
建築と画像電子の共通領域 (AIM) 研究会

**情報通信技術を応用したスマート建築に
関する研究**

筑波技術大学 倉田成人

kurata@home.email.ne.jp

専門とこれまでの研究開発

- ・ 専門

- 建築学
- 構造工学、地震工学
- センサネットワーク等、情報通信技術の建築への応用

- ・ 研究開発

- 制震システム・制震装置
 - ・ 建築構造物のロボット化(センサ、知能・制御系、駆動系を組み込む)
- 建築を対象としたモニタリング
 - ・ センサネットワークによる地震／構造モニタリング
 - ・ 地震時の危険度評価システム
 - ・ 住宅群の電力等のエネルギーモニタリング
- スマート建築(スマートビル、スマート住宅など)

日本建築学会・情報システム技術委員会

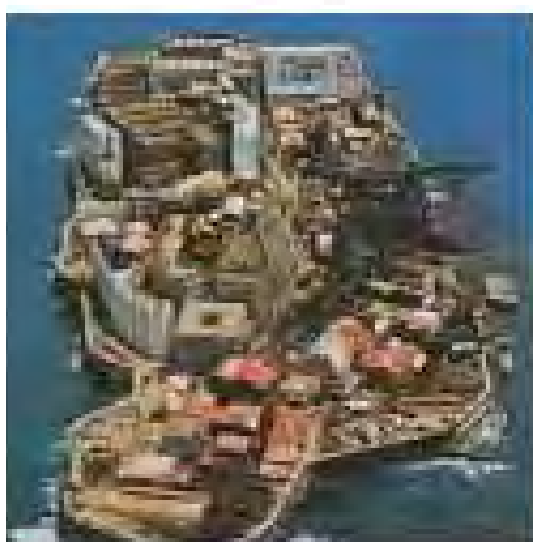
建築の専門分野と情報システム技術



建築分野には、構造、環境、計画、生産、防災などの専門分野があり、時々刻々と進化する画像電子技術などの先端技術の動向を把握しながら、横断的に情報システム技術を応用した研究を進めています。

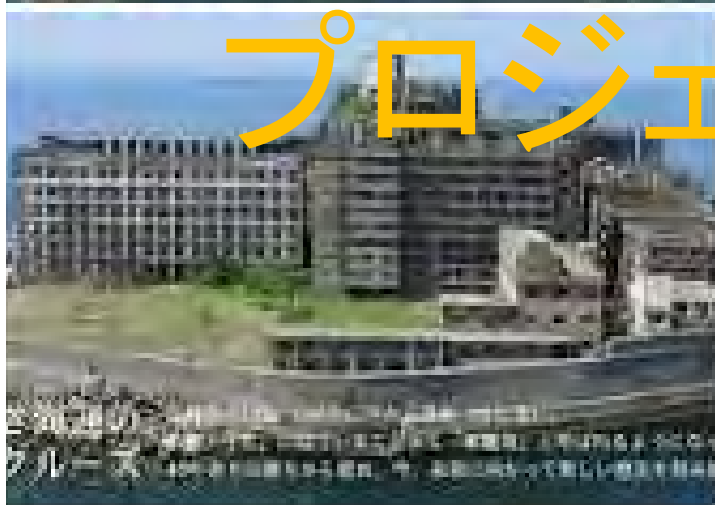
最近の研究開発テーマ

- ・ 大きな方向性としては、次世代のスマート建築・都市の実現につながる研究
 - チップスケール原子時計を応用した自律型時刻同期センシング技術
 - 軍艦島の建築群を対象とした想定外事象の検知技術
 - 聴覚・視覚障害者のための災害時の情報伝達技術



「崩壊していく都市・ 軍艦島を測る」

プロジェクト



軍艦島は…

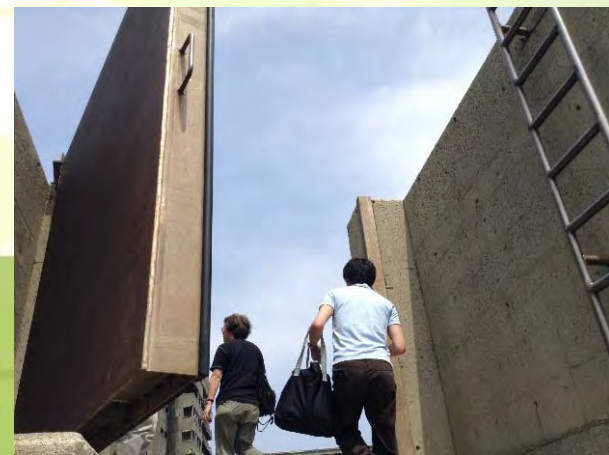
- ・ 正式名称は、端島(はしま)で、長崎県長崎市にある島
- ・ 明治から昭和にかけて、海底炭鉱によって栄えた
- ・ 1960年には、5,267人が居住(当時の人口密度は世界一で、東京の9倍以上)
- ・ 1974年の閉山にともなって、島民が島を離れてからは、無人島となり廃墟化
- ・ 大正時代に建設された鉄筋コンクリートの構造物が残っていて、年が経つごとに劣化している
- ・ **崩壊しつつある都市**
- ・ 映画「007 スカイフォール」、「進撃の巨人」でも使われた

480m

軍艦島



長崎市の許可を得て、立ち入り禁止のところへ入ります



小・中学校の建築物「70号棟」—基礎が露出



約100年前に建てられた建築「30号棟」
(日本で初めての鉄筋コンクリート造のアパート)

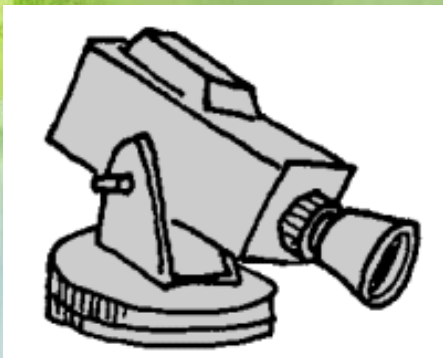


「崩壊していく都市・軍艦島を計る」プロジェクト

- ・ 軍艦島に、カメラ、マイク、マイクロフォン、振動センサを取り付けて、映像・音・振動を計測して、データを収集・分析する
- ・ 軍艦島の建築物の崩壊過程をモニタリングしながら、想定外の事象を検知するシステムを研究する

視聴触覚統合モニタリングによる想定外事象の検知

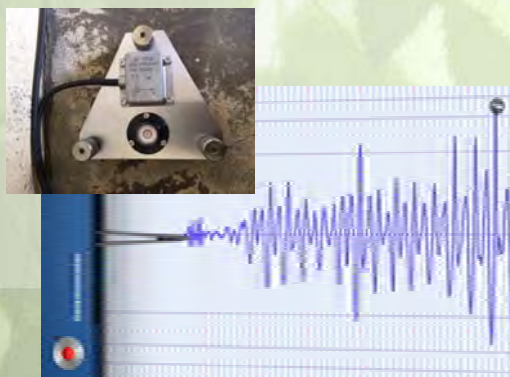
• 映像



• 音



• 振動



視覚



聴覚



触覚



想定外
事象



軍艦島内のネットワーク

軍艦島内では、3号棟のコンピュータに情報を無線で集約

軍艦島のデータを無線で本土まで通信し、そこからはインターネットで、データを収集



3号棟に、軍艦島と本土で通信を行うため、太陽光発電・蓄電池ユニット、島間通信用アンテナ、カメラを設置



現在、このカメラによる
画像データを収集中

本土側の軍艦島資料館にも、島間通信用アンテナとサーバを設置



小・中学校の建物「70号棟」への振動センサの設置を完了



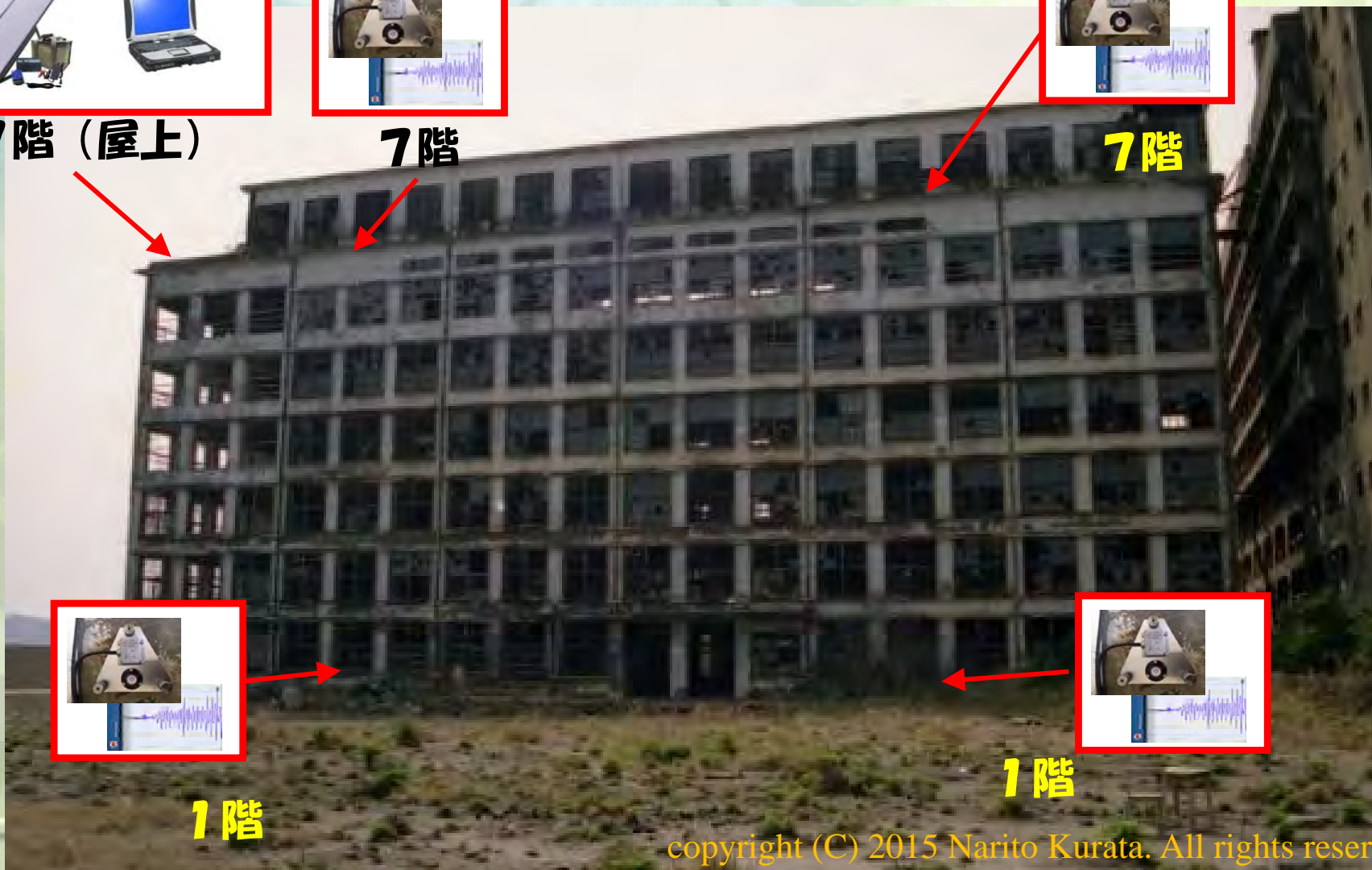
7階 (屋上)



7階



7階



1階



1階

この自律型電源システム
で、30号棟の画像を取得



その他にも、3Dスキャナーで建物をデータ化



実世界で保存できない世界遺産をサイバー空間で 「ビッグデータ保存」する



今年度中にすべての建物にセンサを設置します

軍艦島内では、3号棟のコンピュータに情報を無線で集約



軍艦島のデータを無線で本土まで通信し、そこからはインターネットで、データを集約

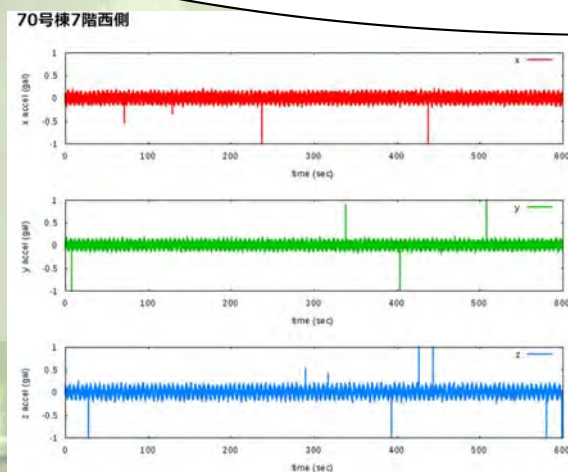
自分たちでセンサを設置するからこそ取得できるデータ
--- どんなセンサを設置するか、
どんな粒度でデータをサンプリングするかなど、すべて自由



収集した世界遺産ビッグデータを公開して自由に使う

- 公開して自由にデータを使える環境から、想像もできないようなアプリケーションが生まれる

試行錯誤のスマールスタート
データを「ちょっと使ってみる」ことができることが何より大切

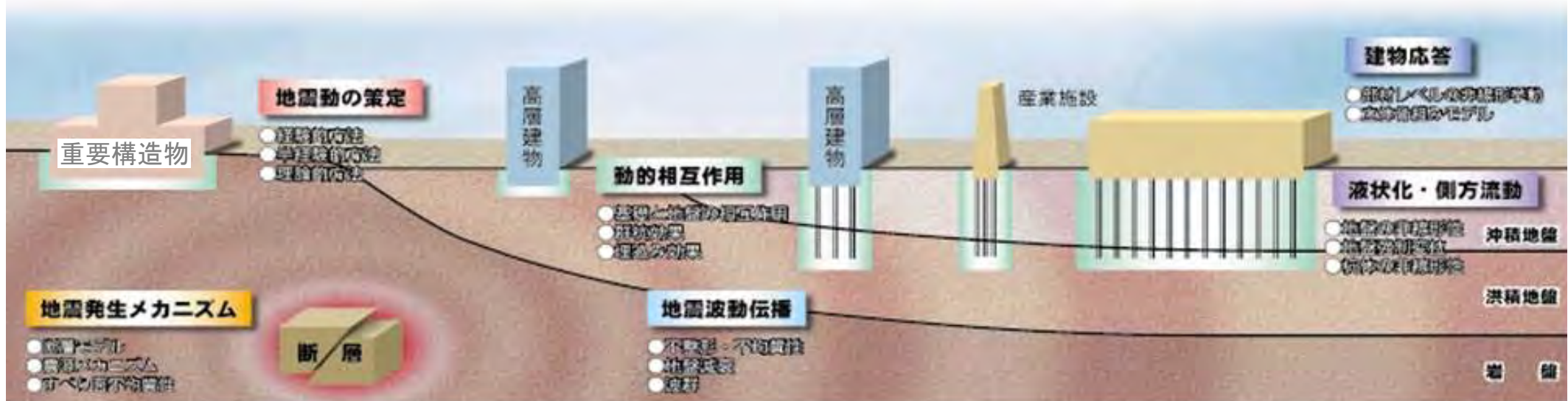


index of / battleship/image/2015/07/06

| Name | Last modified | Size | Description |
|--------------------------|-------------------|------|-------------|
| Parent Directory | - | - | - |
| 20150706_1min.mp4 | 06-Jul-2015 21:30 | 27M | |
| 20150706_1sec.mp4 | 07-Jul-2015 00:30 | 826M | |
| 20150706045702_image.jpg | 06-Jul-2015 04:56 | 263K | |
| 20150706045802_image.jpg | 06-Jul-2015 04:57 | 251K | |
| 20150706045902_image.jpg | 06-Jul-2015 04:58 | 263K | |
| 20150706050002_image.jpg | 06-Jul-2015 04:59 | 256K | |
| 20150706050101_image.jpg | 06-Jul-2015 05:00 | 261K | |
| 20150706050201_image.jpg | 06-Jul-2015 05:01 | 263K | |
| 20150706050301_image.jpg | 06-Jul-2015 05:02 | 265K | |
| 20150706050401_image.jpg | 06-Jul-2015 05:03 | 264K | |
| 20150706050501_image.jpg | 06-Jul-2015 05:04 | 260K | |
| 20150706050601_image.jpg | 06-Jul-2015 05:05 | 261K | |
| 20150706050701_image.jpg | 06-Jul-2015 05:06 | 263K | |
| 20150706050801_image.jpg | 06-Jul-2015 05:07 | 223K | |
| 20150706050902_image.jpg | 06-Jul-2015 05:08 | 240K | |
| 20150706051002_image.jpg | 06-Jul-2015 05:09 | 241K | |
| 20150706051102_image.jpg | 06-Jul-2015 05:10 | 236K | |

CPS(サイバーフィジカルシステム)の 安心・安全工学的応用 —Smart Risk Monitoring—

- 地震に対しては、「震源断層から建物の振動に至るCPSの開発」→すべてサイバー空間で状況がわかり、分析結果を、実空間へ災害直後の対策としてフィードバックする



スマート建築では人のいる空間で起こるリスクについて、**Predictable**にしよう(安心・安全工学におけるAIの応用)

IoT、ビッグデータ、AIといった情報技術を建築物へ応用する究極の目標は何か？

・ 目標：日本全体のモデルを作る

- 構造物を含む日本全体の3Dモデル
- 国土・社会インフラ・建築物に関する情報集約プラットフォーム
 - ・ BIM (Building Information Modeling, 建物モデルのデータベースとしての3D-CADシステム) がプラットフォームになる
- 地形や社会インフラ、建築物の状況など、国土の状況を詳細かつリアルタイムに把握
- 現実世界のモデルを構築し、モデル上で各種シミュレーション・予測

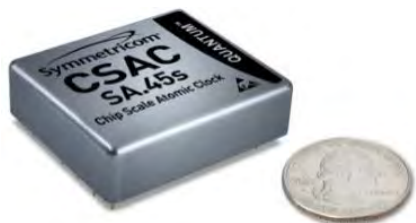
ただし、そのためには、センシングデータの位置情報に加えて、**正確な「時刻情報」が必要**

- ・ **情報はつなげることで価値が飛躍的に高まる**
 - 一見、関係のない情報どうしを掛け合わせて分析
 - 情報のつながりを作っていくためには、位置情報(x,y,z)と、時刻情報(t)が必要
- ・ **センサ間の時刻同期を取ることには限界がある**
 - 有線なら配線をしなければならないし、無線ならパケットが届かなければならないから、広域には難しい
 - GPSが使えれば良いが、建物の中、特に地下空間では使えない
 - センサネットワーク技術での解決が望まれるが、「どのような場所にセンサを置いても、時刻同期が取れたデータを確実に取得すること」は簡単ではない
- ・ **究極は、センサ自身が、自律的に正確な時刻情報を持つことが望ましい**



「原子時計で 建築・都市を計る」 プロジェクト

チップスケール原子時計 (CSAC)



- 2002年 DARPAのプログラムとしてスタート
- 2004年 Natureに掲載
- 2011年 Symmetricom社が民生用製品を開発

| | セシウム 原子時計 | ルビジウム 原子時計 | CSAC | 水晶 発振器 |
|-----------------|--------------------|----------------------|-------------------|--------------------|
| 1秒狂うの にかかる時間 | 5万年 | 1000年 | 1000年 | 1日 |
| 大きさ | 0.1 m ³ | 1000 cm ³ | 1 cm ³ | 10 mm ³ |
| 消費電力 | 50 W | 数10W | 数10mW | 10μW |

- [メリット]
- 他の技術と比較して時刻精度が高く、長期間、時刻がずれない
 - トンネルや橋桁などGPSが使えない場所でも利用可能
 - 災害や損傷でネットワークが切断された場合も自律的に計時可能

- [課題]
- 高精度時刻を活用するには専用のハードウェアアーキテクチャ設計が必要
 - 現時点では高価

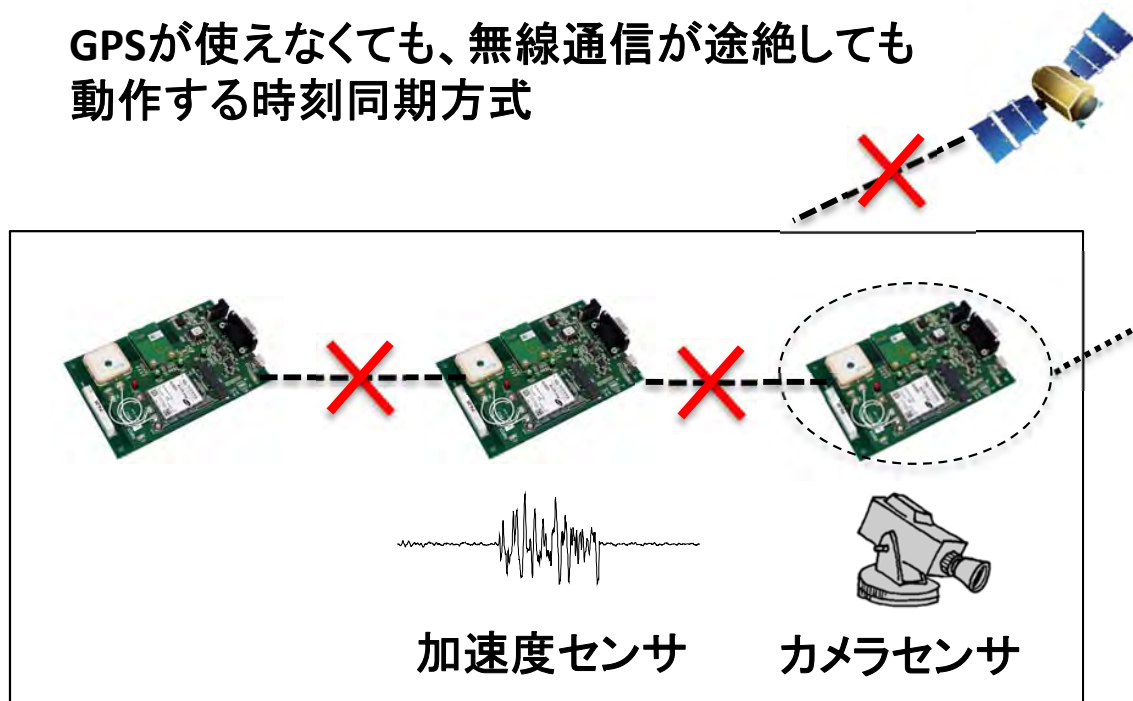
チップスケール原子時計を応用した 自律型時刻同期センシング技術

目的: 各センシングデータに正確な時刻インデックスを付与する技術の開発

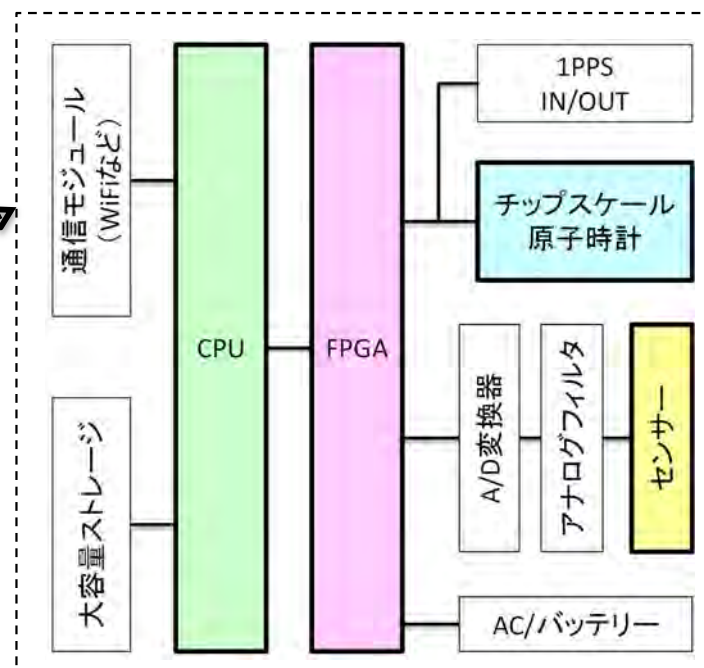
課題:

- ❖ チップスケール原子時計(CSAC)を活用して、高精度時刻インデックスを実現するセンサー基板アーキテクチャの設計
- ❖ 電力センサ、温度センサ、加速度センサなど、多種多様なセンサに適用できる自律型時刻同期モジュールの開発

GPSが使えなくても、無線通信が途絶しても
動作する時刻同期方式



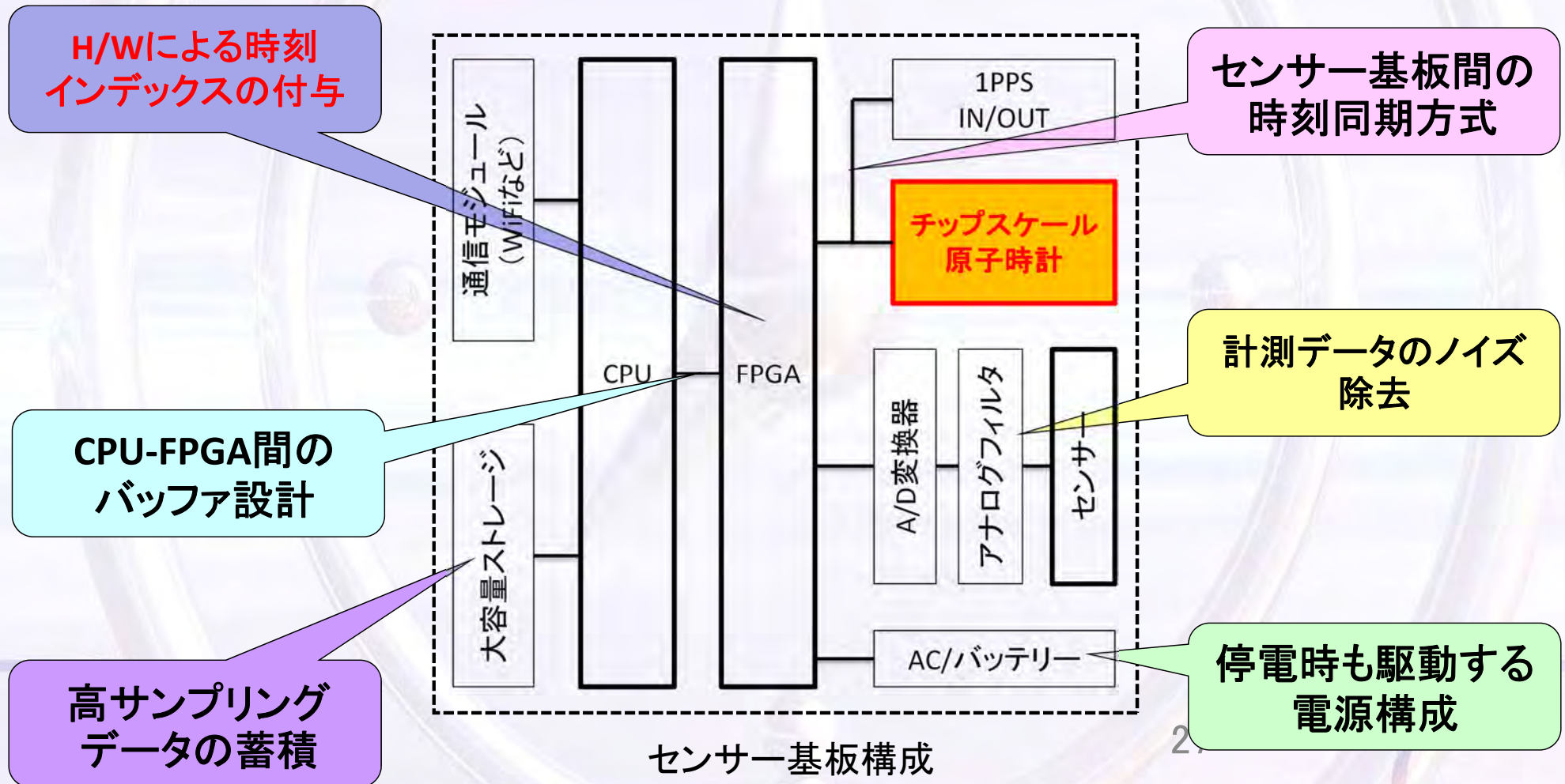
高精度時刻インデックスを実現する
H/Wアーキテクチャ



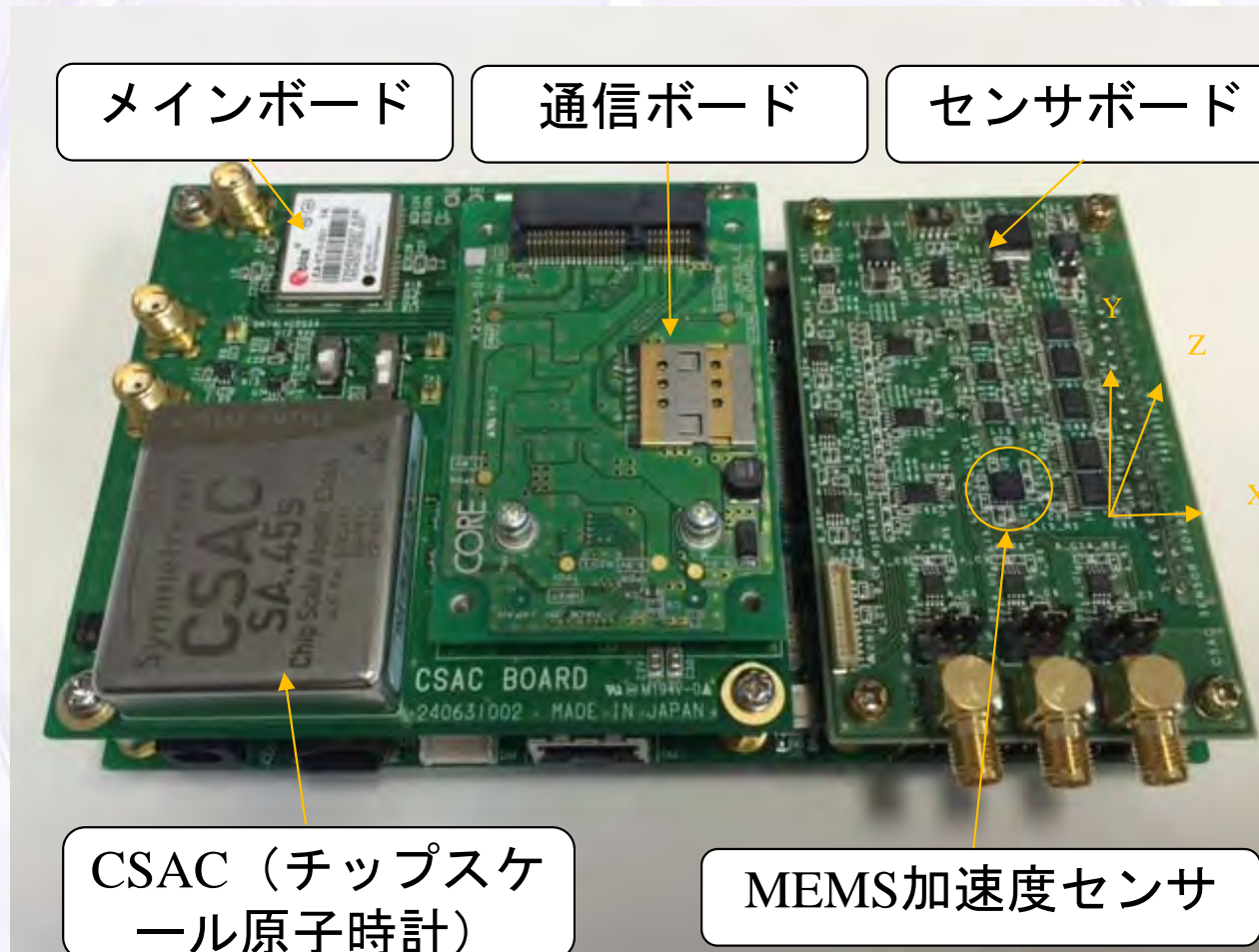
多種多様なセンサに適用できる自律型時刻同期モジュール

センサー基板構成例

高精度時刻インデックスを実現するH/Wアーキテクチャ



チップスケール原子時計 (CSAC) を搭載したセンサモジュールを完成



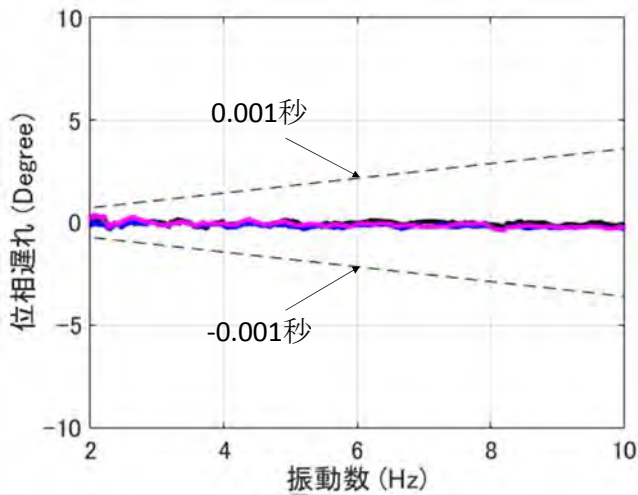
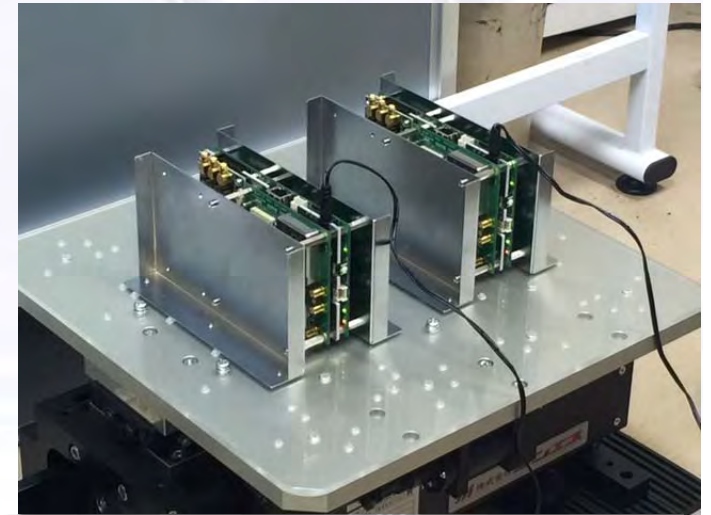
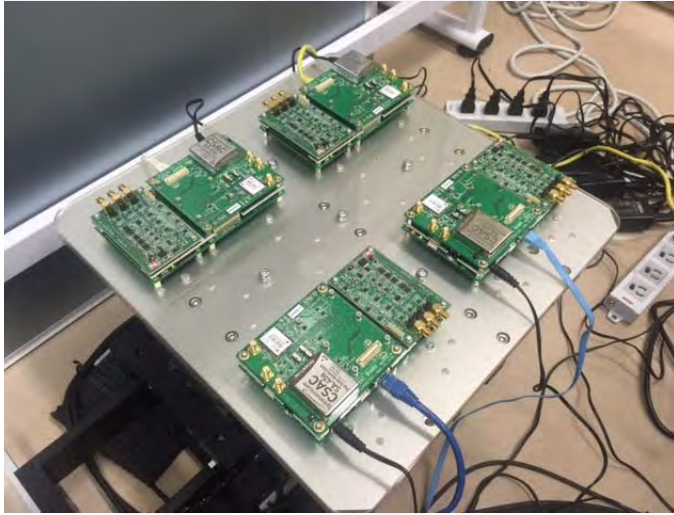
- チップスケール原子時計 (CSAC) を搭載したメインボード、MEMS加速度センサを搭載したセンサボード、様々なセンサを接続できるマルチセンサボード、3G・WiFiで通信可能な無線通信ボードで構成

振動台による性能確認実験

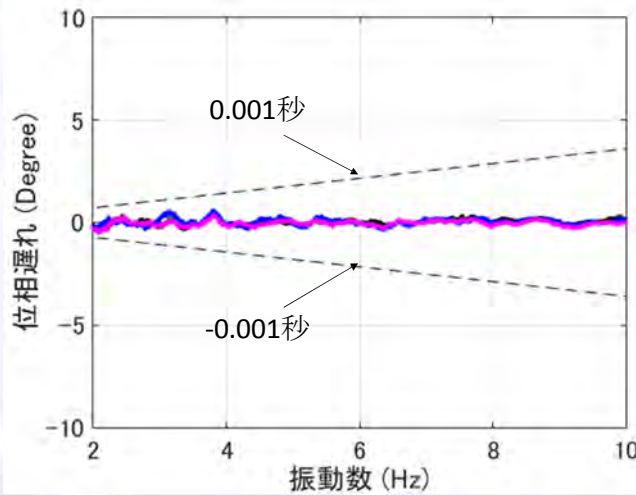


- ・ 振動台を使って、4台のモジュールに同じ振動を加え、内蔵のMEMS加速度センサのデータから、モジュールの同期性能を確認

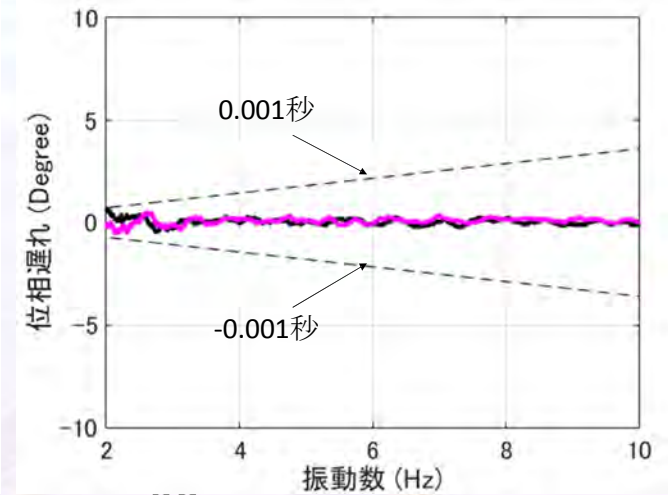
振動台実験の結果



X方向



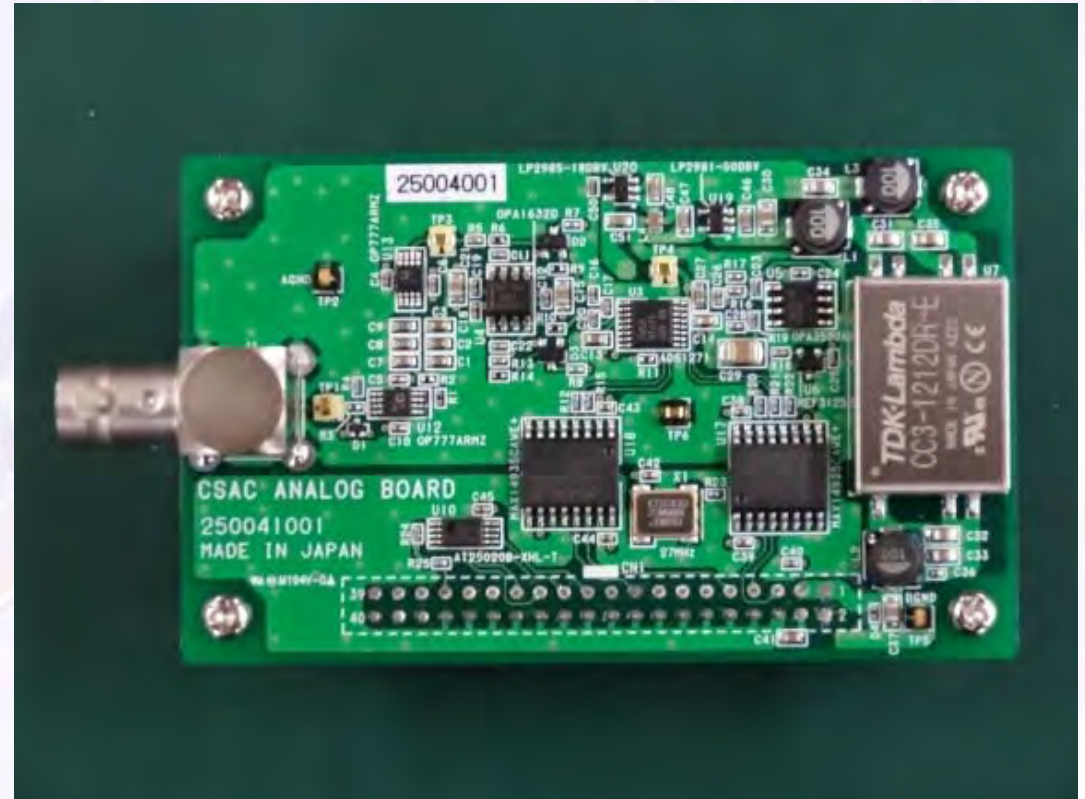
Y方向



30

Z方向

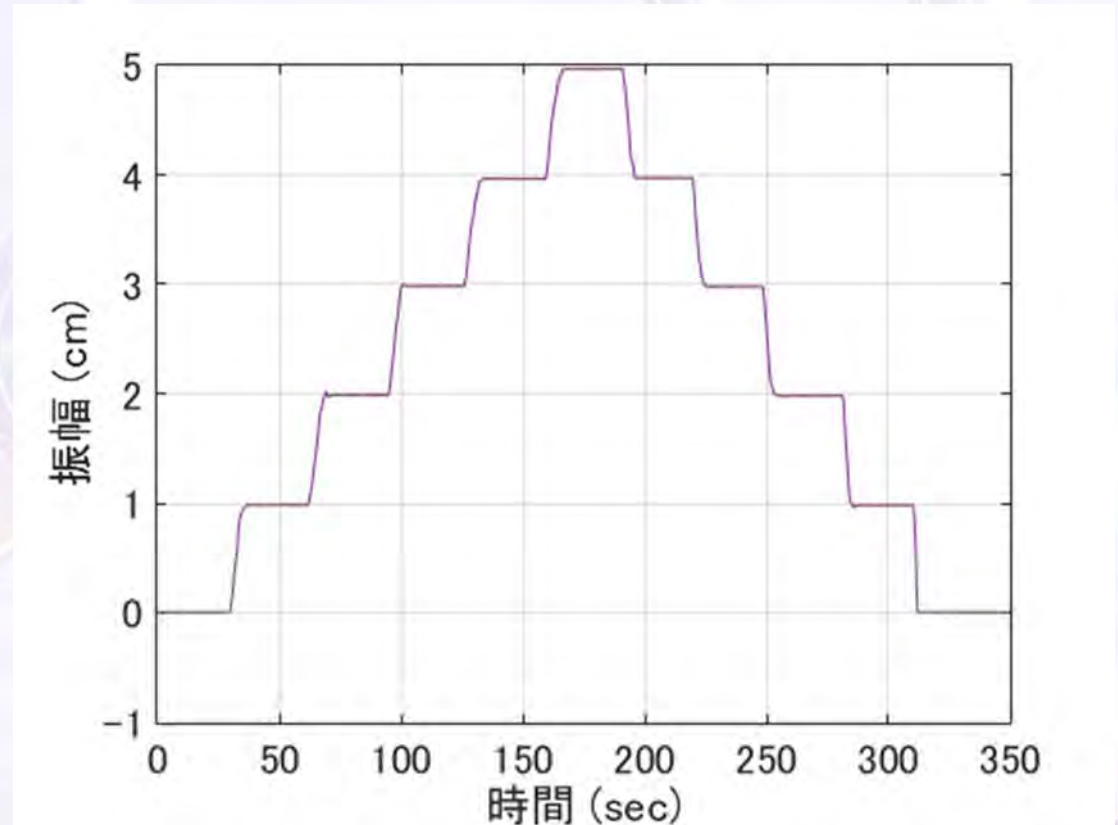
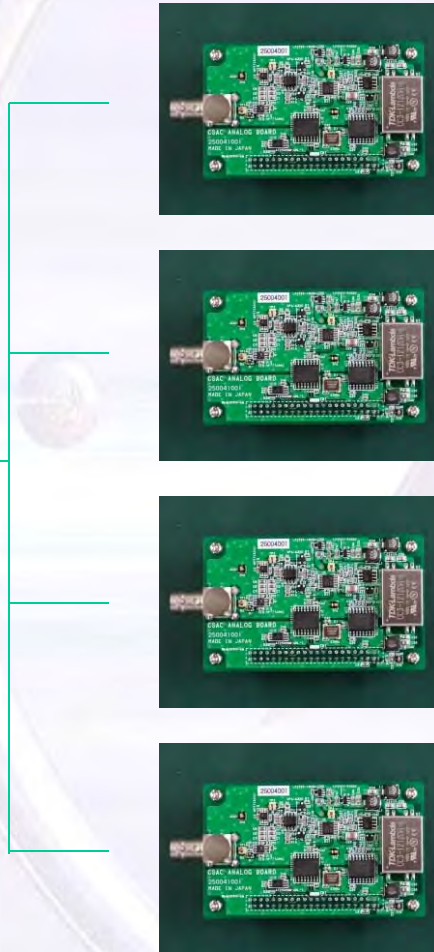
「原子時計で建築・都市を計る」プロジェクト



外部センサ³¹ボード

- ・ センサボードは着脱可能として、MEMS加速度センサボードに加え、変位センサ、ひずみセンサ等、多種多様なセンサを接続できる外部センサボードを開発

「原子時計で建築・都市を計る」プロジェクト



- 変位センサの出力を4台のモジュールに分岐・接続し、1cmずつ変化させ、モジュール間で同期ができていることを確認(上図で4本の線が重なっている)

まとめ

- ・ 大きな方向性としては、次世代のスマート建築・都市の実現につながる研究を進めています
 - 軍艦島の建築群を対象とした自律型電源によるモニタリング技術
 - チップスケール原子時計を応用した自律分散型時刻同期センシング技術
- ・ スマート建築とは、「夢のような機能が実現できる最先端の情報通信技術や画像電子技術が応用された未来の建築」です
- ・ これからも建築分野とコラボレーションをお願いします

謝辞

- ・ 今日ご紹介した研究開発の一部は、SIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」において、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務として実施しています。
- ・ 軍艦島での研究は、科学研究費補助金 基盤研究(B)「想定外事象に対するネットワーク異常検知システムの軍艦島における実証的研究」の補助を受けました。また軍艦島での写真、ビデオは長崎市の特別な許可を得て撮影したものです。