



ヘテロジニアスインテグレーション  
ロードマップ  
2019年度版

第11章: MEMSとセンサーの  
インテグレーション

<http://eps.ieee.org/hir>

HIR は、技術評価のみを目的として考案されており、個々の製品または機器に  
関連する商業上の考慮事項とは無関係です。

このロードマップでは、元のソースから抜粋した資料および図の使用に感謝します。

図と表は、元のソースの許可を得てのみ再利用する必要があります。





## 第11章: MEMSとセンサーのインテグレーション

この章は準備中で、2019年末に予定されているバージョン1.1のロードマップに統合されます。その代わりに、次の要約と一連のスライドがあり、MEMSとセンサーのインテグレーションの現在の状態と、今後10～15年間に必要な進歩に関連するいくつかの情報が示されています。

### エグゼクティブサマリー

従来、半導体パッケージング業界の課題は、高速化、小型化、およびコスト効率の高いデバイスを可能にする継続的な小型化の追求によって推進されてきました。これは、主にデジタル領域で、次に混合信号領域で、シリコンプロセスの物理的形狀の継続的な縮小によって推進されてきました。電子信号処理とは異なり、センサーは製造プロセスにおいて独特です。センサーは、感知および/またはアナログ電子信号への変換の1つの機能を主に実行する個別のデバイスです。私たちの周りのアナログの世界は、動き、音、磁場、光、液体、気体、物質など、さまざまな種類の現象や要素で構成されています。したがって、感知されている現象に応じて業界が開発を続けている複数の異なるタイプの感知デバイスがあります。

MEMSとセンサーのインテグレーションロードマップを開発する上での主要な課題は、それを検知して電子信号に変換できる将来の電子機器を含めることができるということです。ディスクリットセンサーを開発する可能性は無限に多様で種々諸々です。設計できるセンサーパッケージングアプローチ、またはこれらのデバイスがディスクリットデバイスとして動作し、シグナルチェーン内の他の電子機能とインテグレーションできる方法を予測することは困難です。センサーデバイスのパッケージングには、センシング要素が外部の実世界と相互作用する必要があるという点で、固有の課題があります。このタスクは、各アプリケーションに異なる動作環境とパフォーマンス要件がある場合があるという事実により、さらに悪化します。例えば、動作環境に関しては、慣性MEMSセンサーをシステムの可動要素に取り付ける必要があります。これは、ガスがセンサー要素と相互作用するための物理的な開口部がパッケージに必要なガスセンサーとは大きく異なります。さらに、慣性MEMSベースのセンサーのみを検討する場合、それらを自動車アプリケーションで使用するには、高い信頼性、再現性、及び長寿命が必要です。それらを消費者向けのハンドヘルドアプリケーションで使用するには、短いライフサイクルで、より低い電力でより高い電力とより高い機械的信頼性の課題、および比較的低い熱の課題が必要です。

ワーキンググループは、MEMSベースの慣性センサーに関する議論に焦点を当てています。次のプレゼンテーションスライドは、このTWGが、MEMSベースのセンサーを自動車、アビオニクス、ハンドヘルド/モバイル/コンシューマー、および医療ヘルスケアアプリケーションに適用される信号処理バリューチェーンの他の部分にヘテロジニアスインテグレーションするための問題をどのように定義しているかを示しています。個別のMEMSセンサーをインテグレーションする際の最新技術について説明します。他のセンサータイプを追加してロードマップの取り組みの範囲を拡大し続け、潜在的なソリューションのビジョンプロセスを継続するための背景を確立します。

*Heterogeneous Integration Roadmap*

# MEMSとセンサーの インテグレーション

**TWG Chair: Shafi Saiyed, PhD.**

**Team Members: Shafi Saiyed, PhD., André Rouzaud, Jean-Charles Souriau, Allyson Hartzell, Gilles Simon, Benson Chan, Adam Schubring, Markus Schindler, PhD., Ryan Lai, PhD., Neil Tan, Siddharth Tallur, PhD.**



## MEMS とセンサーのインテグレーション



- ヘテロジニアスインテグレーションを可能にするために、センサーパッケージングで何が必要かを文書化する。
- このTWGの具体的な目標
  - この反復で慣性センサーに焦点を当ててスコープを定義
  - ヘテロジニアスインテグレーションへのパスの課題を特定する（アプリケーション主導/共通性）
  - 次の5、10、および15年の展望における潜在的な道筋を特定する





## シグナルチェーンの共通性

- すべてのアプリケーションドメインで、実際の世界からクラウドまでの基本的なシグナルチェーンは（多かれ少なかれ）共通のままです
- センサーは現実の（アナログ）世界と相互作用します





## TWGのスコープの定義

- 現実（アナログ）の世界では、さまざまな検知モードが必要です。各検知モードには、要件とアプローチの異なるセットがあります
- TWGの焦点は、最初は慣性MEMSに限定されていました（後の版で拡張される予定です）。光学センサーの組み込み、低電力用の環境発電、タイプセンサーに関する継続的な議論。



## 最新の技術-シグナルチェーンの視点





実世界はアナログ → 変換 (感知して電子信号に変換) → Interpretations (Process Intelligently) → Communications (Connect) → Intelligent Analysis, Pattern Recognition (Analyze) → Predictions Computational Modelling (Predict & React)

Software & Hardware Platforms at Edge Nodes | RF, Microwaves, Millimeter waves | Cloud High Performance Computing

すべての慣性MEMSには、センサーとASIC（信号のデジタル化用）が1つのパッケージにインテグレーションされています。

パッケージングアプローチは、有機基板に基づく成熟したプラスチックパッケージを使用し、複数のチップをまとめることです。

センサーハブの一般的な傾向は、システムレベルのパフォーマンス向上とコストのために、機能統合のレベルを上げることです。  
 例：慣性センサーコンボ（6～9 DoF）。IoTセンサーノード














Image Sources for deconstructed packages: SYSTEMPlus Consulting

## シグナルチェーンの上方インテグレーション












実世界はアナログ → 変換 (感知して電子信号に変換) → 判定 (インテリジェントに処理) → 通信 (コネク) → Intelligent Analysis, Pattern Recognition (Analyze) → Predictions Computational Modelling (Predict & React)

エッジノードのソフトウェアおよびハードウェアプラットフォーム | RF, マイク, 口波, ミリ波 | Cloud High Performance Computing

- スタンドアロンのコンポーネントレベルのインテグレーションを超える（コンボセンサーなど）
- 同じシリコンプロセス以外のコンポーネントのインテグレーション
  - 慣性MEMSセンサーには、独自の微細加工技術（キャッピングプロセスを含む）があります。
  - マイクロプロセッサはデジタルシリコンプロセスを使用
  - ほとんどのRFロードマップはGaAs / GaN / SiCプロセスに向けられています
  - 同じ高度なインテグレーションパッケージにパッシブ、アンテナ、電源などを統合する必要があります







## 相対性能仕様



- 産業およびアビオニクスアプリケーションでは、パフォーマンスを大幅に向上させる必要があります
  - 個々の6自由度では不十分な場合があります
- ヘテロジニアスインテグレーションによりこのソリューションが提供されます
  - 短期的：μプロセッサとアルゴリズムを組み合わせた複数の6 DOF実装。
  - 5年以上：最大10自由度のコンボ（加速度計、磁力計、ジャイロスコープ、圧力）

メトリックス	典型的なコンシューマ	典型的な産業	典型的なナビゲーション/アビオニクス
<b>ジャイロスコープ</b>			
ノイズ密度 (° / 秒 / √Hz)	0.02	0.004	< 0.004
Ang. ランダムウォーク (° / √Hz)	TBD	0.2	TBD
運転中の安定性 (° / hr)	>15	< 6	< 1
バイアス再現性 (° / 秒)	>6	0.2	< 0.2
<b>加速度計</b>			
ダイナミックレンジ (g)	< 4	> 40	> 12
ノイズ密度 (μg / √Hz)	250	25	TBD
ベル ランダムウォーク (m / g / √Hz)	> 3	0.03	TBD
運転中の安定性 (μg)	100	10	< 10
バイアス再現性 (mg)	> 1000 X	25	
パワー	バッテリー駆動、超低電力は必須です	低電力	低電力が好ましい


Reference: multiple sources, to be referenced in manuscript


## エンドアプリケーションがさまざまな統合パスを推進

慣性MEMSセンサーをシグナルチェーンの他のコンポーネントと統合するための分岐パス

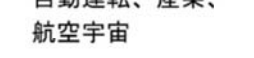
モバイル、ヘルスケア




慣性センシングを統合するための経路におけるアプリケーション主導の分岐

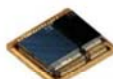


自動運転、産業、航空宇宙

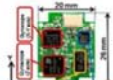





Source: Murata CRM3000




Consumer IMU, Bosch  
Source: SYSTEMPlus Consulting




Source: WB-3 Bioinstrumentation IMU




Source: Colibrays





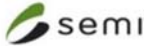



Source: Thales, Navigation Grade



Source: Tyndall Biomechanical IMU



Source: STM SensorTile IMU



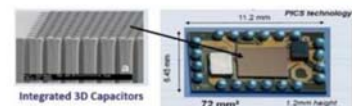
## ヘテロジニアスインテグレーションをできるようにするには

- 課題#1: センサーのパフォーマンスロードマップは、エンドアプリケーションに基づいて異なる
  - センサーの仕様: フルスケールレンジ、感度、オフセット、ノイズ、消費電力
  - 内蔵するインテリジェンス (μProcessor) と送信する内容/方法 (RF)
  - シグナルインテグリティ: RFとセンサーのカップリング効果、シールド
  - 材料: センサーのストレス感度とRFのトレードオフ
  - MEMSセンサーテスト: 慣性センサーのテストコストは非常に高くなります (たとえば、パッケージレベルで最大50%)
  - 標準化: コンポーネントは標準化に近づいていますが、これを統合ソリューションにどのように適用できますか?
- 課題#2: MEMS / デジタル/ RFシリコンプロセスをヘテロジニアスインテグレーションすることができる
  - 異種的设计プロセスを可能にする設計ツール
  - 複雑な機能 (センサーフュージョンなど) を統合するための潜在的な設計アーキテクチャは何ですか?
- 課題#3: シグナルチェーン全体でプラットフォームの共通性を設計できるか?




## インテグレーションの高まり

- 小型化されたコンポーネントの設置面積内のRF機能
  - TX/RX機能、デジタルからアナログへの変換、PAおよびアンテナのインテグレーション。
  - 高品質のパッシブデバイスをアクティブセンサーやASICに近接してインテグレーションします。
- 高度なマテリアルのインテグレーション
  - 作動用圧電材料 (PZT、AlN、電気活性ポリマー)
  - ゲッター材料
- エネルギー機能をパッケージにインテグレーション:
  - 保管: 固体薄膜μbatteries
  - 環境発電センサー/システム

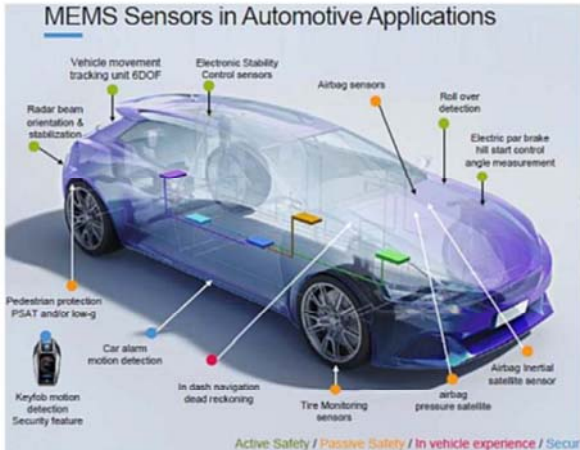






## 自動車/ UAVs



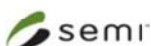



- スタンドアロンMEMSセンサーの成熟
  - エアバッグ
  - ロールオーバー検出
  - 安定性制御
- これらの成熟したソリューションは車両内にあり、外部と通信しない
- 自動運転とADASの新たな用途
  - 車両追跡6自由度IMU
  - ナビゲーションの推測航法
  - オーディオノイズキャンセル



MEMS Sensors in Automotive Applications

Active Safety / Passive Safety / In vehicle experience / Security

Source: Steve Taranovich, EDN, Image referenced to NXP



## ヘルスケアにおけるMEMSセンサー (第4章を参照)

MEMSセンサーの急増は埋め込み型医療機器にとって大きなチャンスです

- 侵襲的なデバイス
  - 心臓、目、耳、動脈、筋肉、骨、神経に埋め込み可能
  - 診断、治療を改善する
  - センサー、刺激、アブレーション、ドラッグデリバリー
- 健康と福祉
  - 皮膚パッチ
  - モニタリング：ECG（心臓）、パルスオキシメトリー、グルコース、脱水、活動
  - 汗の感知と分析
- 主な要因：
  - 規制
  - 小型化、低コスト、信頼性、超低消費電力
  - $\mu$ プロセッサとRFのインテグレーション
- 今後の課題
  - 気密性、滅菌、生体適合性
  - 市場投入までの時間



X2 Patch Concussion Monitoring

MEMS Strain Gauge Intraocular Press Sensor

<https://news.illinois.edu/view/6367/233722>



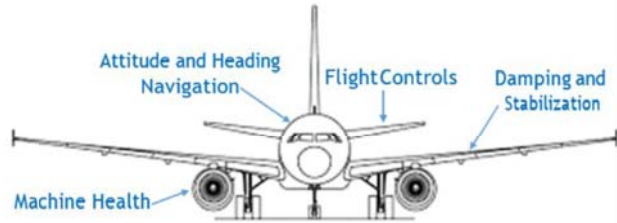







# ナビゲーション：アビオニクス/航空機/UAV (第6章を参照)

- 主な要因：
  - サイズと重量の削減
  - 複雑さの軽減
- 何が必要ですか？
  - MEMSベースのシステムパフォーマンスターゲット



- ヘテロジニアスインテグレーションにより、複雑さ、サイズ、重量を削減
  - センサー+ μプロセッサ+伝送を最適に組み合わせる方法に関する設計アーキテクチャの必要性




## アプリケーションとパッケージング (1/2)









	Current State-of-Art		5 to 10 years	
	応用分野	パッケージ	応用分野	パッケージ
モバイル/コンシューマ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜</li> <li>• ナビゲーション</li> <li>• ゲーム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 従来の低密度 LGA</li> <li>• 厚いセンサー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 傾斜</li> <li>• ナビゲーション</li> <li>• ゲーム</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• サイズ縮小、WLCSP</li> <li>• 薄型センサー</li> <li>• μProcessorとのインテグレーション</li> <li>• EMIシールド</li> </ul>
自動車	<ul style="list-style-type: none"> <li>• エアバッグクラッシュセンサー</li> <li>• 転がる</li> <li>• 安定性制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 従来の大型ボディ SOIC / LFCSP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ナビゲーショングレードのIMU</li> <li>• ADAS</li> <li>• オーディオノイズキャンセル</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SiPベースのモジュール</li> <li>• 基板テクノロジー</li> <li>• インテリジェント処理のためのμProcessorのインテグレーション</li> <li>• 通信のためのRFのインテグレーション</li> </ul>





HIR  
HETEROGENEOUS  
INTEGRATION ROADMAP

		Current State-of-Art		5 to 10 years	
	応用分野	パッケージ	応用分野	パッケージ	
医療 & 健康	普及していない	硬質有機基板上の従来のプラスチック	<ul style="list-style-type: none"> <li>埋め込み型</li> <li>脳震とうモニタリング</li> <li>バイタルサインの監視</li> <li>テレメトリー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>フレキシブル基板</li> <li>薄型プロファイル、WLCSP</li> </ul>	
航空宇宙 & 防衛	普及していない	<ul style="list-style-type: none"> <li>FOGおよび/またはRLG</li> <li>従来のセラミック基板ベースのモジュール</li> </ul>	機械の健康状態と方位ナビゲーションの安定性	<ul style="list-style-type: none"> <li>SiPベースのモジュール</li> <li>基板テクノロジー</li> <li>インテリジェント処理のための<math>\mu</math>Processorのインテグレーション</li> <li>通信のためのRFのインテグレーション</li> </ul>	



HIR  
HETEROGENEOUS  
INTEGRATION ROADMAP

## 要約すれば...

- MEMSとセンサーのヘテロジニアスインテグレーションは、スケーリングや小型化の機能ではありません
- MEMSおよびセンサーは、自己完結型のハブおよびノードである複雑なマイクロシステムに向かって進化しています。
  - センサーはスタンドアロンデバイスとして動作することは想定されていませんが、シグナルチェーンを統合して機能し、インテリジェント処理 ( $\mu$ 処理) と伝送 (RFチップ) を組み込む必要があります。
- 各アプリケーションにはさまざまなドライバーがありますが、共通点は次のとおりです:
  - 低電力
  - システムの複雑さの軽減
  - 解像度、再現性、信頼性







4 

