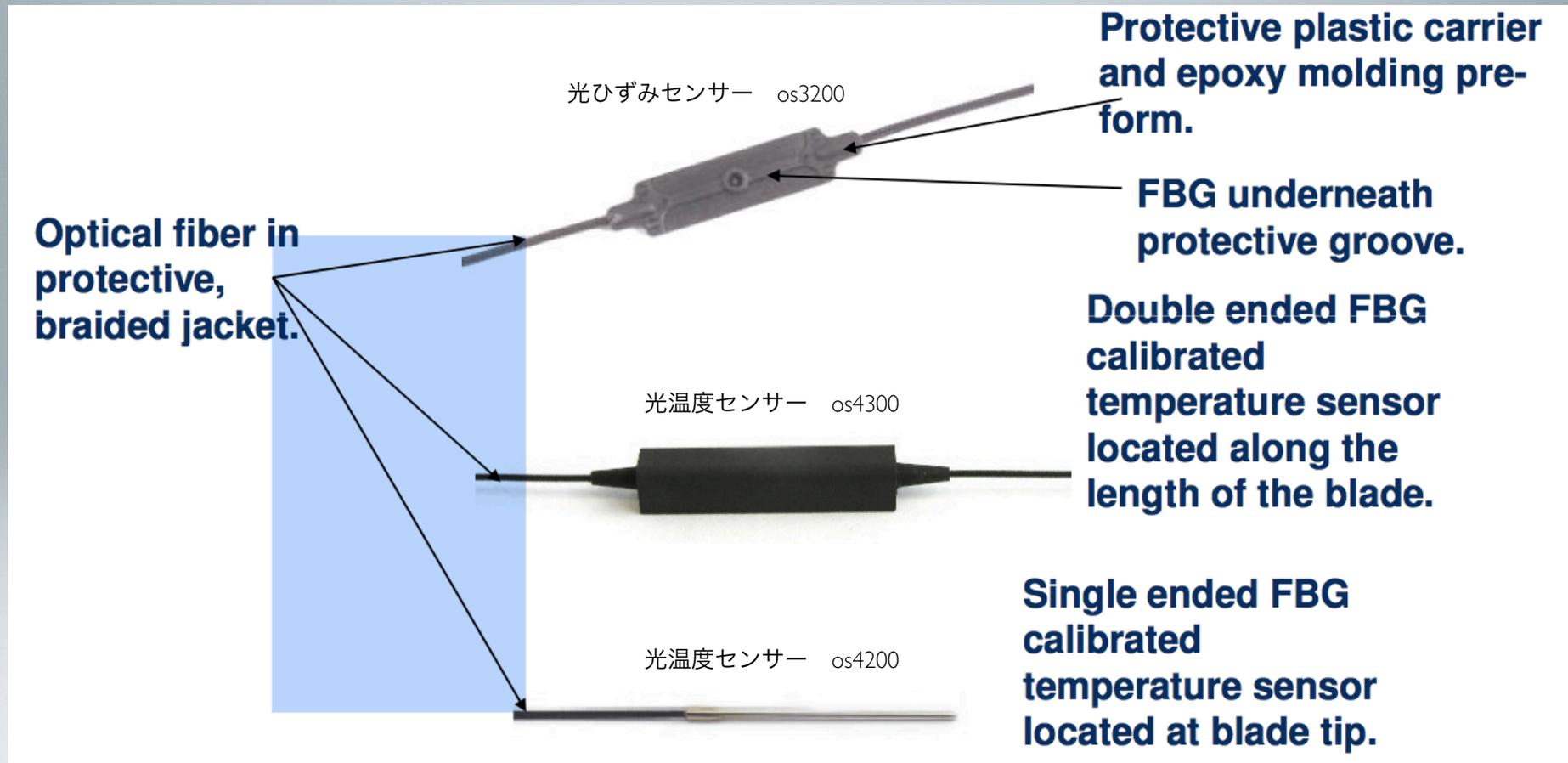
sブレードの作製とセンサーの設置



Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.



風力タービンブレードの監視（モニタリング） 設置する各種光センサー



風力タービンブレードの監視（モニタリング）： TPI複合材へのセンサー取付



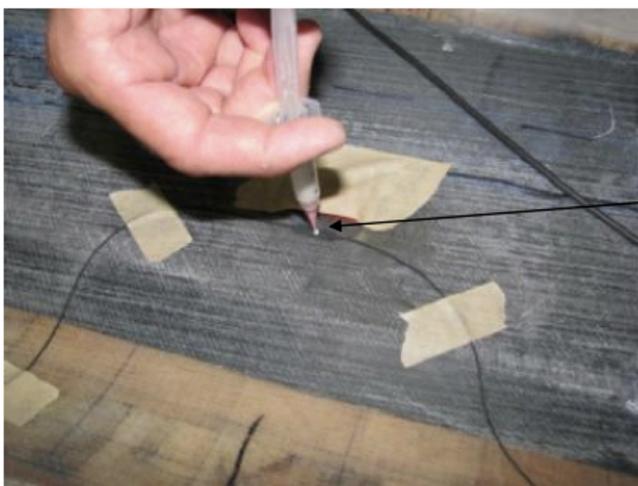
- ・センサー取付けはブレードの製作中に行われた
- ・ブレードはバルサ材、炭素繊維、エポキシとガラス繊維で構成されている
- ・取付けられたセンサー
光ひずみセンサー、温度センサー、
ひずみゲージ、抵抗温度計（RTD）、加速度計

風力タービンブレードの監視（モニタリング）： センサーのインストールの概要



Sensor array delivered to TPI assembled and ready for installation.

TPI複合材へ取付する前に
センサーを直列に接続する。



Attachment of the FBG strain gage.

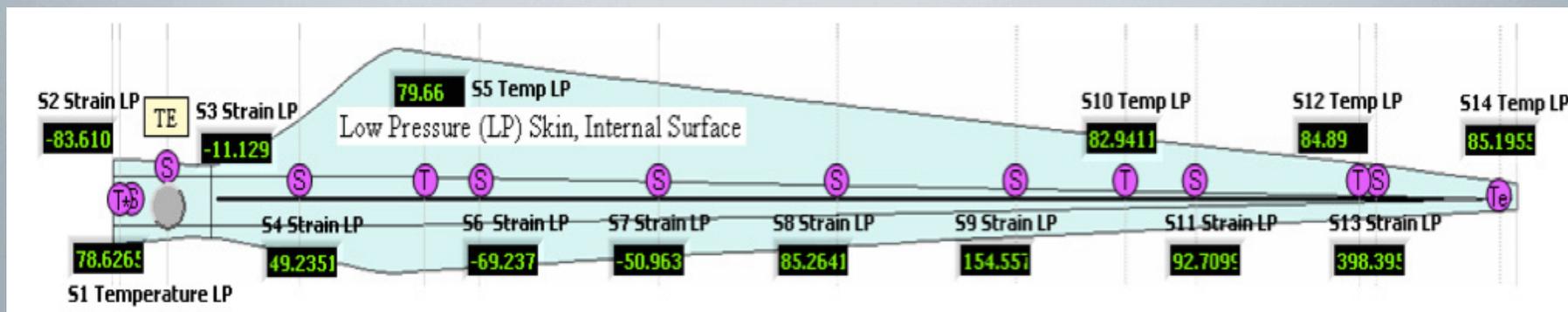
光ひずみセンサー(os3200)の取り付け



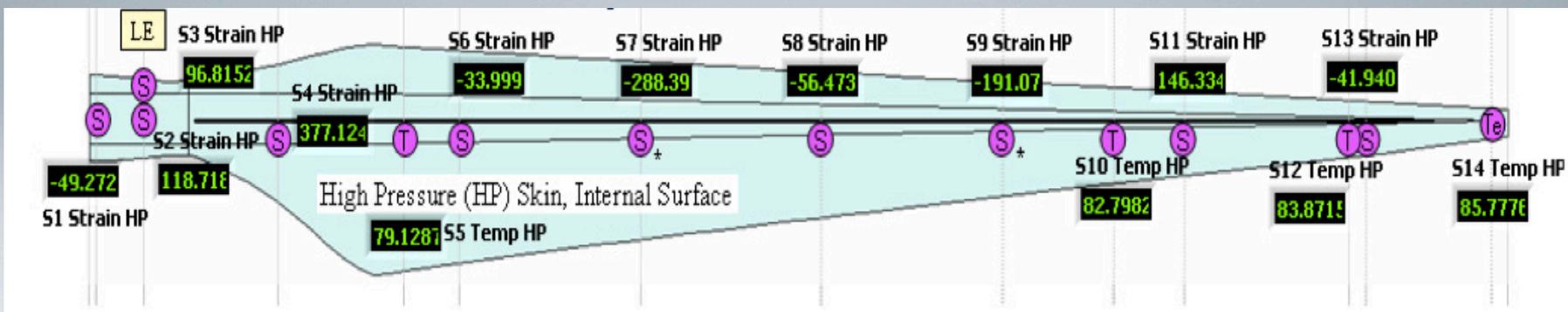
os3200の実装動画

<http://www.youtube.com/watch?v=QxgsJNOF0C8&list=UUub1jIVmdjTxvgStevAeSA&index=21&feature=plcp>

(センサーのレイアウト)

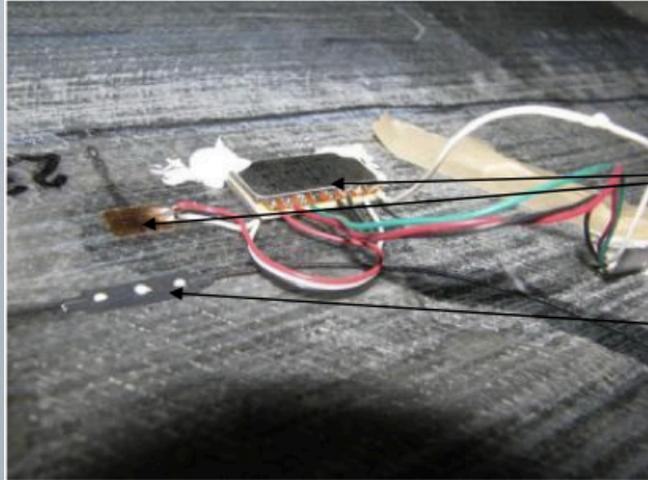


低圧スキン - すべてのセンサーが1つの光ファイバーケーブルに位置し、チャンネル1に接続されています。
9つのひずみセンサーと5つの温度センサー



高圧スキン - すべてのセンサーは1つの光ファイバーケーブルに位置し、チャンネル2に接続されています。
10のひずみセンサーと4つの温度センサー

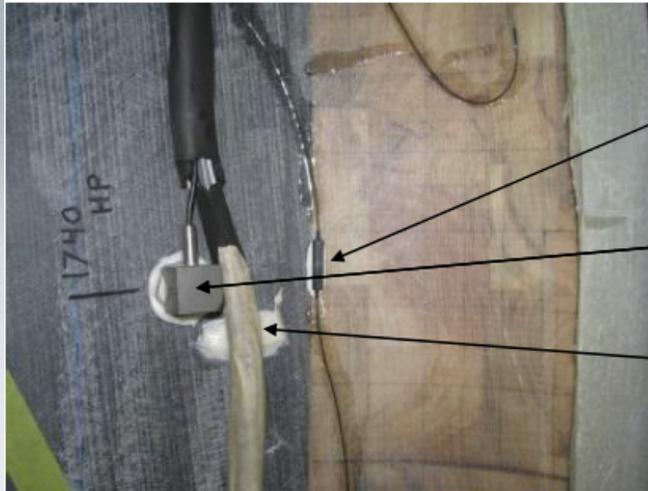
TPI複合材 のセンサーの設置の概要



ひずみゲージをブレードの中央に
**Foil strain gage with completion
bridge mid blade.**

FBGひずみゲージ (光ひずみセンサー-os3200)
FBG strain gage.

校正済み光温度センサー-os4300
**Calibrated, double ended FBG
temperature sensor.**



加速度計
Accelerometer

抵抗温度計
RTD.

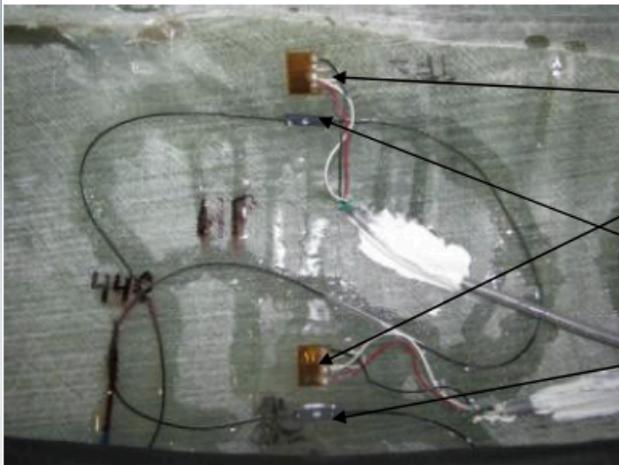
 **MICRON
OPTICS**
15

TPI複合材 のセンサーの設置の概要



校正済み光温度センサーos4300をブレードの先端部に取付

**Calibrated, single ended
temperature sensor
mounted on blade tip.**



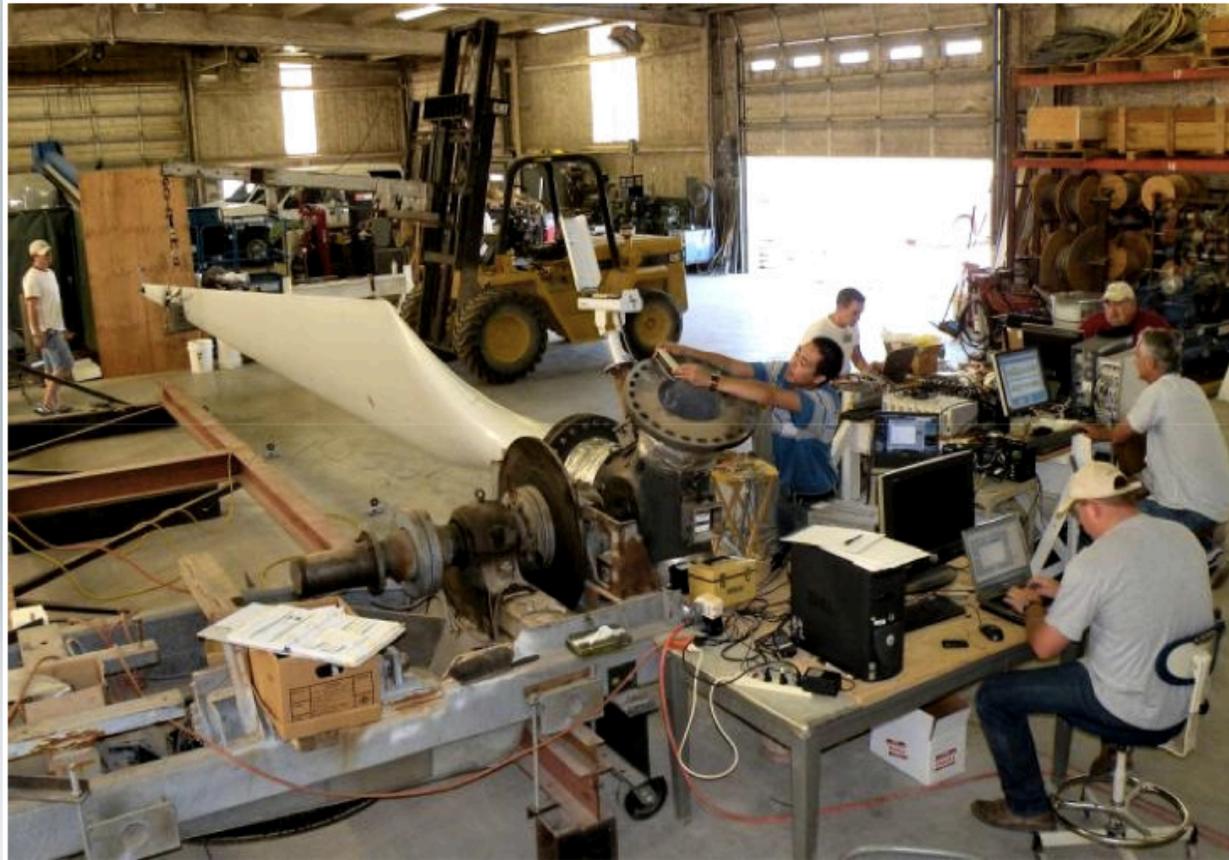
ひずみゲージ
Foil strain gage.

FBGひずみゲージ (光ひずみセンサーos3200)

FBG strain gage.

 **MICRON
OPTICS**
16

テキサス州ブッシュランドにてセンサーキャリブレーション



Sブレードの先端部歪み試験、すべてのセンサーシステムはキャリブレーションとデータが関連していた。

ハブ上に機器を設置



FBG sensing system.

FBGセンシングシステム

Data system for foil strain gages and RTDs.

ひずみゲージやRTDのデータシステム

Data system for accelerometers.

加速度計のデータシステム

ハブ上に機器を設置



- **Data acquisition and control equipment located on the hub.**
- **sm130-700 Optical Sensing Interrogator**
- **sp130 Industrial Computer**
- **Power is supplied thru a slip ring.**
- **Data is transmitted via wireless TCP/IP to control room**

- ・ハブに設置されたデータ収集・制御機器
- ・弊社製 sm130-700 センシングインタロゲータ
- ・弊社製 sp130 コンピュータ
- ・電力はスルースリップリングで供給
- ・データは無線TCP/IPを経由して制御室へ送信される

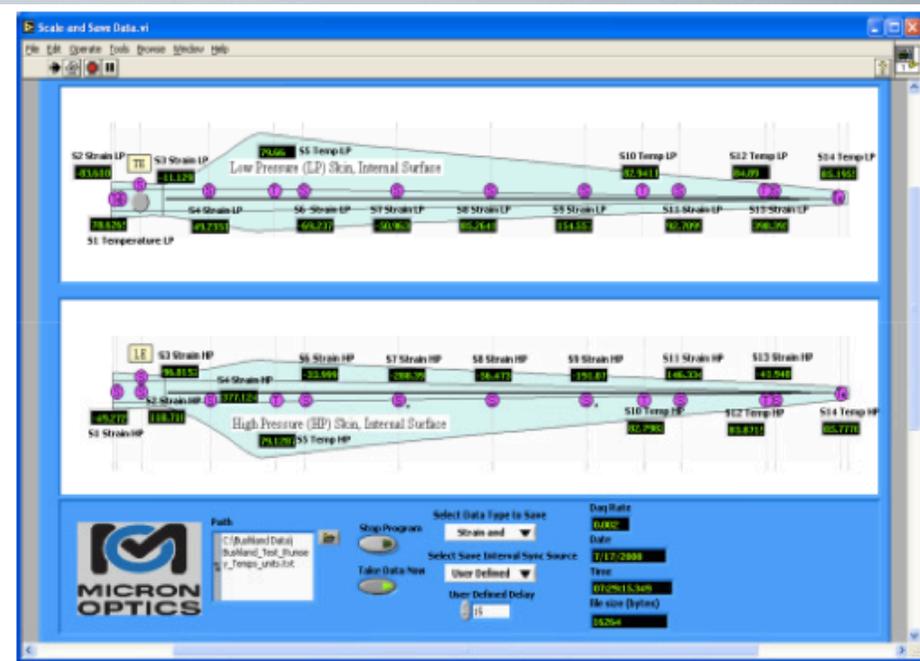


ソフトウェア

両方のユーザーインターフェイスは、インターネットへのアクセス権を持つコンピューターからの
FBGのブレード監視システムへのリモート接続を可能にします。
(インターネットエクスプローラーなどの一般的なウェブブラウザでアクセスすることができます。)



グラフィカルユーザーインターフェイスは、
データ収集パラメータを設定、トリガーのソースの選択、
そしてsm130を制御するために用意されています。

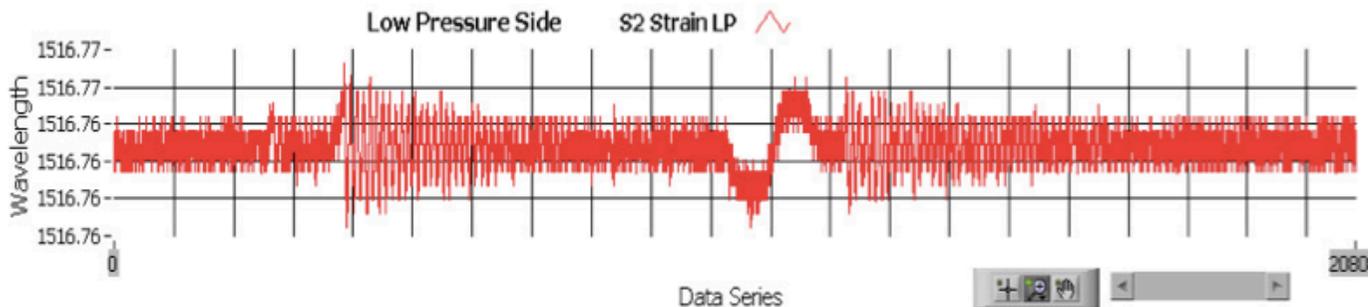
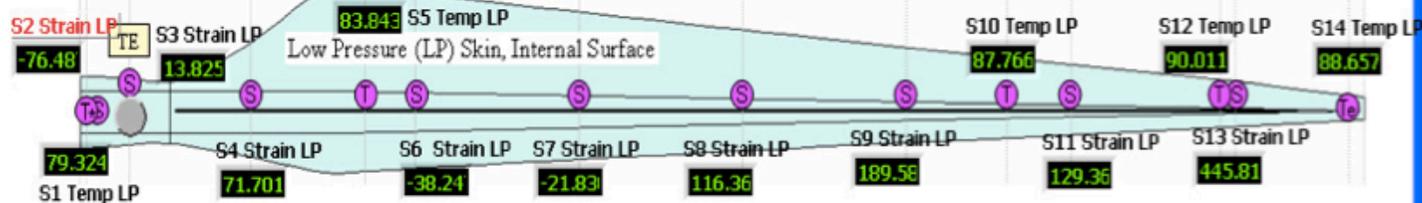


グラフィカルユーザーインターフェイスは、FBGセンサーのレイアウト、
データのスケールリング、データファイルのストレージの設定
リアルタイムモニタリング、の可視化します。

STOP

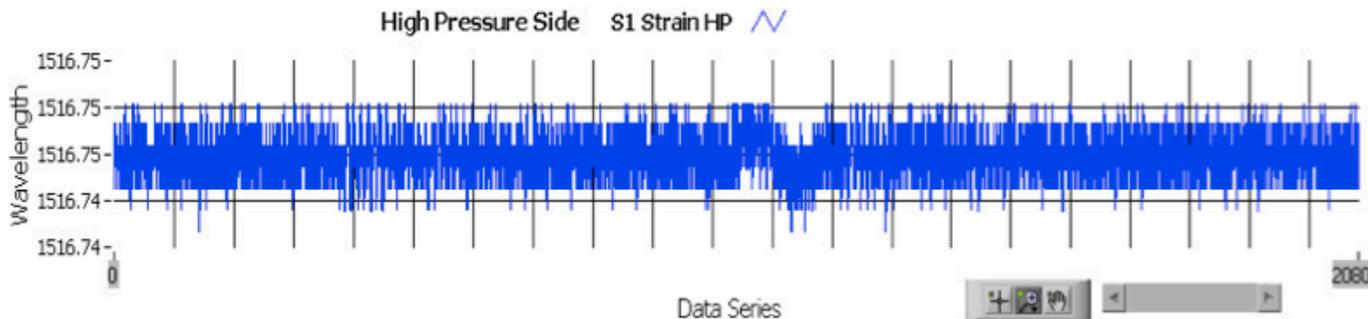
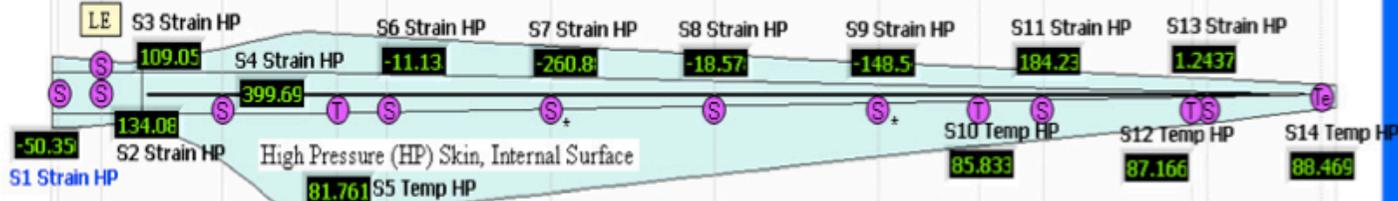
Select Sensor to Plot

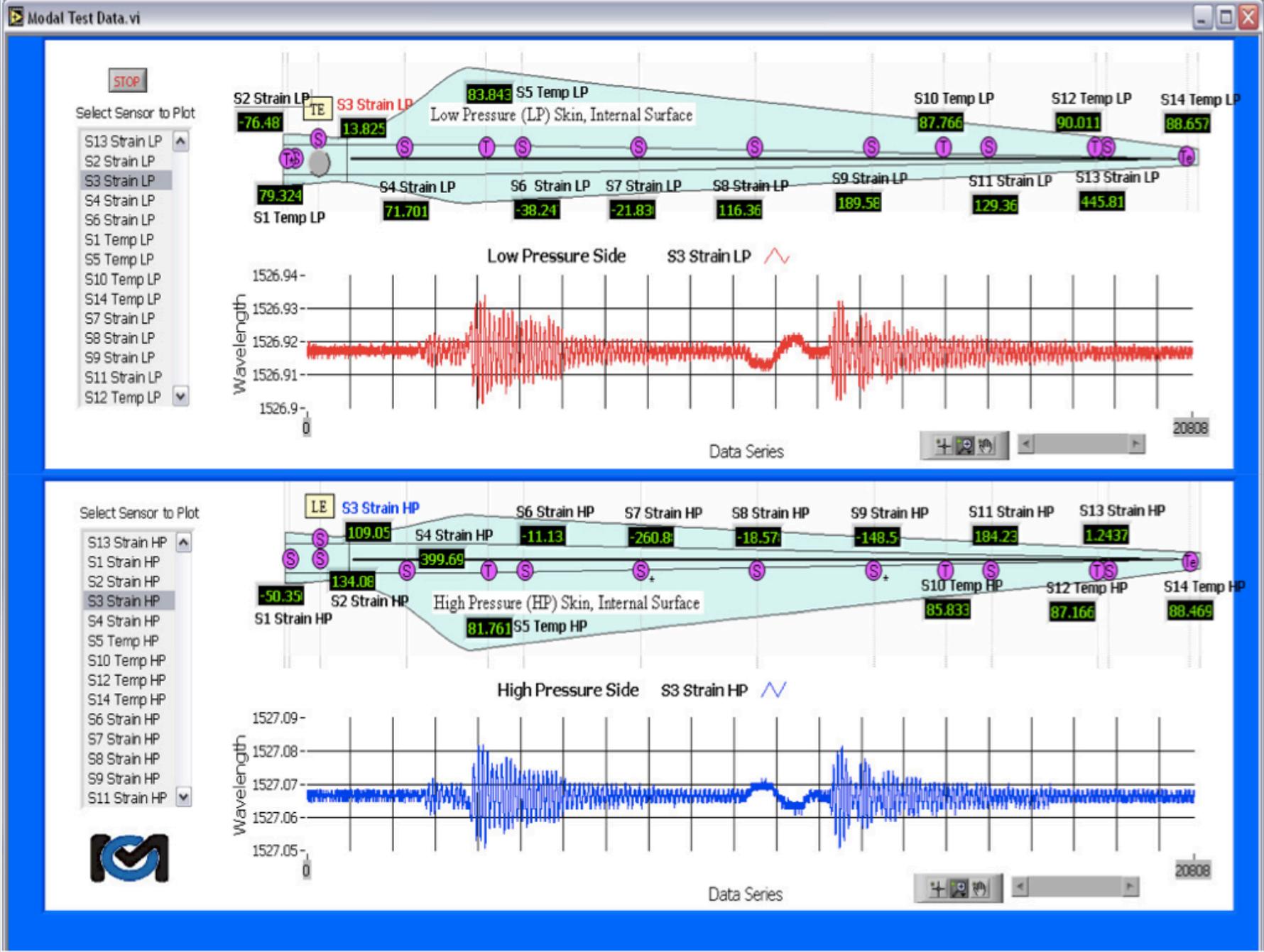
- S13 Strain LP
- S2 Strain LP
- S3 Strain LP
- S4 Strain LP
- S6 Strain LP
- S1 Temp LP
- S5 Temp LP
- S10 Temp LP
- S14 Temp LP
- S7 Strain LP
- S8 Strain LP
- S9 Strain LP
- S11 Strain LP
- S12 Temp LP



Select Sensor to Plot

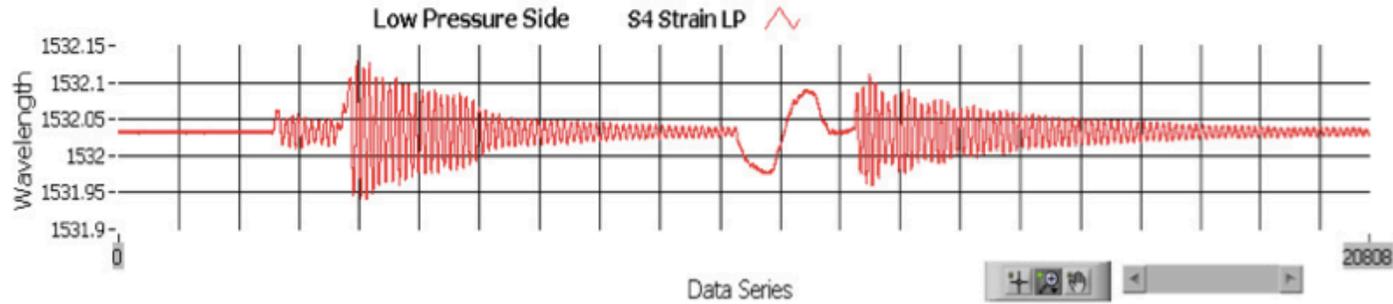
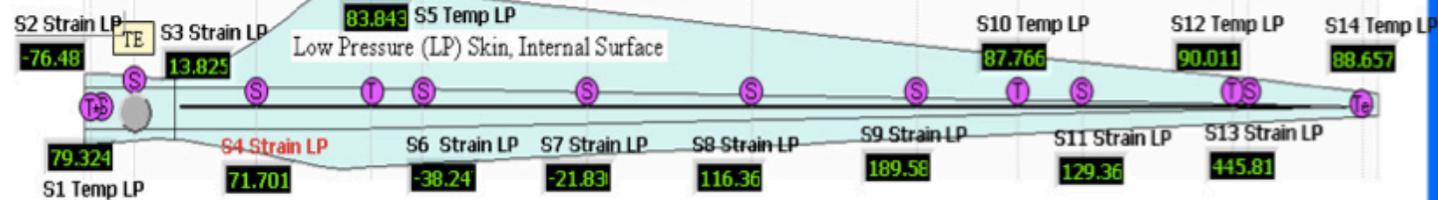
- S13 Strain HP
- S1 Strain HP
- S2 Strain HP
- S3 Strain HP
- S4 Strain HP
- S5 Temp HP
- S10 Temp HP
- S12 Temp HP
- S14 Temp HP
- S6 Strain HP
- S7 Strain HP
- S8 Strain HP
- S9 Strain HP
- S11 Strain HP
- S13 Strain HP





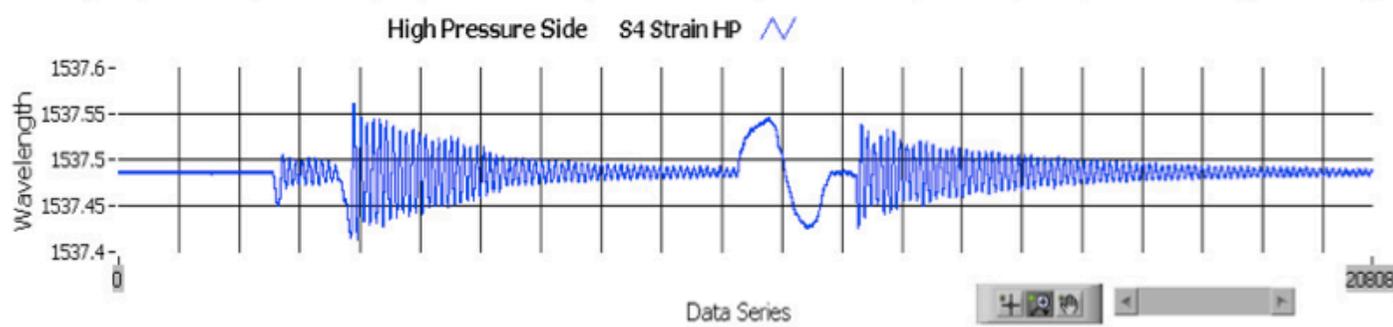
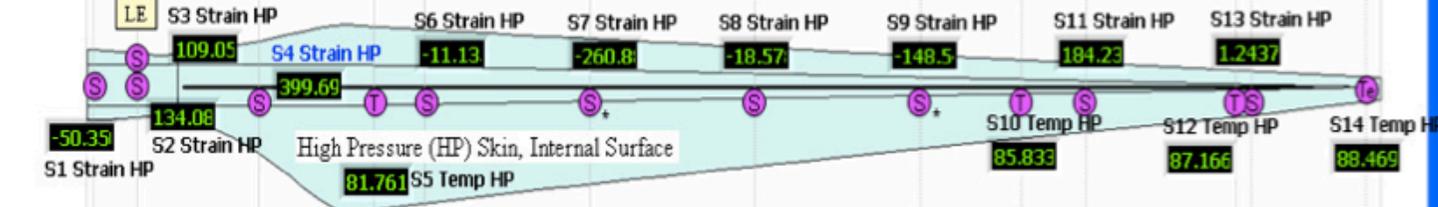
STOP
Select Sensor to Plot

- S13 Strain LP
- S2 Strain LP
- S3 Strain LP
- S4 Strain LP
- S6 Strain LP
- S1 Temp LP
- S5 Temp LP
- S10 Temp LP
- S14 Temp LP
- S7 Strain LP
- S8 Strain LP
- S9 Strain LP
- S11 Strain LP
- S12 Temp LP



Select Sensor to Plot

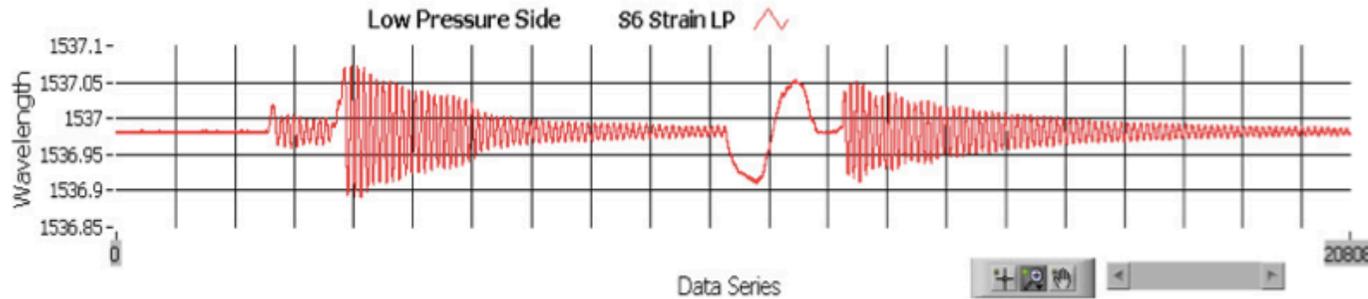
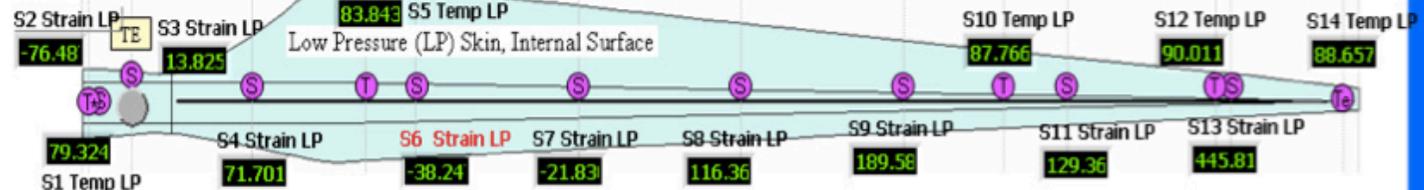
- S13 Strain HP
- S1 Strain HP
- S2 Strain HP
- S3 Strain HP
- S4 Strain HP
- S5 Temp HP
- S10 Temp HP
- S12 Temp HP
- S14 Temp HP
- S6 Strain HP
- S7 Strain HP
- S8 Strain HP
- S9 Strain HP
- S11 Strain HP



STOP

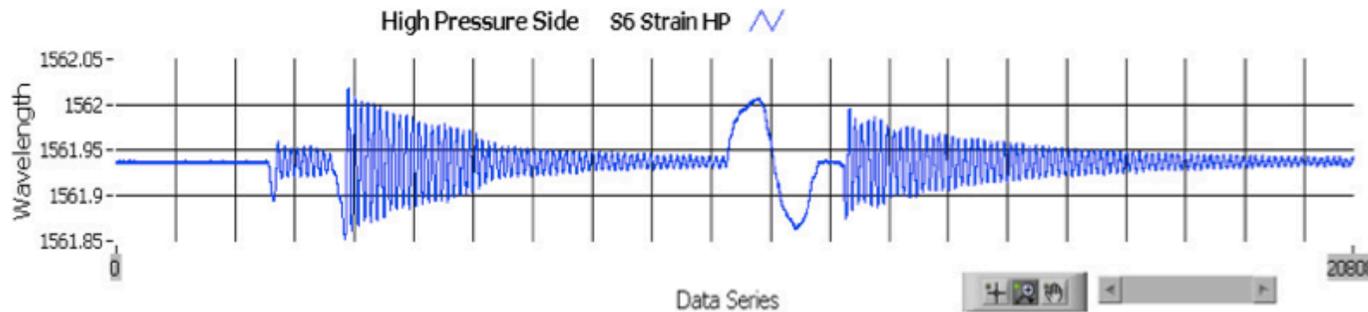
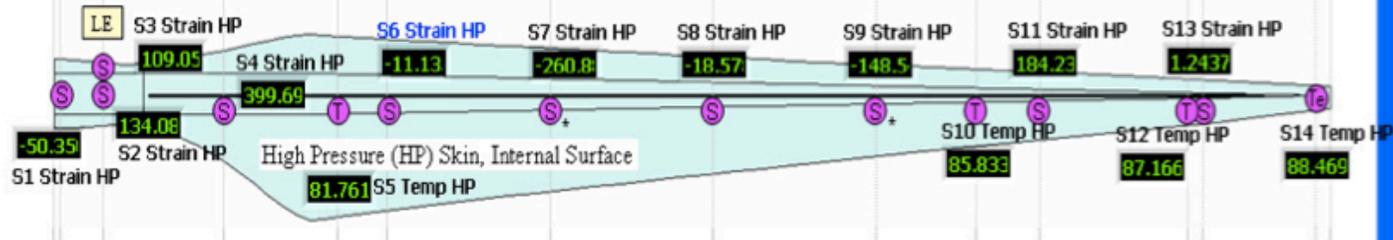
Select Sensor to Plot

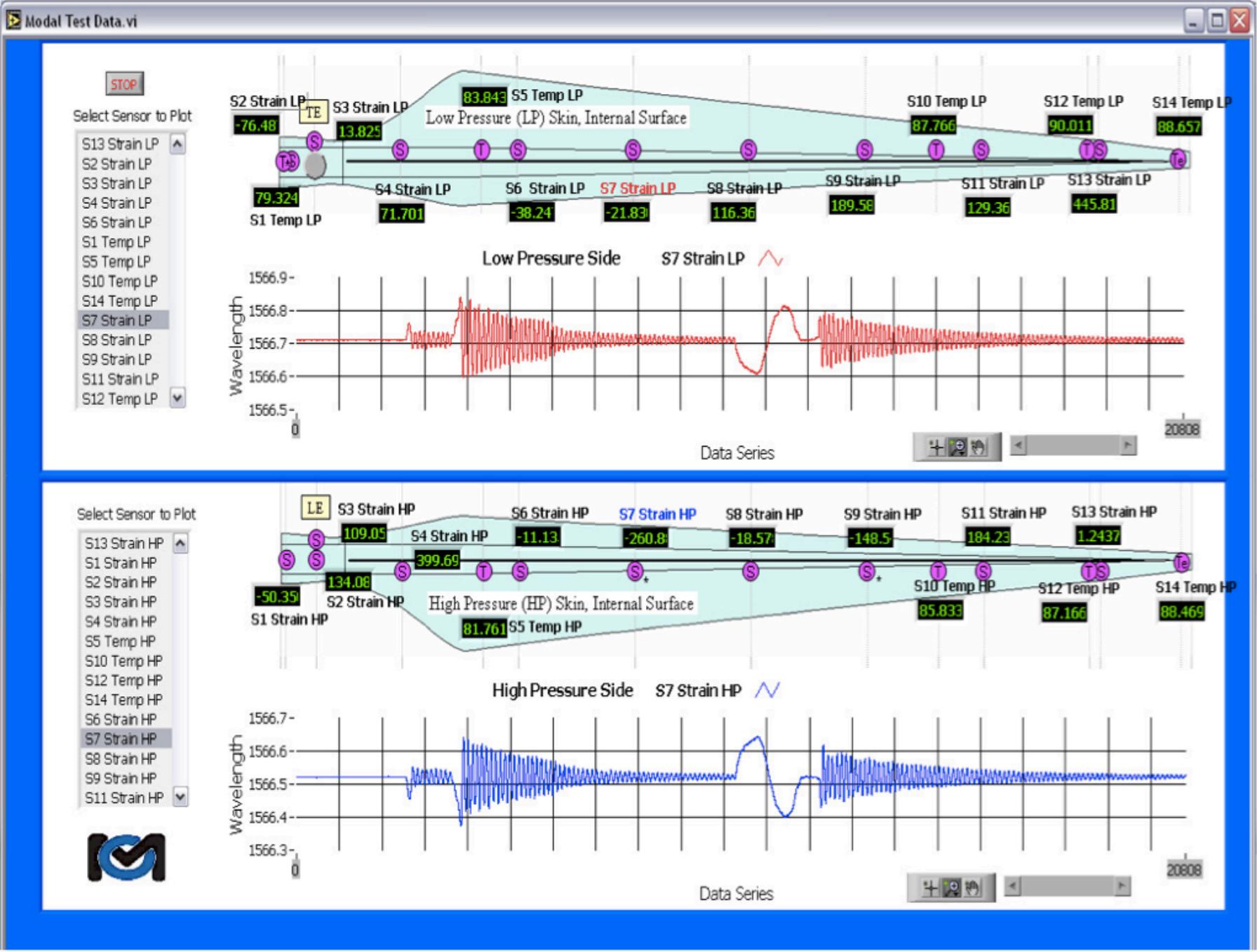
- S13 Strain LP
- S2 Strain LP
- S3 Strain LP
- S4 Strain LP
- S6 Strain LP
- S1 Temp LP
- S5 Temp LP
- S10 Temp LP
- S14 Temp LP
- S7 Strain LP
- S8 Strain LP
- S9 Strain LP
- S11 Strain LP
- S12 Temp LP

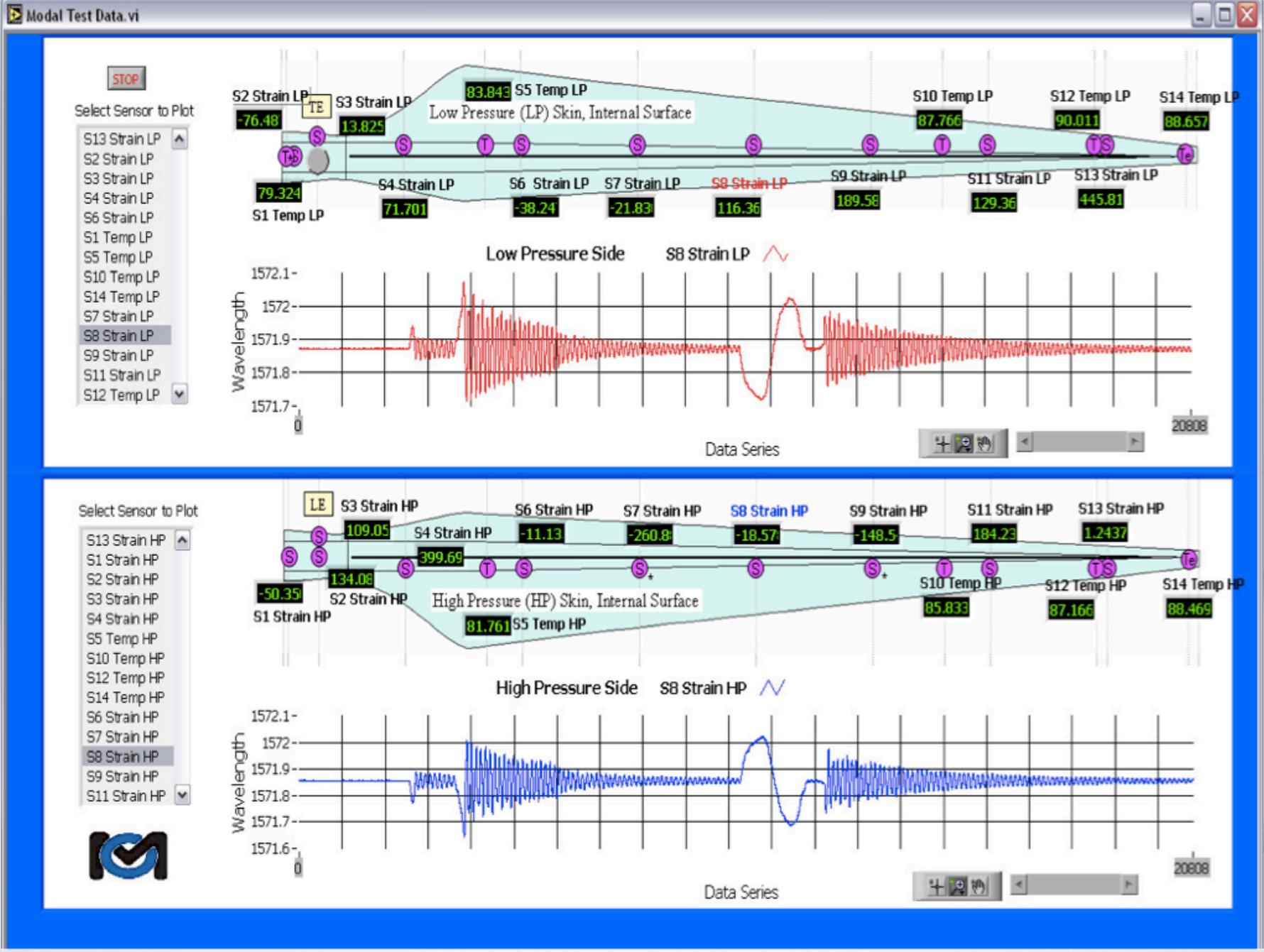


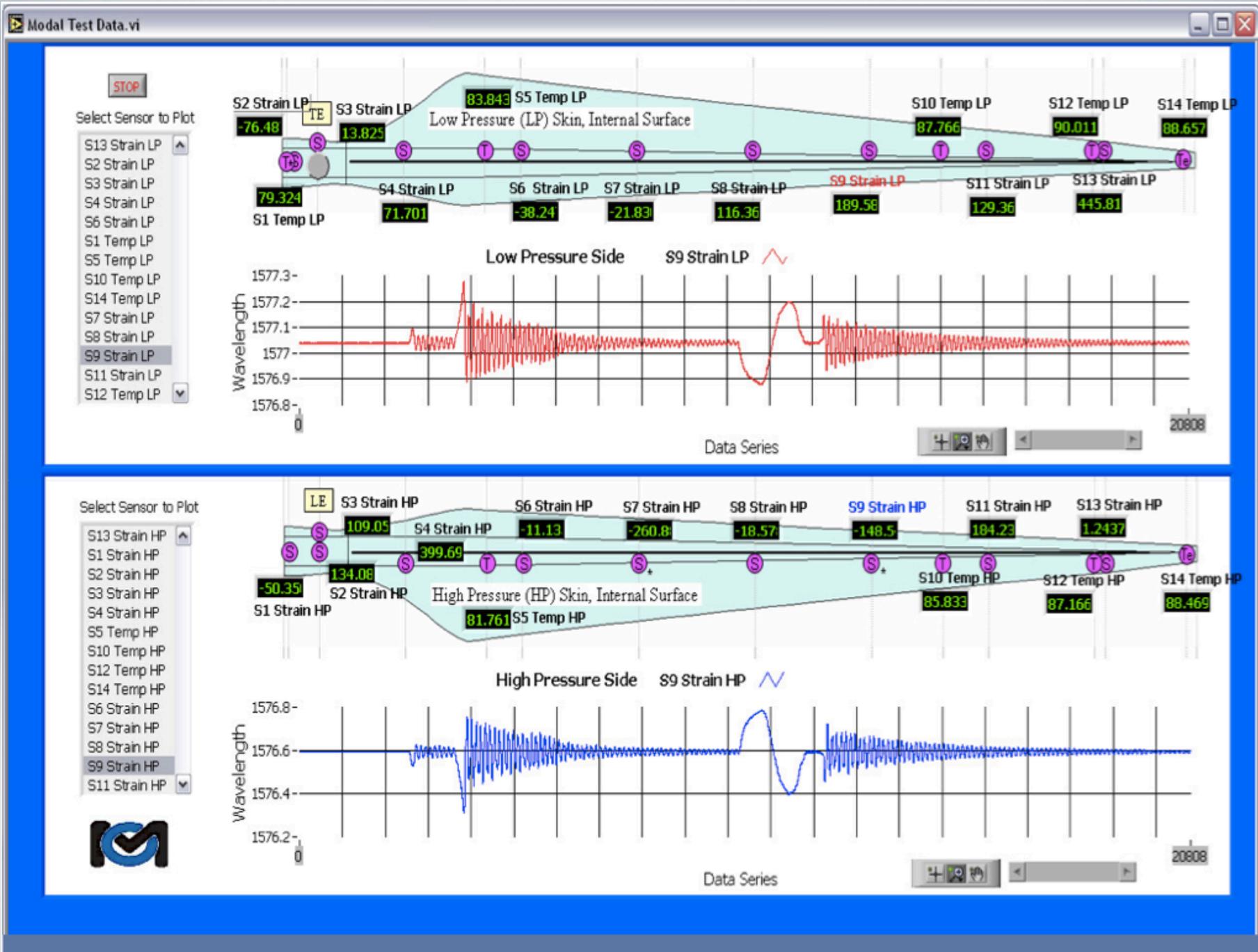
Select Sensor to Plot

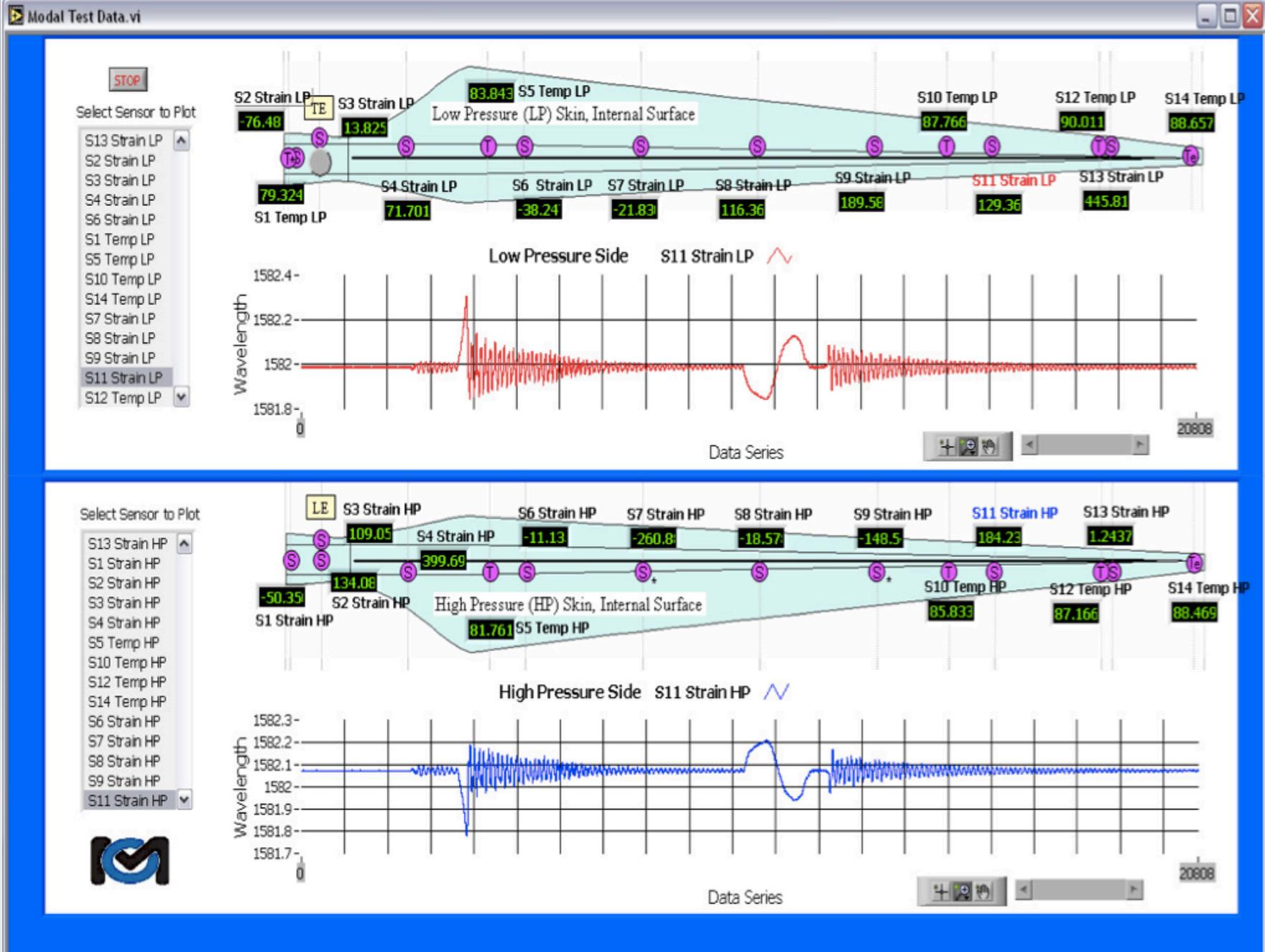
- S13 Strain HP
- S1 Strain HP
- S2 Strain HP
- S3 Strain HP
- S4 Strain HP
- S5 Temp HP
- S10 Temp HP
- S12 Temp HP
- S14 Temp HP
- S6 Strain HP
- S7 Strain HP
- S8 Strain HP
- S9 Strain HP
- S11 Strain HP

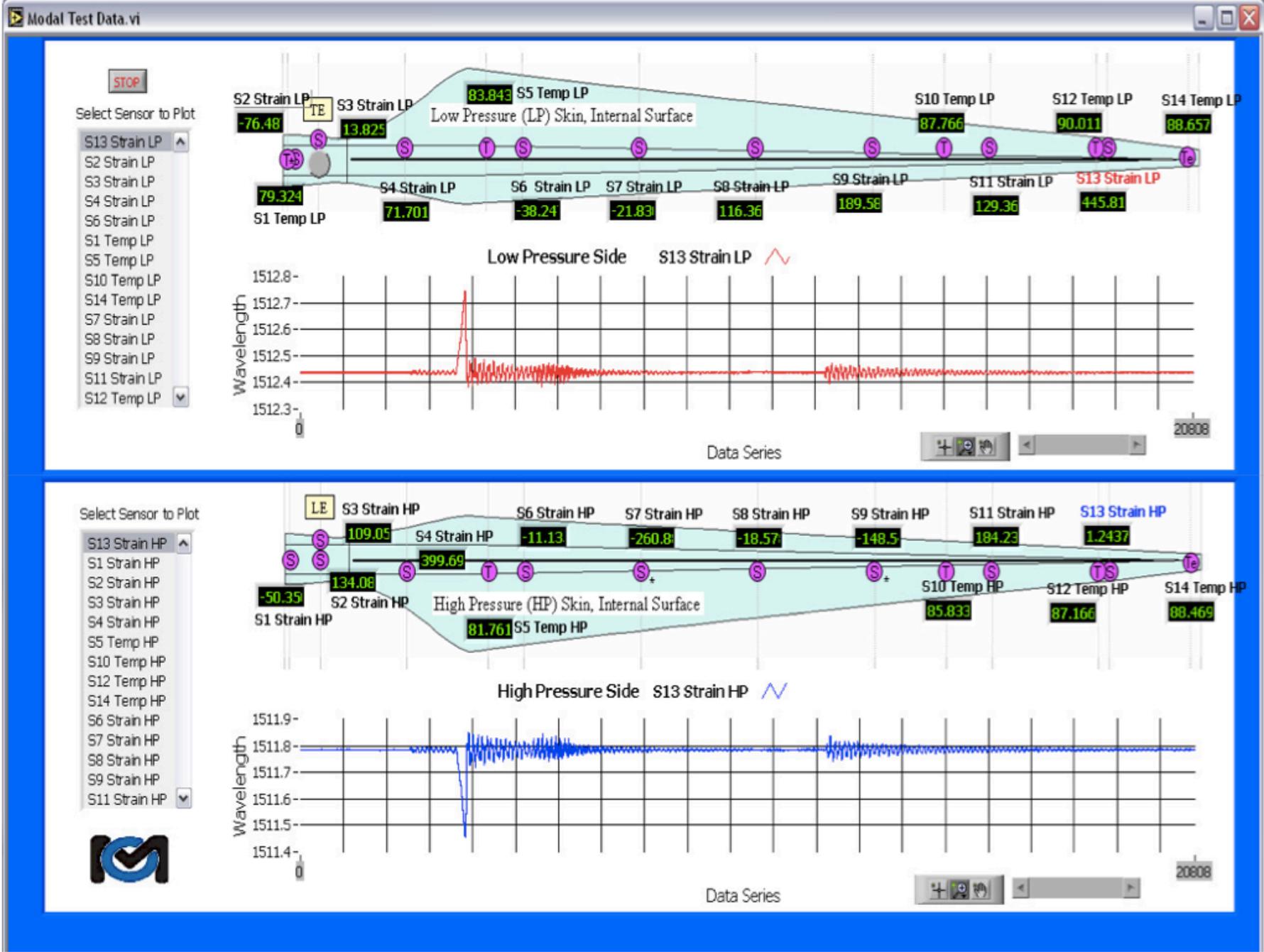




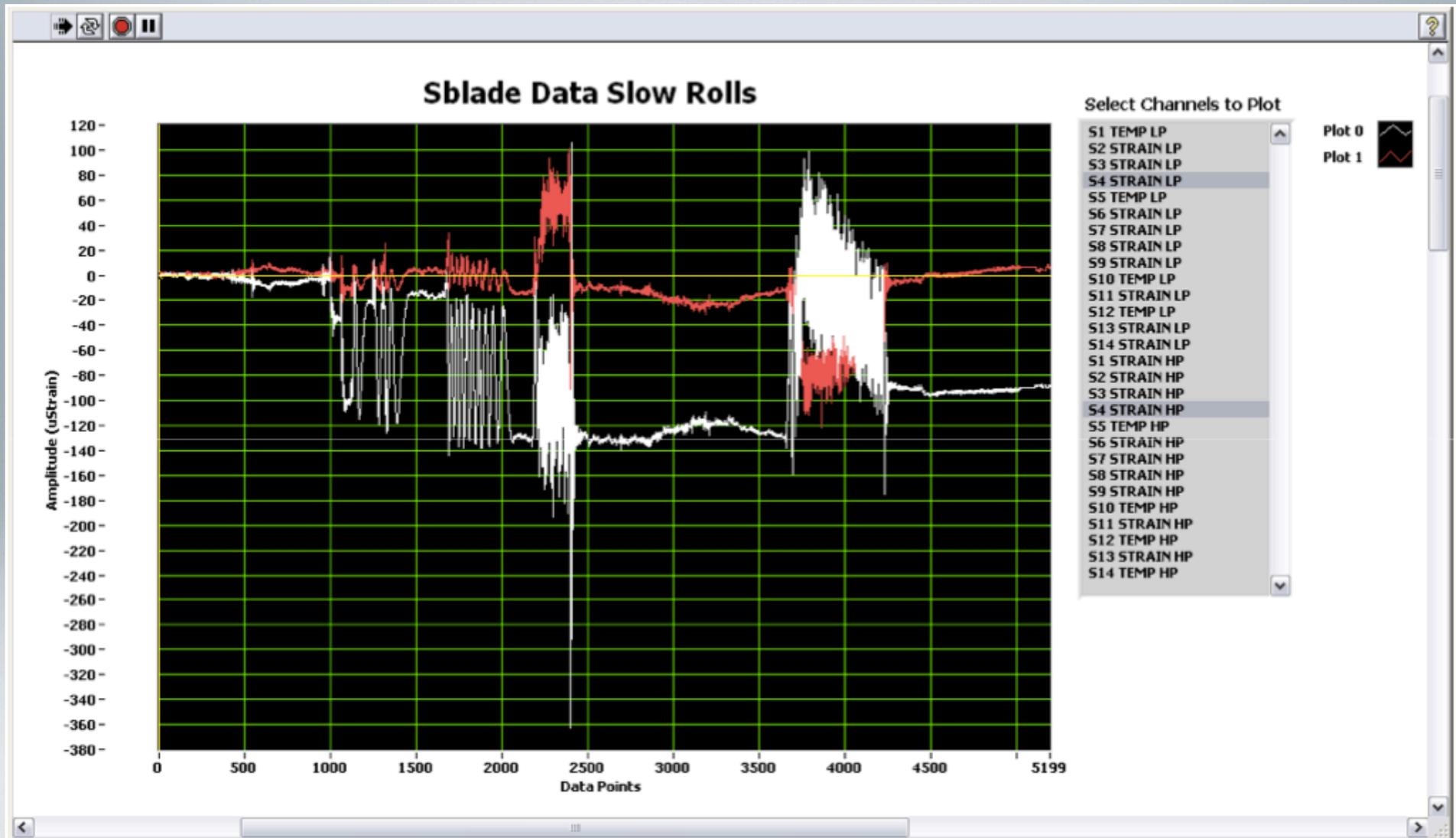




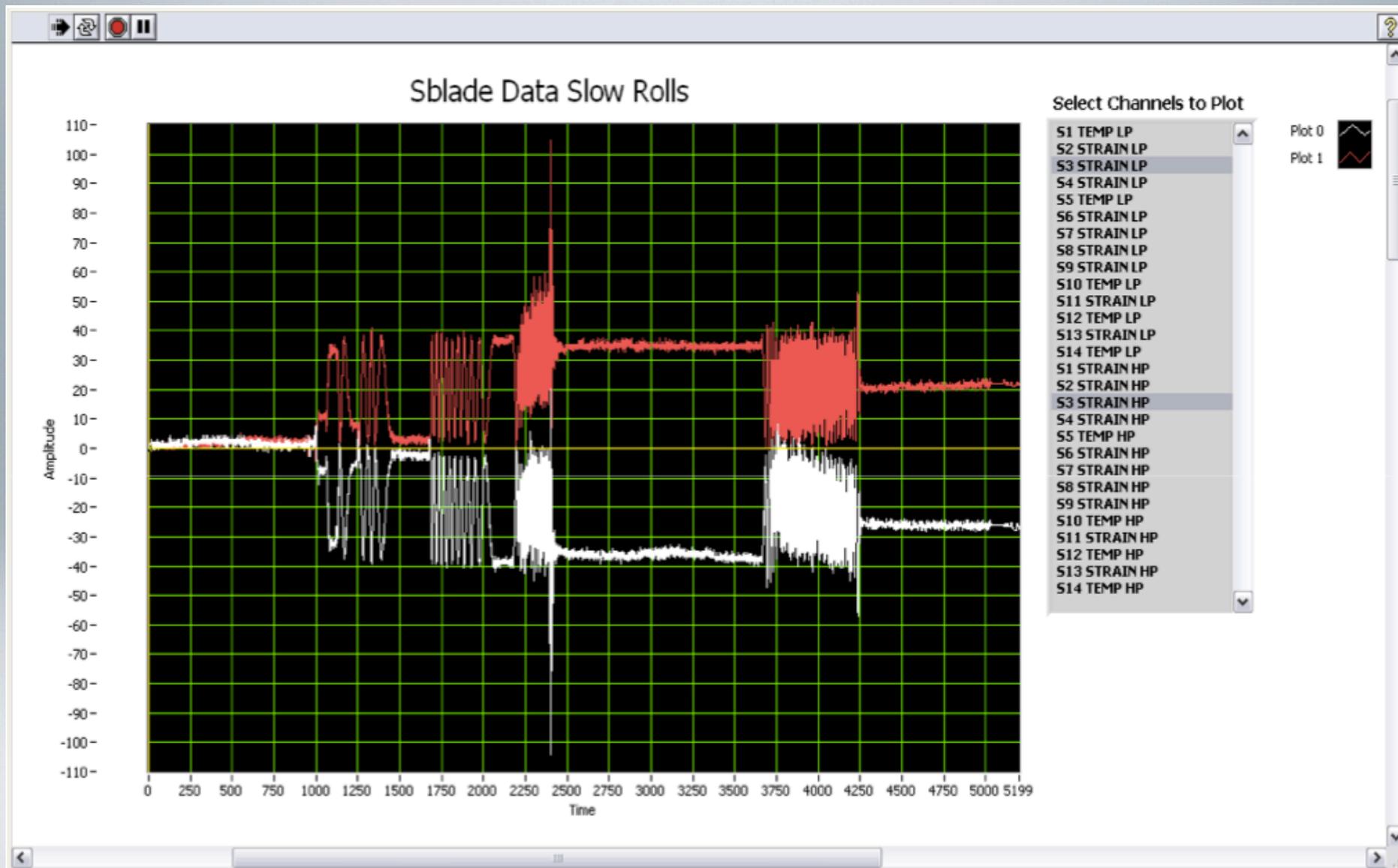




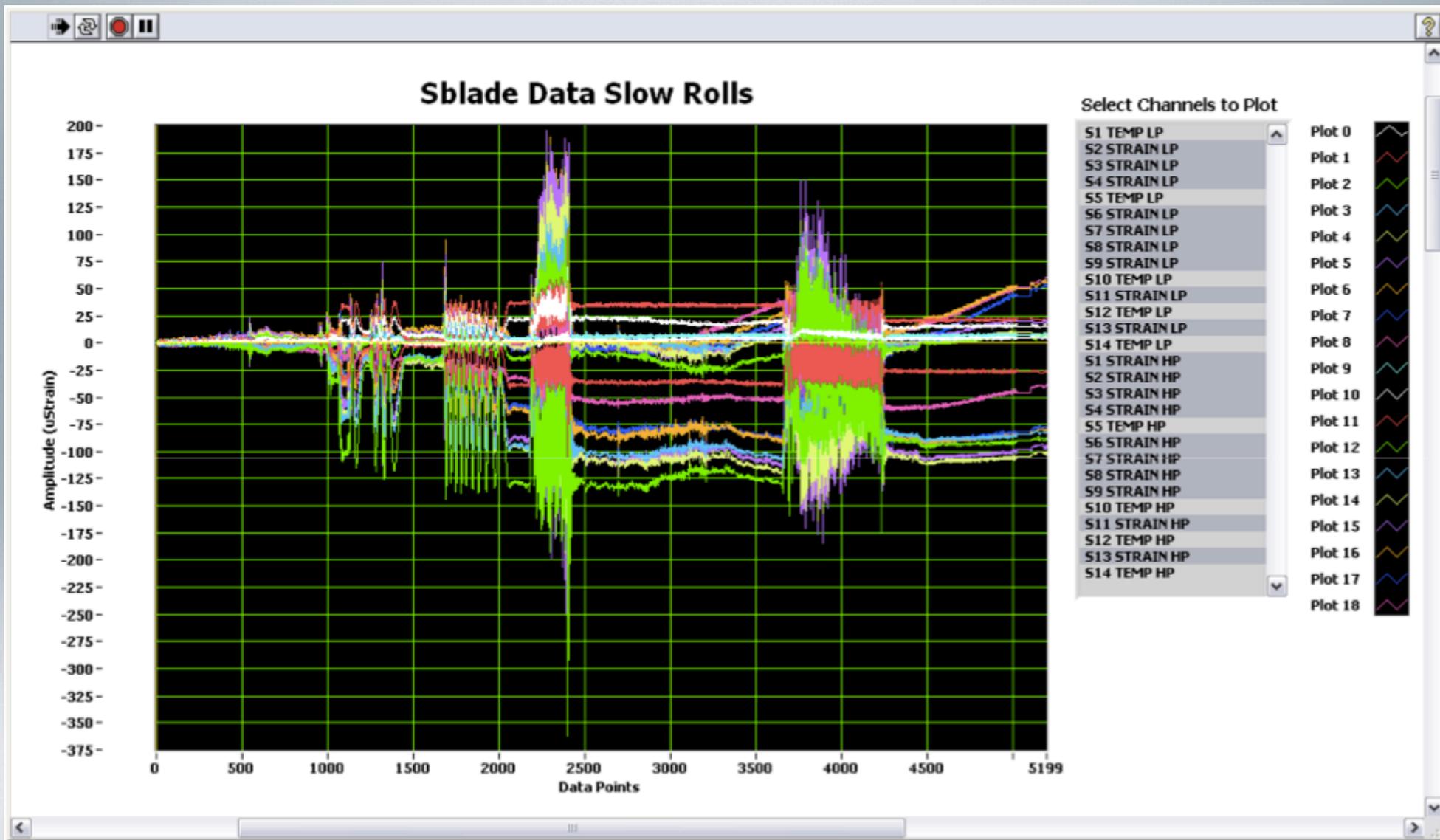
サンプルデータ



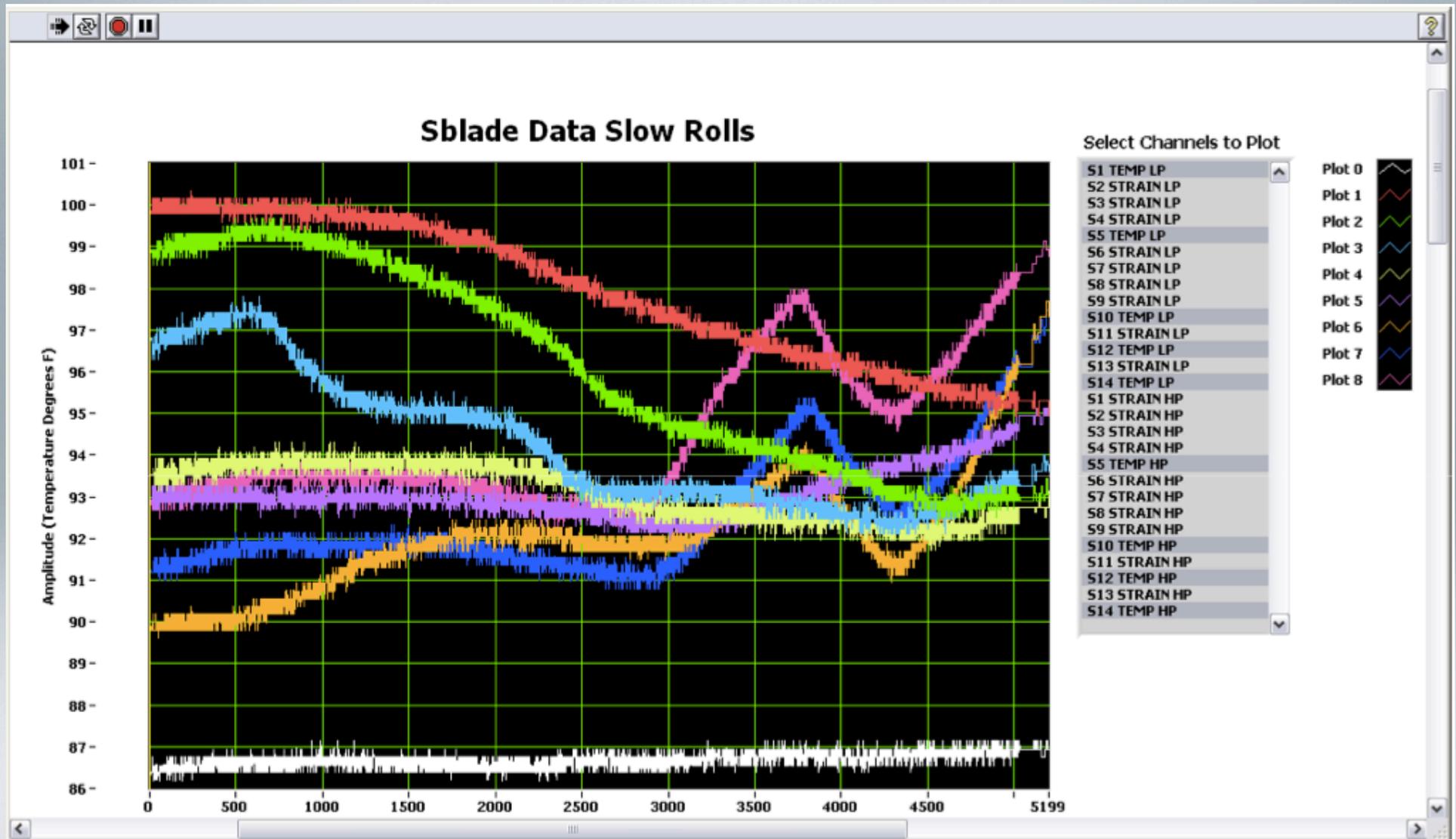
サンプルデータ



サンプルデータ



サンプルデータ



まとめ

- ・ センサーは製造段階で問題なく正常にインストールができました。
- ・ システムは冬期間中でもリアルタイムでデータを提供してます（猛吹雪でも！）。
- ・ システムは2008年11月にインストールされ、テスト期間終了の2012年4月下旬まで問題なく運用できました。
- ・ ブレードおよびデータシステムは取り外され、次のフェイズのテストのためNRELに出荷されました。
- ・ ブレードのモニタリングは
 - 静的・動的荷重
 - 温度の影響
 - ブレードの歪み（偏り）
 - 振動（周波数・モーダル応答） を可能としました。
- ・ 稼働中、全てのシステムからデータ取得と解析ができました。
- ・ 最終フェーズは加速疲労試験による故障度の評価を10月に予定しております。

謝辭

- **Mark Rumsey** Sensored Blade Project Lead , Wind Energy Technology Department, Sandia National Laboratories, Albuquerque, NM 87185
- **Steve Nolet**, Blade Manufacturing and Research Manager, TPI Composites, Warren, RI 02885-0367
- **Byron Neal**, Agriculture Engineer, USDA-Agricultural Research Service, Conservation & Production Research Laboratory, Bushland, TX 79012-0010
- **Jon White**, PhD Candidate, PhD Research Fellow, Purdue University, Department of Mechanical Engineering, Ray W. Herrick Laboratories , West Lafayette, IN 47907-2031