ケーススタディー　原子力発電

光センシングシステムによるコンクリート格納容器構造の状態を評価する。

２０１２年　ロバートE. ジーナ原子力発電所の健全維持プロジェクト。

CMIWS Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

ジーナ原子力発電所のパイロットプロジェクト

目標	重要な構造物に定期的に行う高価な検査を、永久的かつ継続的な監視に変更する
場所	ロバートE.ジーナ原子力プラントは、ニューヨーク州ロチェクスター近く オンタリオ湖に位置する。
システムインテグレーター	Lucius Pitkin, Inc
エンドユーザー	CENG, LLC
日時	２０１１年１月
計装	sm225（８チャネル）,マイクロンオプティクス社製　光干渉計
センサー	・os3110　マイクロンオプティクス社製(MOI社製）　光ひずみゲージ　41pcs ・os3600　MOI社製　ロング光ひずみゲージ　1pcs ・os4100　MOI社製　温度補償用ゲージ 41pcs ・os4310　MOI社製　非金属温度センサー　22pcs
ソフトウェア	ENLIGHT Sensing Analysis Software
FBG技術の利点	２０年の寿命が要求される高EMI環境での安定したひずみの測定数値を提供

CMIWS

Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

使用されたセンサー （全てMOI社製）

os3110 Metallic Weldable Strain Gage Utilized on Rebar and Tendons

os3600 Long Gage Length Strain Gage Surface Mounted on Concrete Containment Dome

os4100 Temperature Compensation Gage Utilized on Rebar and Tendons

os4310 Double Ended Calibrated Temperature Gage Utilized at all Tendons and Rebar

CMIWS

Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

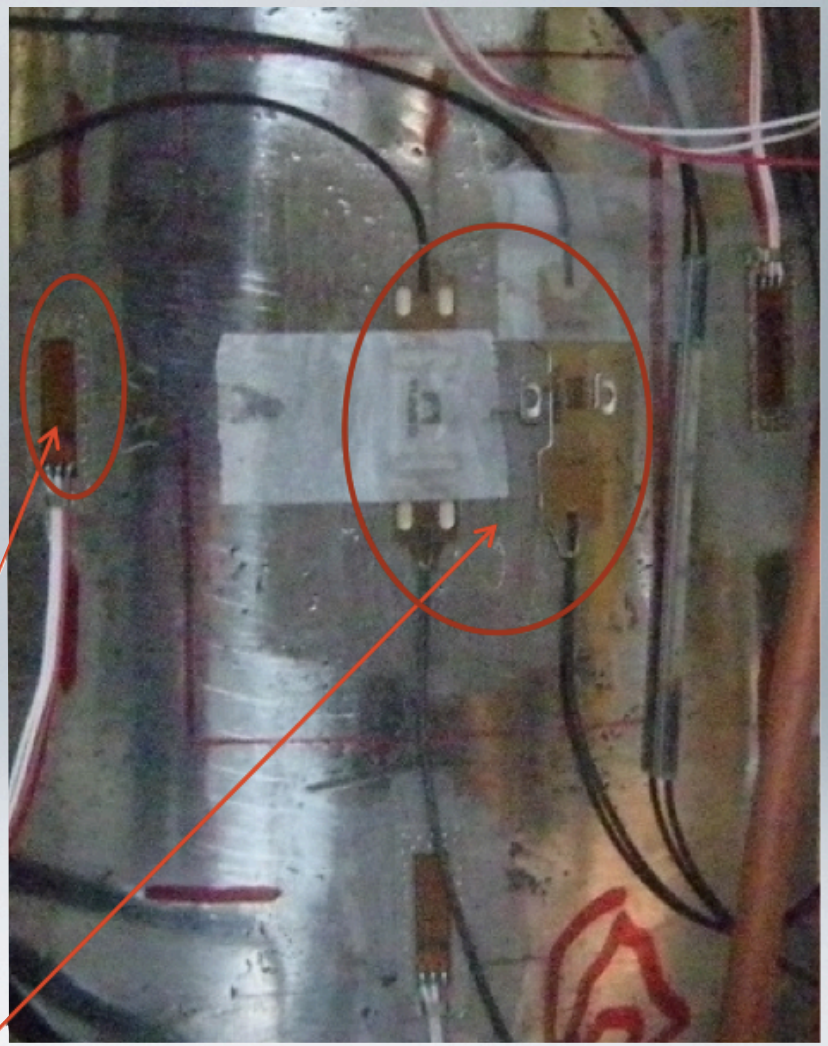
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

プロトタイプゲージのインストールとテスト

ペンシルベニア州、リーハイ大学ベスレヘムに5,000,000ポンドのロードフレーム

CMIWS
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

表面の取付（下地処理）とセンサーの設置



- A prototypical shim was fabricated from ASTM A519 steel, 10" long, 8½" OD x 5½" ID pipe split in half lengthwise.
- Resistance strain gages were applied to compare strains to the optical gages.
- Optical gages were applied under 700,000 pound load.

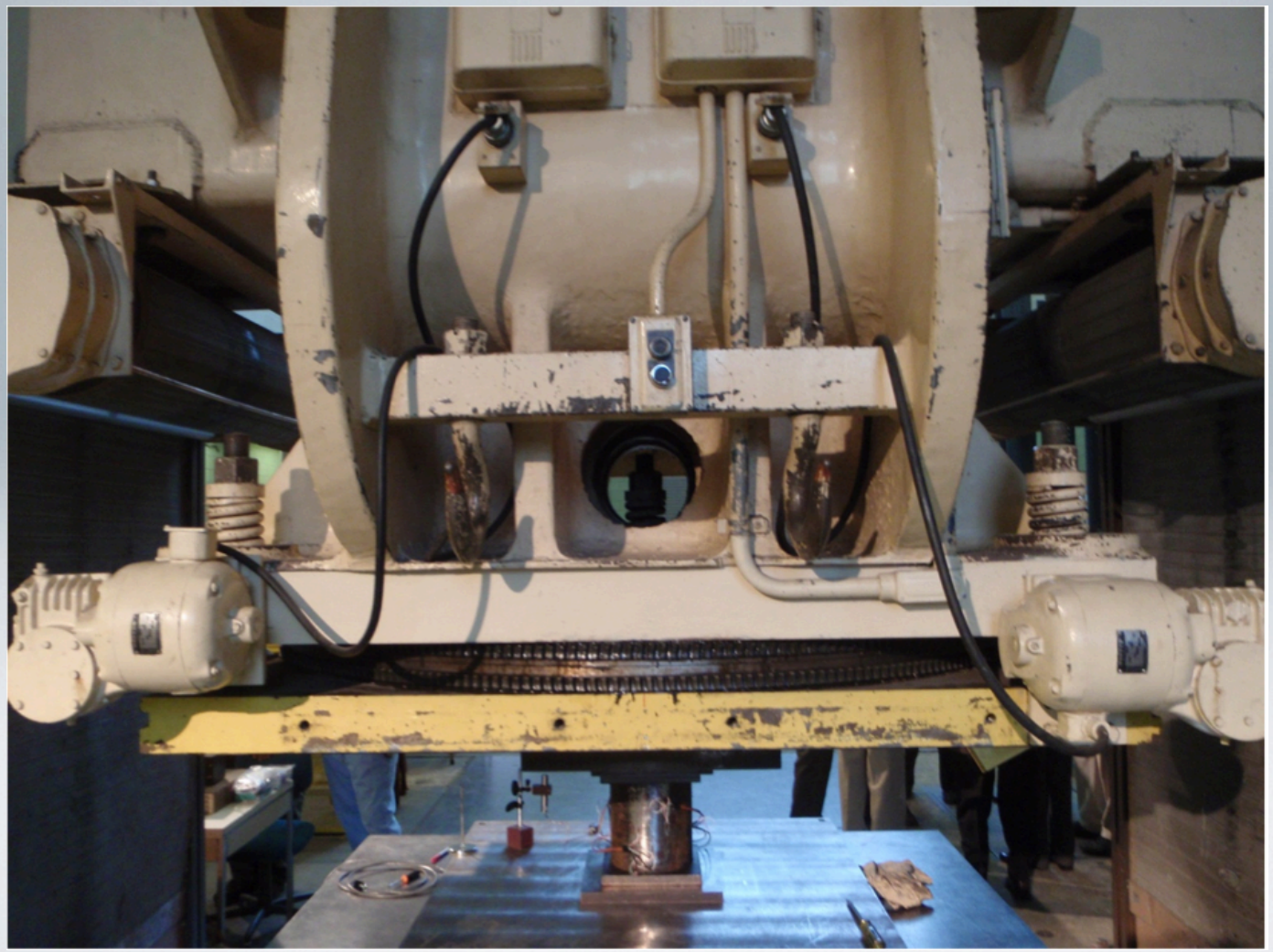
CMIWS Innovation for the world
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

負荷サイクル

負荷条件:

0～690,000(0～313,000kg)まで10,000lb(4,536kg)単位のステップ

690,000～710,000(313,000～322,000kg)までは1,000lb(453.6kg)単位のステップ



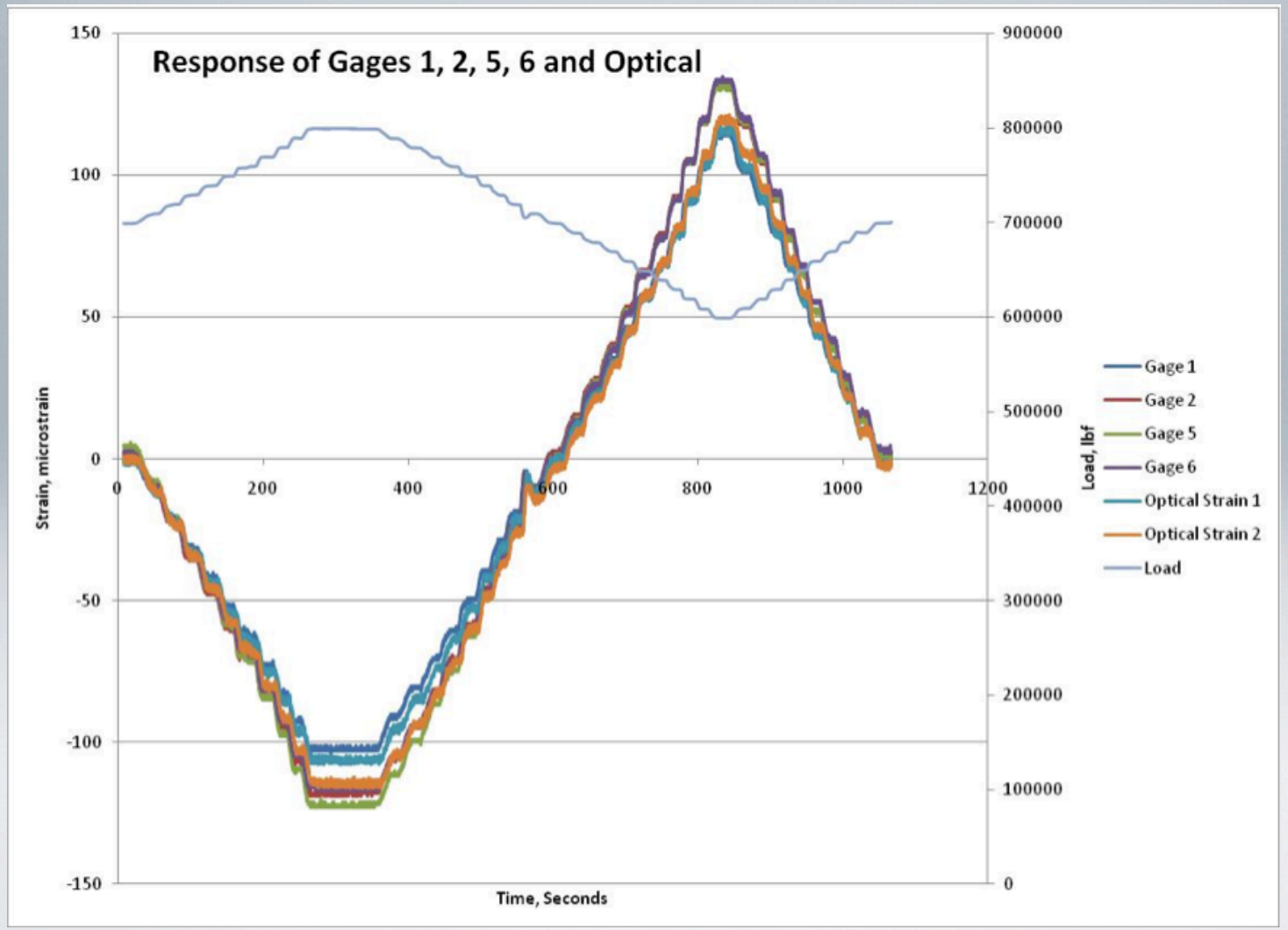
CMIWS Innovation for the world

Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

光ひずみゲージとひずみゲージからは期待どおり結果が得られた。

±100kip(1kip=1,000lb(453.6kg))サイクルの結果



CMIWS
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

リーハイでのテストのまとめ

・光ゲージから記録したデータから、70万lb（約32万kg)の負荷試験で
安定した結果が得られた。

・各シムには90ものワイヤー線が敷設され約32万kgの総負荷がかかる。
もし1つのワイヤーが破損した、負荷は7.8kip(約3,500kg)に変更される。

・データより感度は、95%の信頼レベルでの検出可能な負荷の変化は
±2kip(約±1,000kg)であることが言える。

・光ひずみゲージは引張荷重試験において0.1%の変化を検出するために必要な
分解能を十分持つことを示し、また、光ひずみゲージは１線を損失しても
シムへの負荷変動を捉えることができる。

・光ひずみゲージは、圧縮負荷がかかる環境下のシム（腱）に適用することが出来る。

CMIWS Innovation for the world
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

研究室でのテストから原子力発電所への設置へ。

・FEA（有限要素解析）の結果より、隣接する腱(シム）に与える
損傷を想定し必要なシムの間隔を決定します。

・遮蔽ドームの周囲を等間隔に20の腱を取付け、1チャネルで４つの腱を監視。

・ os3110光ひずみゲージ(溶接タイプ）2pcs、 os4100温度補償ゲージ2pcs
os4310 光温度センサー1pcsをそれぞれの腱に取付。

・腱のモニタリングに加え、os3600光ひずみゲージを
コンクリート製の遮蔽ドームの表面へ取付。

・取り付けられたos3600の下の、露出した鉄筋にはos3110ひずみゲージ、
os4100温度補償ゲージ、 os4310 光温度センサーを取り付ける。

・データ収集システム（DAS）とsm225（8ch：光干渉計）を接続
（＊DASはRAID機能付ラックマウント型サーバー、UPSと電源装置を含む）

・統合型漏洩率試験（ILRT）と構造健全性試験（SIT）は実行され、データ記録し、分析される。

CMIWS

Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS
INTERNATIONAL COMPANY

ジーナ原子力発電所での設置

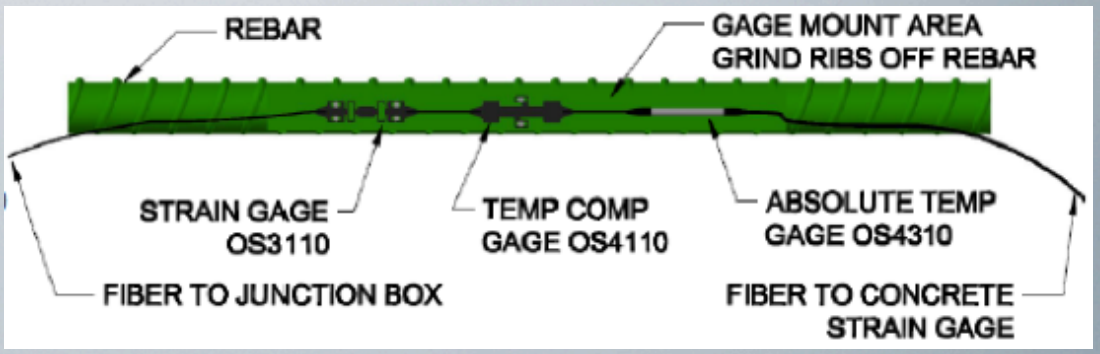
シムと腱（防湿層を取り除く前の状態）

センサーが搭載されたシムと腱

CMIWS Innovation for the world
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

鉄筋とコンクリートのひずみモニタリング

os4110光ひずみゲージは
リング上に露出した鉄筋に取付。



os3600は鉄筋の基礎の下へ
輪（リング）方向に取付。

これらのセンサーは同じ腱の健全管理システム
DASでモニタリングされてます。

CMIWS

Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS
INTERNATIONAL COMPANY

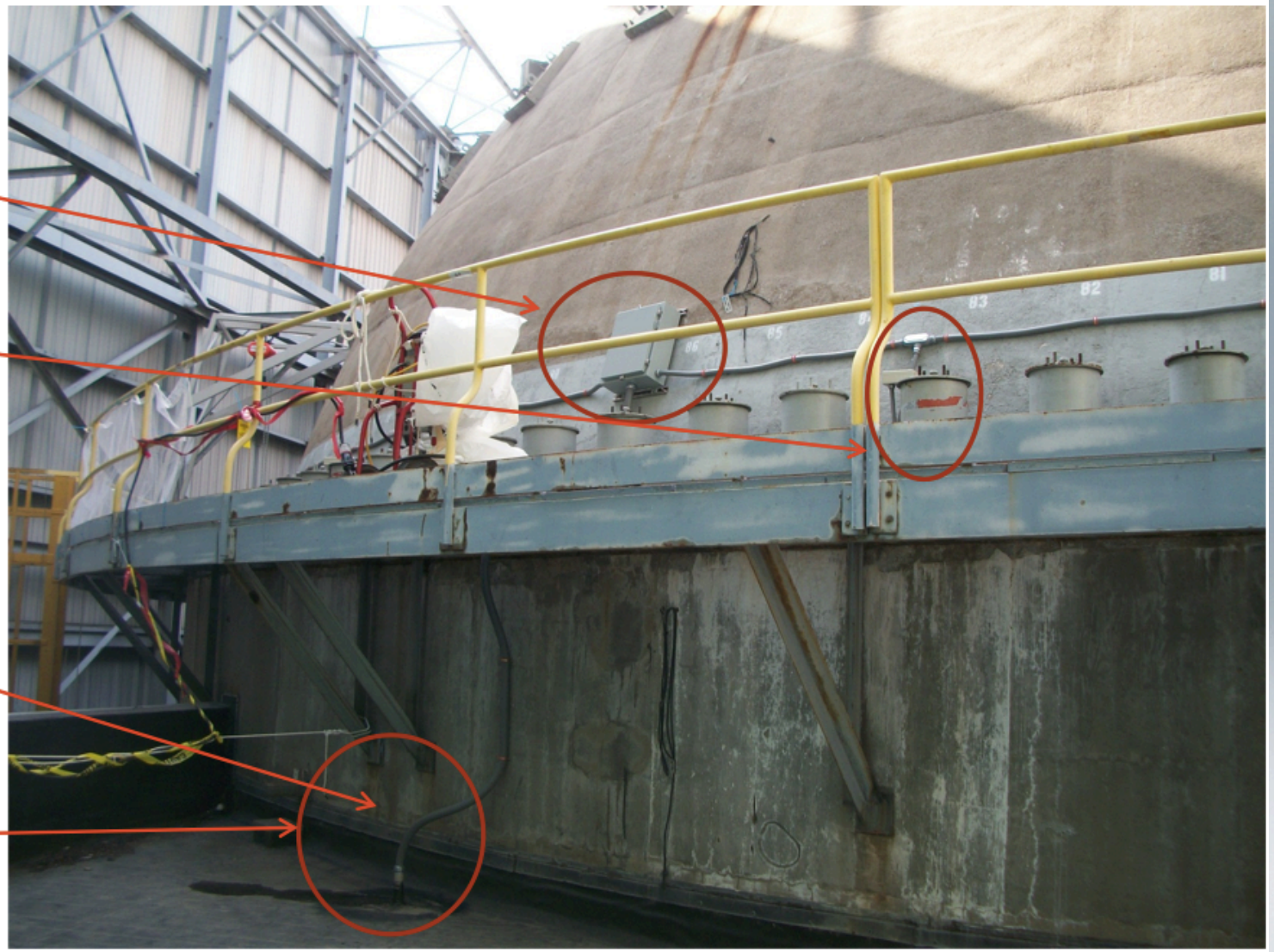
ロバートEジーナ原子力プラントでのインストール

NEMA 4 Enclosure with splice tray.

Instrumented Tendon.

os3600 surface mount concrete strain gage and instrumented rebar, located on containment structure just below roof line.

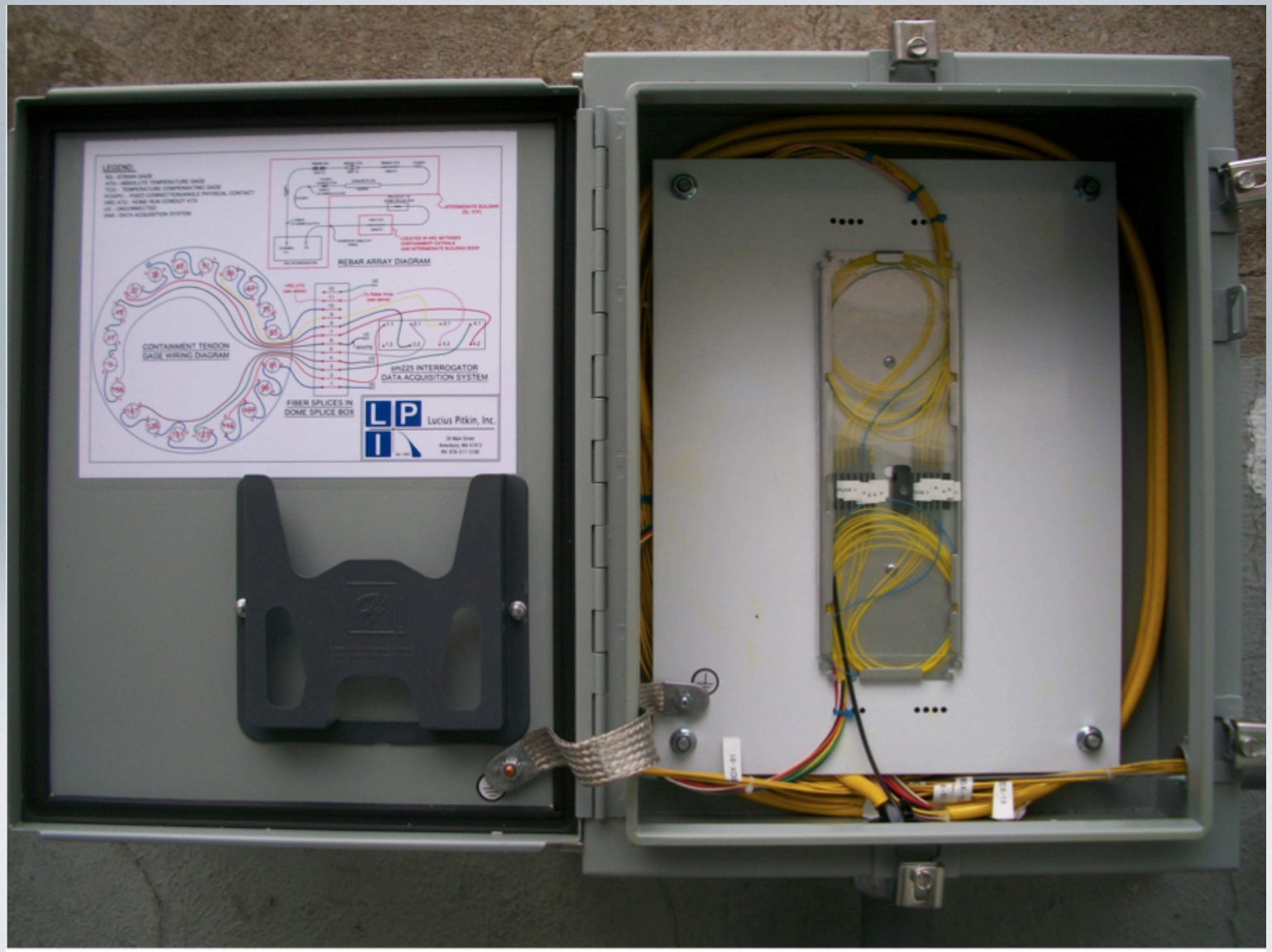
Roof penetration to instrumentation rack located in room below the roof.



CMIWS Innovation for the world
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

ロバートEジーナ原子力プラントでのインストール

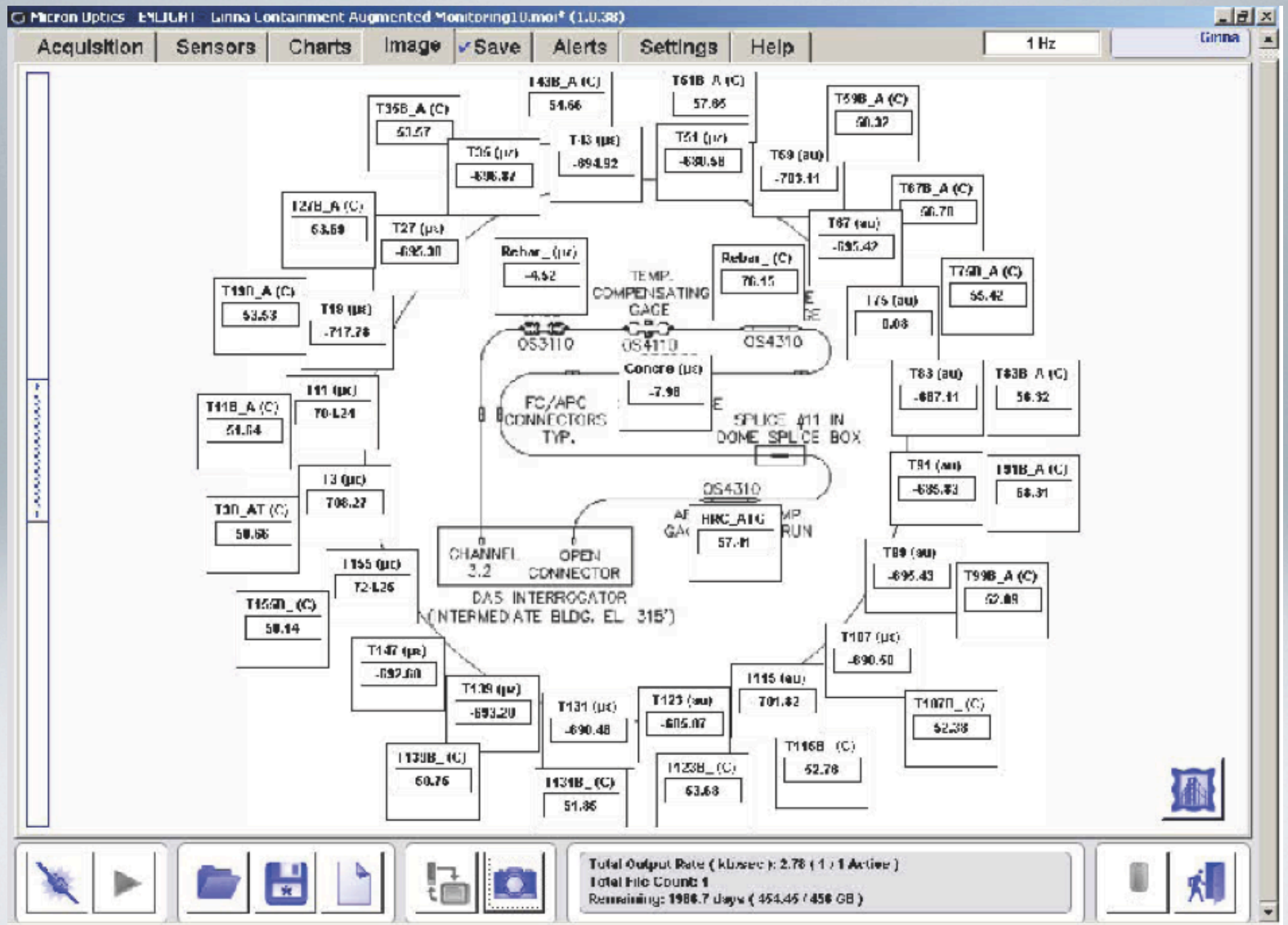
NEMA４エンクロージャー、スプライストレイ、取付配置図



CMIWS
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS
INTERNATIONAL COMPANY

ロバートEジーナ原子力プラントでのインストール

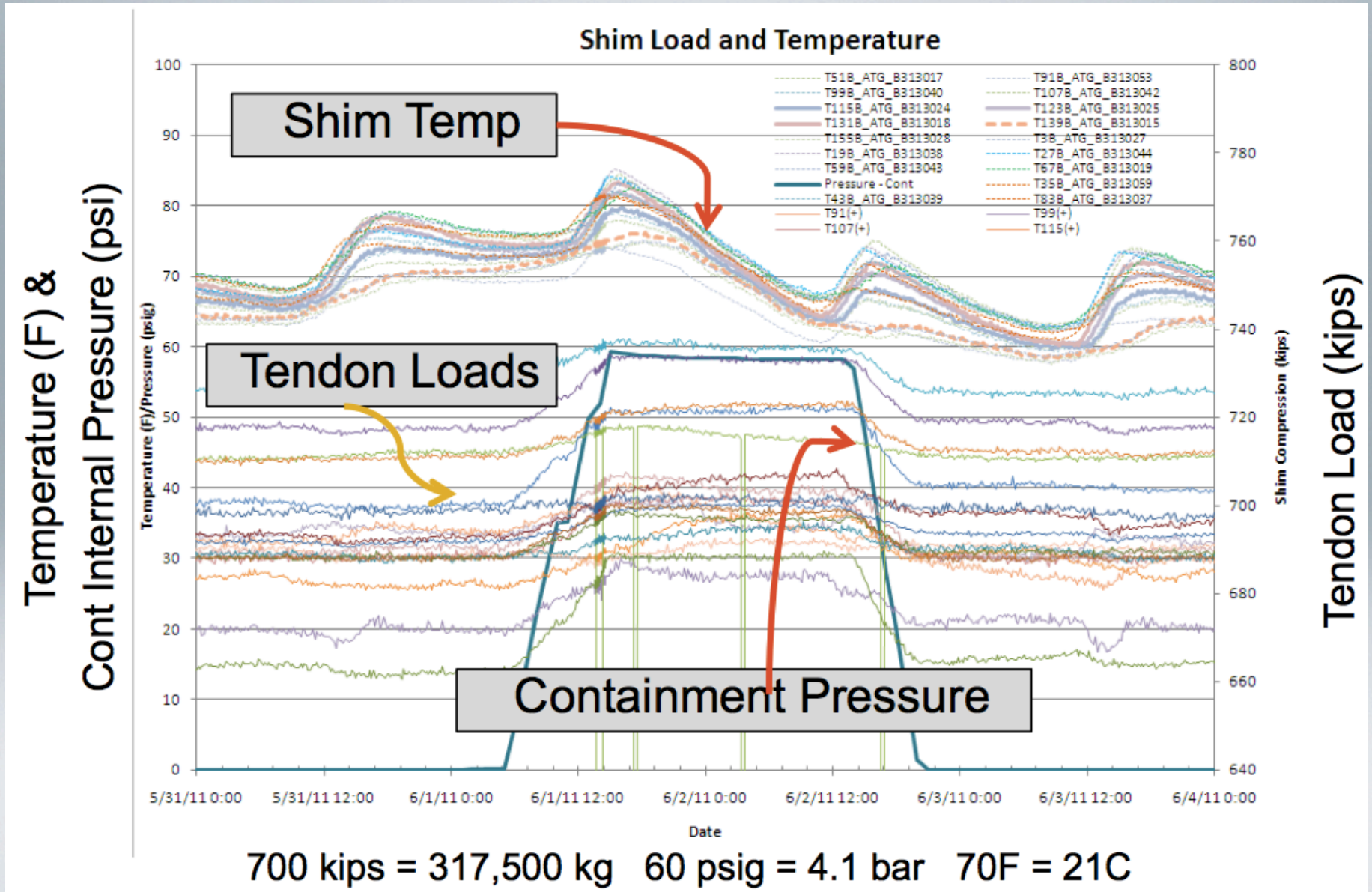
DASで読み出したモニタリングシステムのひずみと温度の画面キャプチャ



CMIWS Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

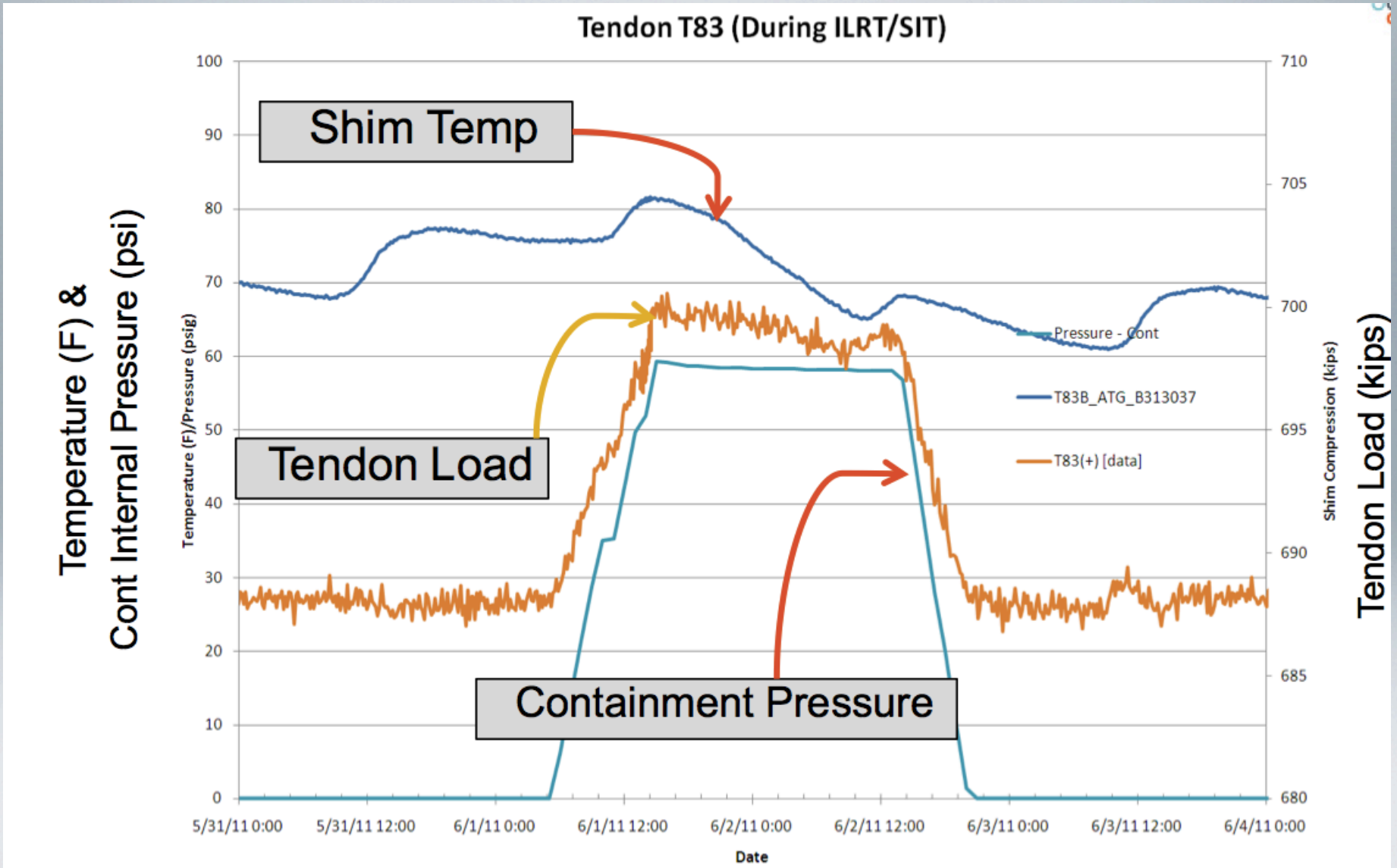
すべての腱からのデータ



700 kips = 317,500 kg　60 psig = 4.1 bar　70F = 21C

CMIWS
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

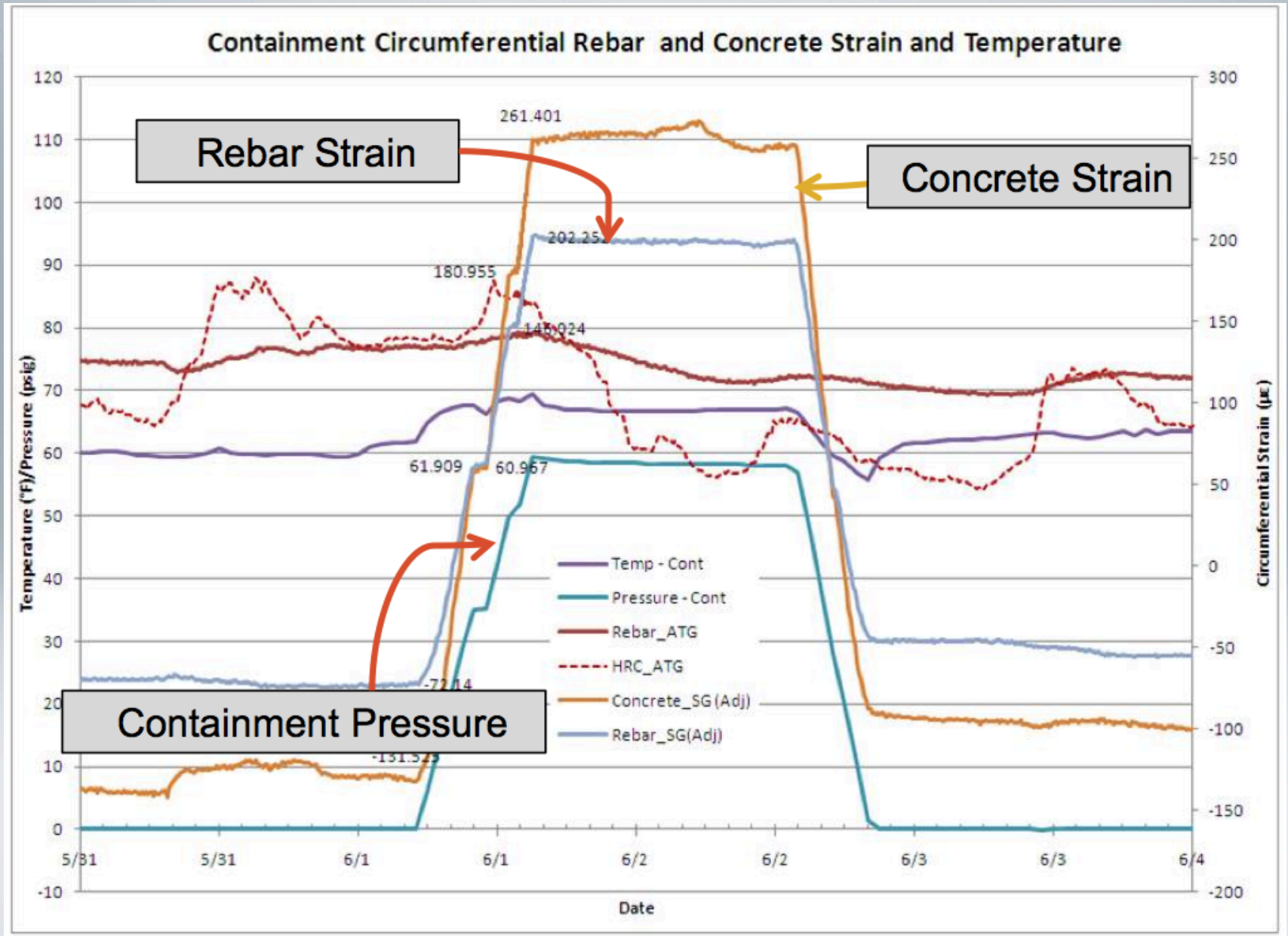
加圧の機能（腱の負荷検証データ）



700 kips = 317,500 kg　60 psig = 4.1 bar　70F = 21C

CMIWS
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

コンクリートと鉄筋のレスポンス



CMIWS Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

まとめ

・腱の張力が適切なテンションを維持する為にシムを使用し、特定の制限と調整で維持しなければならない。

・これまで、決められた手順に基づき張力は定期的に確認されているが、光ひずみゲージによる継続的な
モニタリングはコストを削減しつつ、遮蔽ドームの健全性のリアルタイムな保証を提供することが出来る。

・2010年にリーハイ大学で校正,評価されたシムに取り付けられたプロトタイプはインストールされた。
これにより、ロバートEジーナ原子力発電所におけるDOE、EPRIとCENG間のパートナーシップを通じ
新たな健全モニタリング＆コントロールへのプログラムの道が開ける。

・2011年、遮蔽ドームの20の腱、露出したリング型鉄筋とコンクリートの表面に設置することに成功した。

・2011年5月に定期保守点検が終了した後、統合型漏洩率試験（ILRT）と構造的健全試験（SIT）が行われた。
このテストは内部圧力に耐える格納容器の健全状態を確認する為に定期的に行なわれる。

・結果は、遮蔽ドームの圧力変化による、表面と鉄筋、それぞれの腱からのひずみ応答は良い相関関係を示した。

・システムは今もデータ記録され、そのデータはパターン認識ソフトウエア・システムを用い分析され、
将来への新たに設置するため検討されています。

CMIWS Innovation for the world
Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.
MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY

謝辞

- Lucius Pitkin, Inc.
  - Thomas Esselman, Tel: 978-517-3100, tesselman@luciuspitkin.com, web: www.luciuspitkin.com
  - Sontra Yim, Tel: 978-517-3100, syim@luciuspitkin.com, web: www.luciuspitkin.com
- EPRI
  - James Wall, Tel: 704-595-2659, jwall@epri.com, web: www.epri.com
- CENG
  - Michael R. Fallin, Tel: 410-470-3461, michael.fallin@cengllc.com, web: www.cengllc.com
- DOE
  - Ron Johansen; Tel: 208-533-8858, ronald.johansen@inl.gov
- Micron Optics, Inc
  - Alan Turner Tel: 404-325-0005\281-910-3872, email: aturner@micronoptics.com, web: www.micronoptics.com

CMIWS Copyright© 2012 CMIWS All Rights Reserved.

MICRON OPTICS INTERNATIONAL COMPANY