「高機能センサネットシステムと
低環境負荷型プロセスの開発」
（事後評価）分科会
資料6

公開

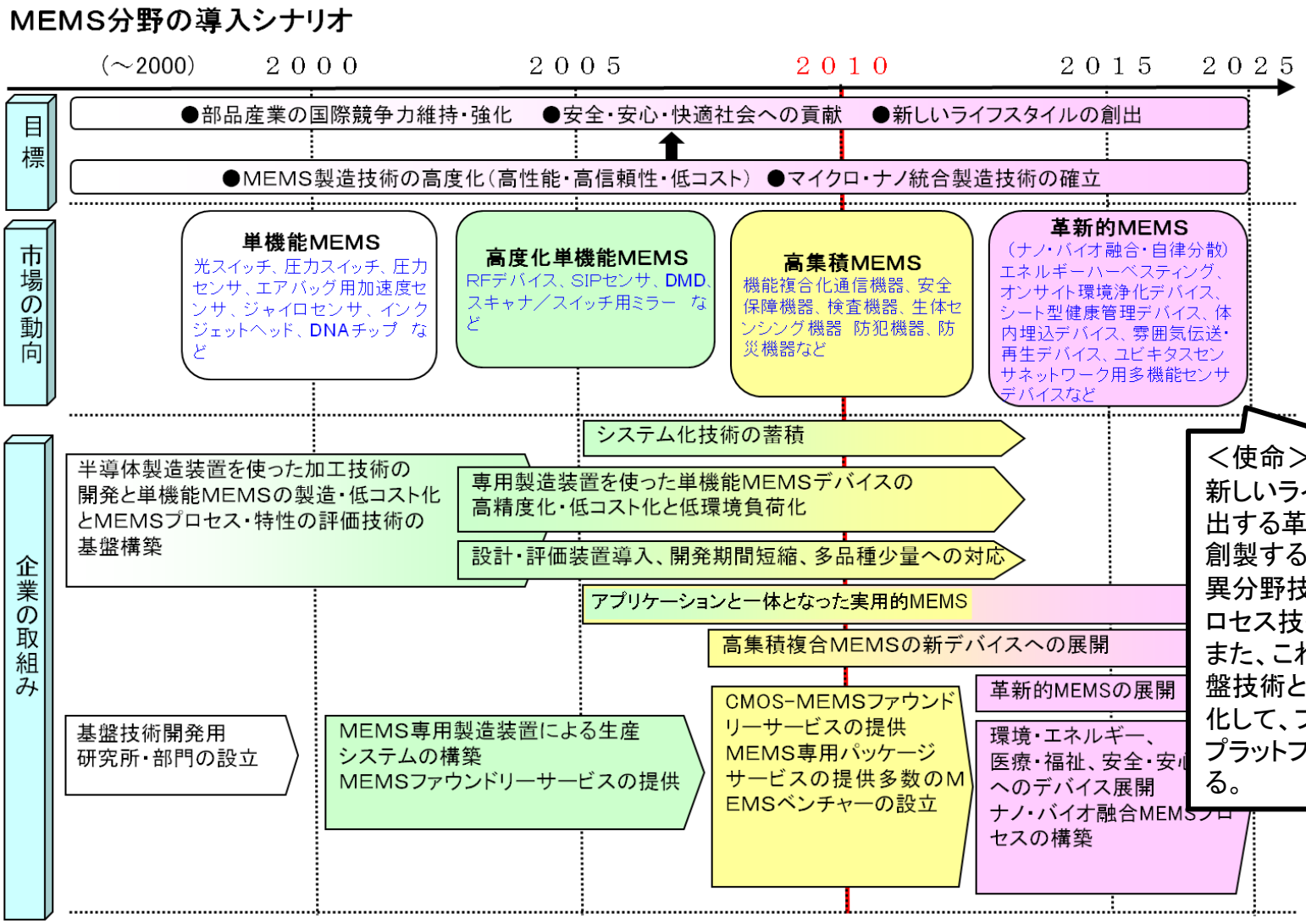
「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト／高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」事後評価分科会資料

―プロジェクト概要説明―

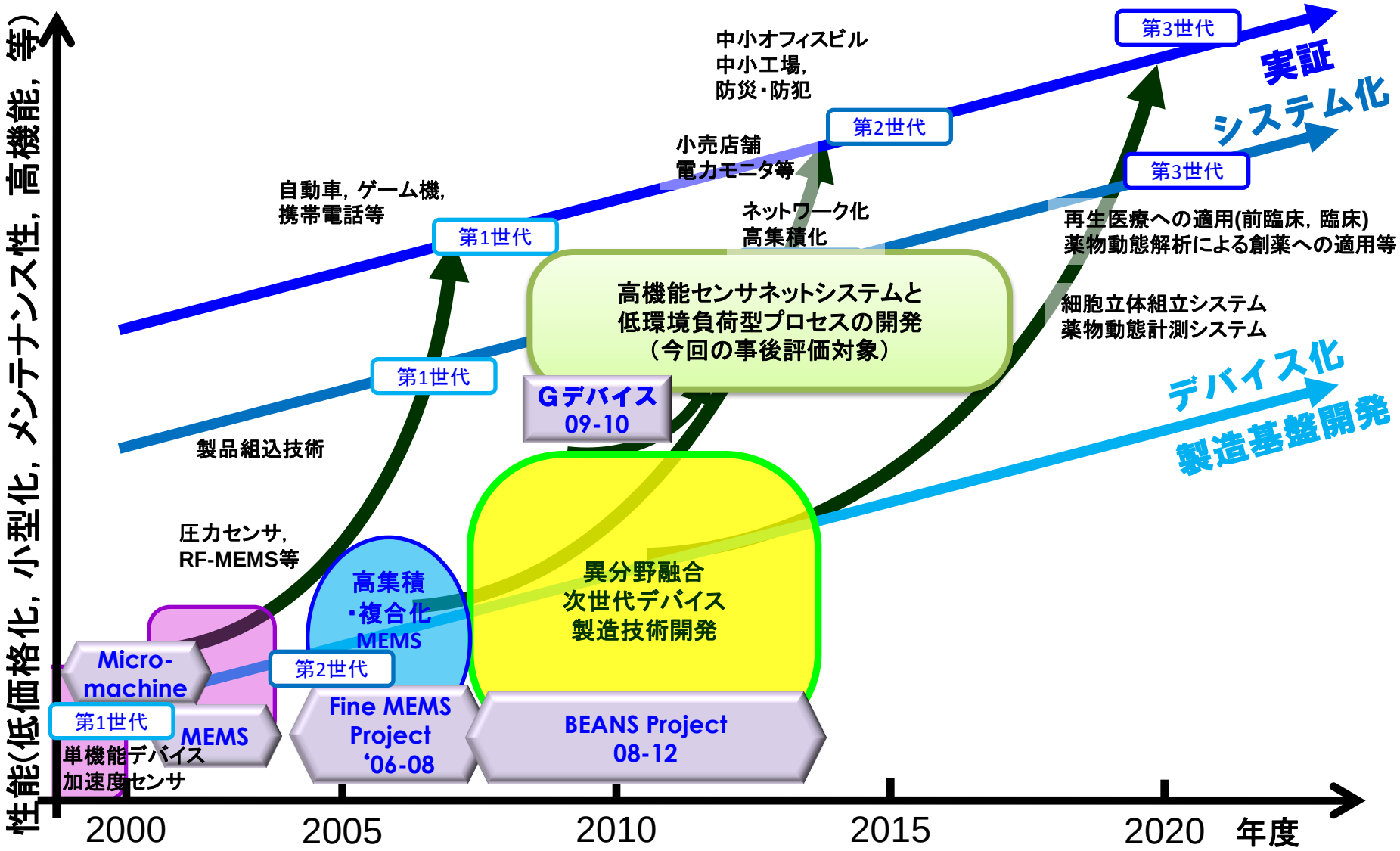
平成23年11月28日

独立行政法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構
技術開発推進部

MEMS技術ロードマップ



MEMS関連プロジェクトの流れ



国のプログラムにおける位置付け

経済産業省「ロボット・新機械イノベーションプログラム」

１．目的

我が国の製造業を支えてきたロボット技術・機械技術を基盤とし、IT技術・知能化技術などの先端的要素技術との融合を促進することにより、家庭、医療・福祉、災害対応など幅広い分野で活躍する次世代ロボットや新機械技術の開発・実用化を促進し、生産性の向上と人間生活の質の向上を実現するとともに、我が国経済社会の基盤である製造業の競争力の維持・強化を目指す。

２．達成目標

（1）我が国製造業の高度化に必要不可欠な基盤技術である機械分野においては、バイオ技術やIT技術などの異分野技術を活用した従来の機械の概念を超えた新しい機械の創造及びその計測技術の確立を図ることを目標とする。例えば、2015年頃に革新的MEMSの本格普及を目指すことにより、安全・安心な社会の構築に貢献する。

上位プログラムの目標達成に貢献できる

異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト
①新しい機械→異分野融合による革新的MEMSの実現
②2015年→途中段階でも実用化が可能な研究成果については、スピンアウトし実用化を促進
③安全・安心→健康・医療への応用

21年度補正予算（第2号）への対応

全世界的課題として環境エネルギー問題への対応が国や産業毎に強く要請されている中、「異分野融合型次世代デバイス製造技術開発プロジェクト」（BEANS）は、平成21年度補正予算（第2号）「明日の安心と成長のための緊急経済対策」を実施するために措置された「環境・エネルギー技術への挑戦」に位置付けられる。

NEDOはこれに早期に対応すべく、BEANSの研究開発項目⑤「高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」として緊急に実施。

＜委託先選考までの経緯＞

・公募の事前周知（公募予告）	平成21年12月25日
・公募期間（開始日～締切日）	平成22年1月8日～2月8日（32日間）
・公募説明会	平成22年1月18日
・採択審査委員会	平成22年2月23日
・契約・助成審査委員会	平成22年3月9日（公募締切から採択決定までの日数：30日間）

事業概要・目的

＜背景＞

➢工場等の製造現場において、原材料や使用資源のきめ細かい状況モニタリングと制御を行う微細・極小、高機能なセンサの実用化により、製造プロセスの省資源化、高効率化の実現が期待されている。

➢小型で低コスト、かつ信頼性の高いワイヤレスセンサとすることで、設置にあたっての大がかりな工事を必要とせず、既存施設にも低コストでの導入が可能となる。合わせて、センサの製造において低環境負荷型の製造プロセス技術の開発を行うことで、生産システムの低炭素化にも貢献が可能となる。

＜目的＞

研究開発項目⑤「高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」では、BEANSで開発したプロセス技術等を活用し、高機能センサネットシステム・センサモジュールの事業化と、低環境負荷型製造プロセスの確立に向けた開発・実証研究を行うことを目的とする。これは、補正事業の趣旨に合致し、本プロジェクトの早期の実用化を期待するものである。

＜内容＞

1．研究開発項目：

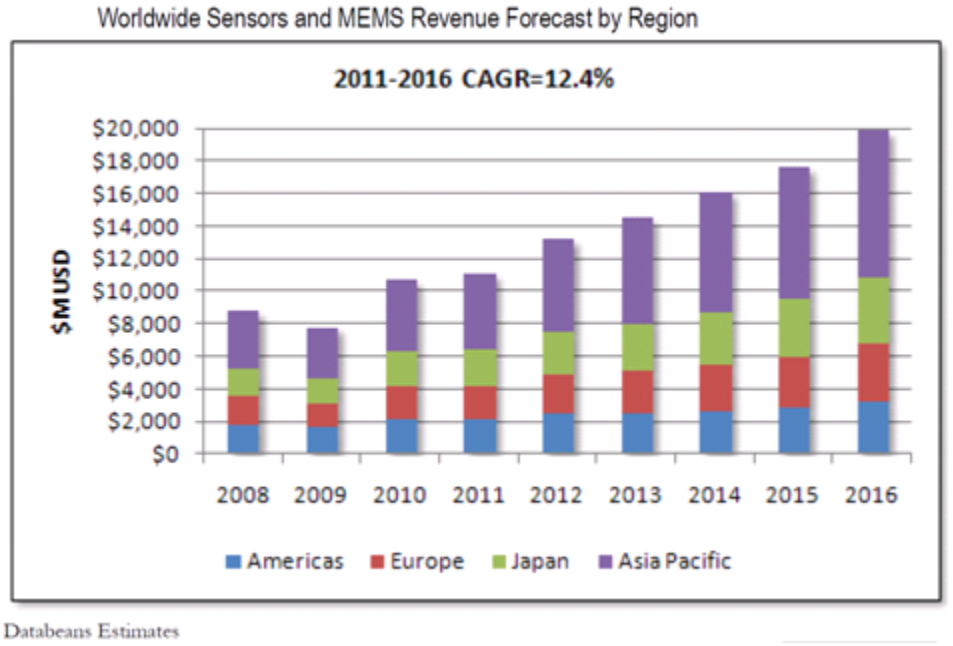
① バイオ・有機材料融合プロセス技術の開発
② 3次元ナノ構造形成プロセス技術の開発
③ マイクロ・ナノ構造大面積・連続製造プロセス技術の開発
④ 異分野融合型次世代デバイス製造技術知識データベースの整備
⑤ 高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発【事後評価対象テーマ】

2．研究開発期間：平成22年3月～平成23年3月（1年間）

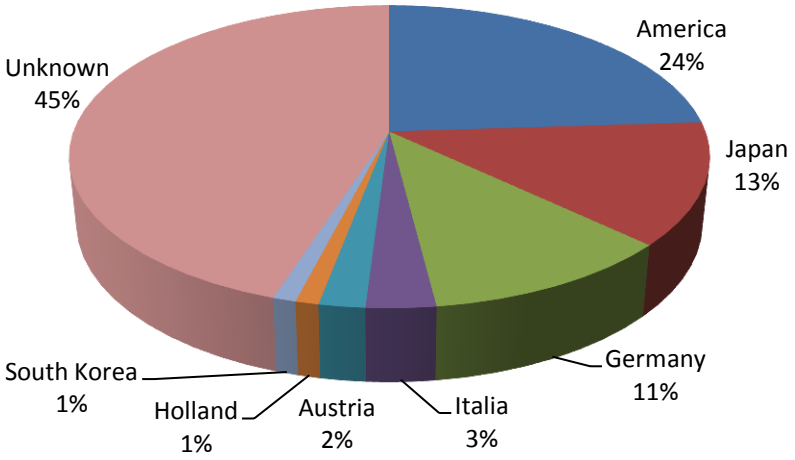
3．予算額：33．1億円

海外の動向

- 日本は、センサ・MEMSでは、世界トップクラスのシェアを占めつつも、欧米各国と激しい競争が行われている。
- センサ・MEMSの世界市場は今後も大きく成長すると予想されている。



世界シェアTop20のメーカの占める世界シェアを国別に整理（2010）



Databeans の資料をもとにNEDOが作成

Gデバイスを実施することにより、BEANSで開発したプロセス技術等を活用し、本プロジェクトの成果をいち早く創出することで国際競争力の向上に資する。

研究開発目標(1)

（以降、事後評価対象である、研究開発項目⑤「高機能センサネットシステムと低環境負荷型プロセスの開発」（Gデバイス）について説明）

MEMS技術戦略マップのロードマップを踏まえつつ目標を設定。高機能センサネットシステム開発として製造現場に多数のセンサを配置したセンサネットワークシステムを構築し、空調制御することで省エネ化の有効性や、多数配置可能なMEMSセンサ端末課題の把握を行うことと、MEMSプロセス自体の低環境負荷化を目標とした。

具体的な最終目標は以下のとおり。

① 高機能センサネットシステム開発

＜最終目標＞

検証用のクリーンルームにおいて、従来比（1990 年比）CO2 削減60%のセンサネット制御システムを開発。また、一辺30mm、厚み10mm 以内に複数のMEMSセンサと処理回路、無線回路、エネルギーデバイスとの融合を想定したセンサモジュールプラットフォームを作製。

＜目標設定のねらい・意義＞

これらの取り組みや目標に関してはMEMS技術戦略マップ2010の応用事例としてその重要性が取り上げられ、既存の半導体クリーンルームで未達成のCO2削減量であり、複数のセンサ機能を搭載したモジュールを目標サイズで達成した例はない。

研究開発目標(2)

② 低環境負荷型プロセス技術開発

＜最終目標＞

シリコン貫通深掘り加工において、温室効果ガス排出量削減に向けて、温暖化係数の高いSF6ガスに対し、複数の代替候補ガスを調査・検討し、温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。また高機能デバイス薄膜の集積化に関し、250℃以下で大気圧付近から真空で封止できる接合方式を決定。さらに生体適合性ポリマーの機械特性などの数値を求める。

大口径MEMS用試作ラインにて、センサ用途等TEGの設計および試作を複数種類行い、歩留まり、生産性につながるデバイスの動作を妨げる製造装置、製造プロセス、デバイス構造起因の欠陥・ばらつき等の課題を抽出する。BEANSの成果である中性粒子ビームエッチングをセンサTEGに適用し、デバイス性能への効果を検証。

設計・計測・ファブ環境情報において共有化する情報を類型化し、データ共有化のためのデータフォーマット、それに付随する基本ソフトウェアの開発を行い、MEMS-TEGを用いてデータ交換および設計手法の検証を行う。また、クリーンルームおよび製造・検査装置に関わる消費エネルギー、CO2排出量など環境情報の収集管理の方法を決定。

＜目標設定のねらい・意義＞

深堀りエッチングにおけるSF6の代替ガスや低温接合によるフレキシブル集積化は従来から課題視されていたものの未達成領域であり、ポリマーのMEMS化を含めMEMS技術戦略マップ2010のロードマップ数値をクリアすることを狙いとする。

研究開発の具体的内容

① 高機能センサネットシステム開発

1）8インチMEMSクリーンルームセンサネットワークシステム開発

8インチMEMS用クリーンルームをセンサネットシステムの実験場として、各製造・評価装置や空調装置、純水等の周辺装置の消費エネルギー、温度、圧力、風量、異物粒子、ガスなどを現状のネットワークシステムと現状のセンサ群の多数配置によるきめの細かいセンシングネットワークシステムを試作・検証。

2）8インチMEMSプロセスライン及びクリーンルームの構築

BEANSの実証及び集積化MEMSセンサデバイスの試作を可能にする8インチシリコンウェハベースMEMSラインを産総研つくば東事業所内に構築。これをセンサネットワークシステムの実験場として活用。装置には、MEMS/LSIの前工程から後工程、評価までカバーする一貫ラインとして、ウェハの洗浄、リソグラフィー、拡散、酸化、成膜、エッチングから、接合・封止、デバイスチップ切断、実装用配線、さらに、デバイス表面及び内部の形状評価までを実施する装置を導入。

3）植物工場センサネットワークシステムの開発

東京農業大学内に植物工場を新設し、そこをセンサネットシステムの実験場として、野菜の育成状況を温度、湿度や照度と植物工場の稼働に必要な消費エネルギーを現状のネットワークシステムとセンサ群を多数配置し、きめ細かなセンシングネットワークを試作・検証することにより、省資源、高効率生産に最も適したセンサネットワークシステムを検証。

4）高機能センサモジュール技術開発

自立型ワイヤレスMEMSセンサ端末に関し、モジュール試作及び想定モジュールのプラットフォームを検討。センサ（温度、湿度、圧力、加速度など）の追加、差し替え可能なプラットフォームモジュールに関する課題を明確化。さらに、自立型ワイヤレスMEMSセンサに必要なセンサ処理LSIの低消費電力化の検討と試作を実施。

研究開発の具体的内容

② 低環境負荷型プロセス技術開発

1）低環境負荷ポリマー・MEMS融合プロセス技術開発

従来のシリコンを中心とする無機ドライ材料に加え、有機材料の持つ特異な機能を活かす融合プロセスに関して、特にアクチュエータMEMSの性能予測が可能なシミュレーション技術及びナノインプリントによる製造プロセスの開発を実施。

2）スマートプロトタイピング技術開発

新設した8インチMEMSプロセスライン活用のためにプロセス条件の確立、レシピの整備等、プロセスプラットフォームの構築が重要。特に、BEANSの実証及び集積化MEMSセンサデバイスの試作が可能となるよう、以下の開発課題を実施。

①シリコンベースセンサTEGの試作

②BEANSを適用したデバイスの作製

（ｉ）中性粒子ビームエッチングのデバイス性能向上実証

（ii）マルチプローブの特性ばらつきの抑制、先端部サブミクロンサイズの試作、形状・特性のばらつき評価

③欠陥・ばらつき評価におけるモデリング・計測技術の開発

3）低環境負荷型深堀エッチング技術開発

シリコン深堀エッチングにおける低環境負荷化への取り組みとして、SF6排出量90%削減に向けた代替ガスの選定指針の検討、リアルタイムモニタリングによるエッチングの高効率化、フィードバック制御手法を用いたエッチング最適化を検討。

4）低環境負荷型集積化プロセス基盤技術開発

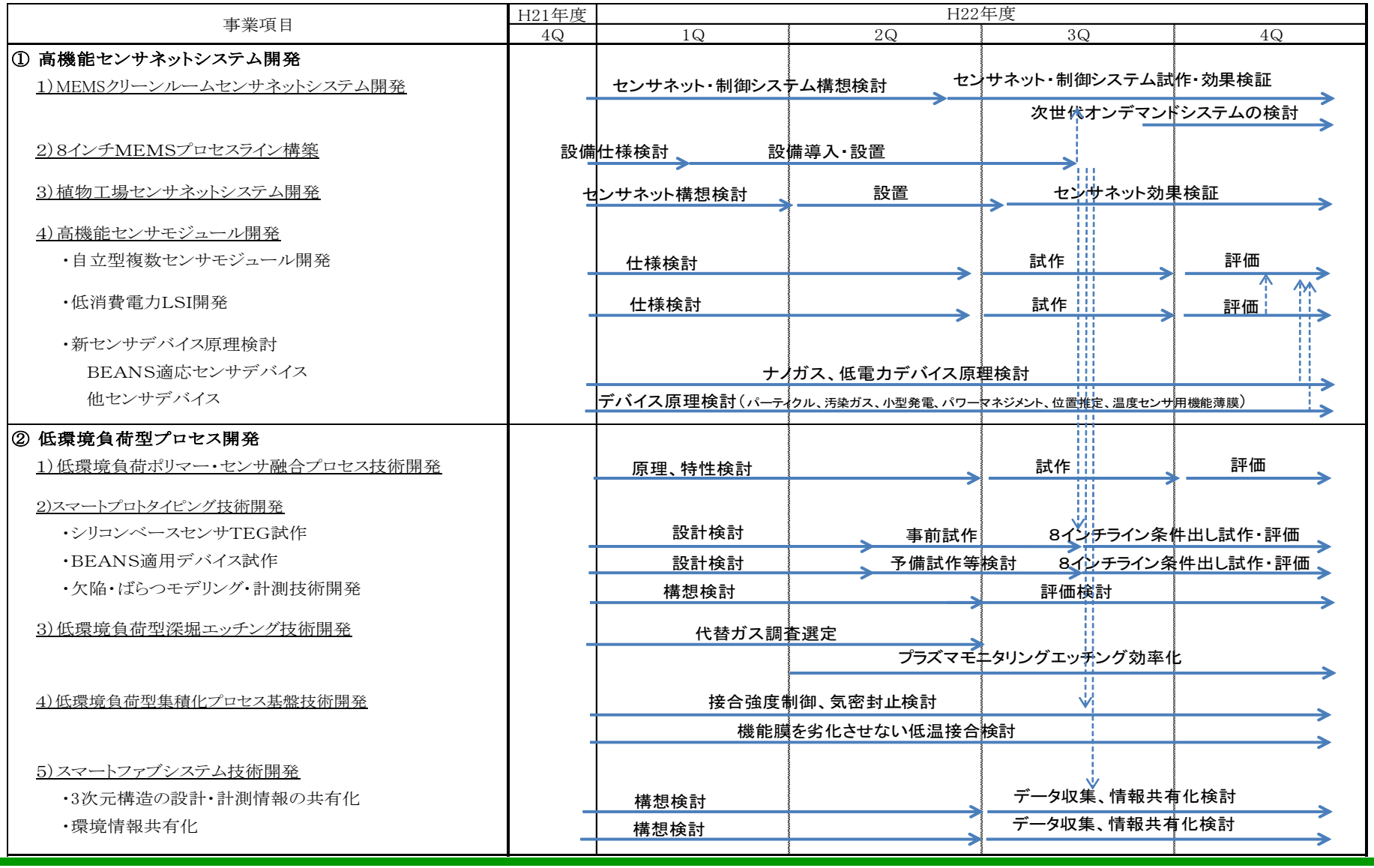
MEMS集積化に不可欠なチップ、ウェハ接合技術の低環境負荷化として、250℃以下の低温接合を基本として、一括集積化のための強度の仮接合技術に関して、表面粗さ、表面改質、本接合における機能膜の活用などについて検討。

5）スマートファブシステム技術開発

①3次元設計・計測情報をMEMS統合設計データベース、MEMSONE等の設計ツール等と連携して活用するための情報共有化フレームワークの要求仕様を作成。

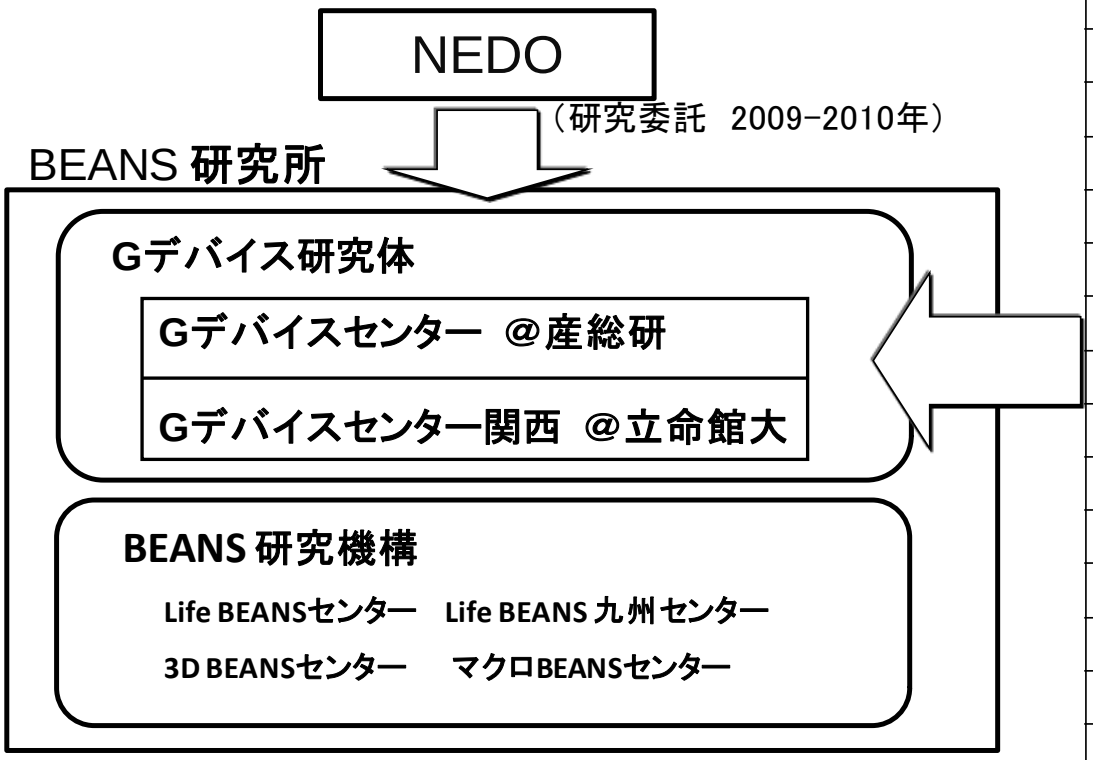
②環境負荷データ共有化データベース基盤の構築、MEMS製造プロセスに用いられる主要な原材料と作製されたセンサTEGの環境負荷算出に必要なデータを収集。

研究開発計画


事業項目
H21年度
4Q
H22年度
1Q
2Q
3Q
4Q
① 高機能センサネットシステム開発
1）MEMSクリーンルームセンサネットシステム開発
センサネット・制御システム構想検討
センサネット・制御システム試作・効果検証
次世代オンデマンドシステムの検討
2）8インチMEMSプロセスライン構築
設備仕様検討
設備導入・設置
3）植物工場センサネットシステム開発
センサネット構想検討
設置
センサネット効果検証
4）高機能センサモジュール開発
・自立型複数センサモジュール開発
仕様検討
試作
評価
・低消費電力LSI開発
仕様検討
試作
評価
・新センサデバイス原理検討
BEANS適応センサデバイス
他センサデバイス
ナノガス、低電力デバイス原理検討
デバイス原理検討（パーティクル、汚染ガス、小型発電、パワーマネジメント、位置推定、温度センサ用機能薄膜）
② 低環境負荷型プロセス開発
1）低環境負荷ポリマー・センサ融合プロセス技術開発
原理、特性検討
試作
評価
2)スマートプロトタイピング技術開発
・シリコンベースセンサTEG試作
・BEANS適用デバイス試作
・欠陥・ばらつモデリング・計測技術開発
設計検討
事前試作
8インチライン条件出し試作・評価
設計検討
予備試作等検討
8インチライン条件出し試作・評価
構想検討
評価検討
3）低環境負荷型深堀エッチング技術開発
代替ガス調査選定
プラズマモニタリングエッチング効率化
4）低環境負荷型集積化プロセス基盤技術開発
接合強度制御、気密封止検討
機能膜を劣化させない低温接合検討
5）スマートファブシステム技術開発
・3次元構造の設計・計測情報の共有化
・環境情報共有化
構想検討
構想検討
データ収集、情報共有化検討
データ収集、情報共有化検討

推進体制

Gデバイスは、BEANSの下に追加実施されたものであり、
BEANSの推進体制の中で取り組んだ。

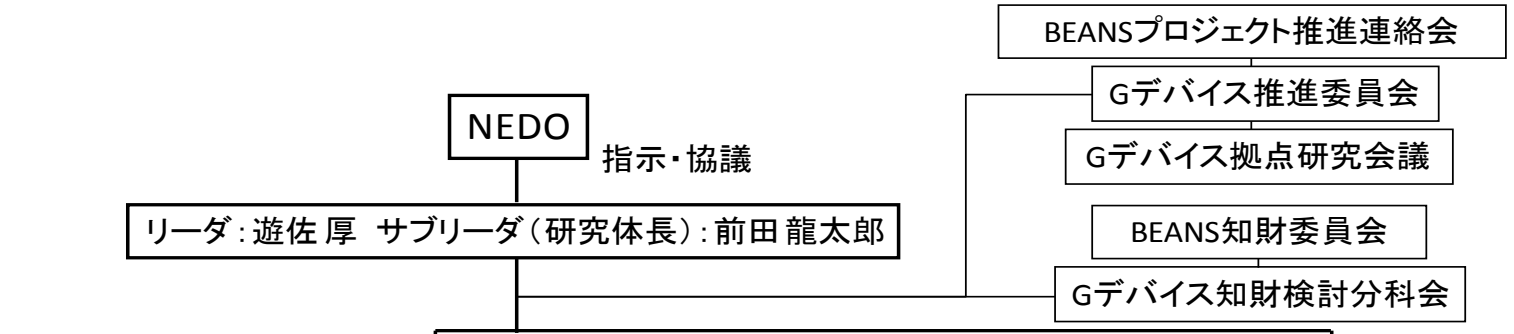


参加メンバー（組合員）

オリンパス
オムロン
デンソー
三菱電機
大日本印刷
パナソニック電工
日立製作所
日立ハイテクノロジーズ
日立プラントテクノロジー
東　芝
富士電機システムズ
セーコーインスツル
アルバック
みずほ情報総研
堀場製作所
産業技術総合研究所
立命館大学
マイクロマシンセンター

研究体制

研究体長をサポートし、効果的な開発推進および開発進捗を管理



Gデバイスセンター

センター長：伊藤寿浩、担当副所長：小池智之

1 センサネットワークシステム開発
- **実験場MEMSライン**（MMC/DNP/日立/日立HT/パナソニック電工/三菱電機/AIST）
- **ネットワークシステム試作**（MMC/日立プラント（MEMSライン）、日立（植物工場））
- **センサネットモジュール用信号処理IC検討**（日立）
- **新センサデバイス原理**（パーティクルセンサ：BEANS/SII、起動デバイス：SII、ガスセンサA：富士電機、発電デバイス：BEANS/オムロン、低消費電力デバイス：オムロン）

2 低環境負荷プロセス
- **スマートプロトタイピング**（BEANS/MMC/東芝/DNP/パナソニック電工/みずほ情報総研）
- **深掘りエッチング**（デンソー、アルバック、みずほ情報総研）
- **集積化プロセス**（三菱電機）
- **スマートファブシステム**（みずほ情報総研/MMC）

実施場所：独立行政法人産業技術総合研究所

Gデバイスセンター関西

センター長：杉山進、担当副所長：荒川雅夫

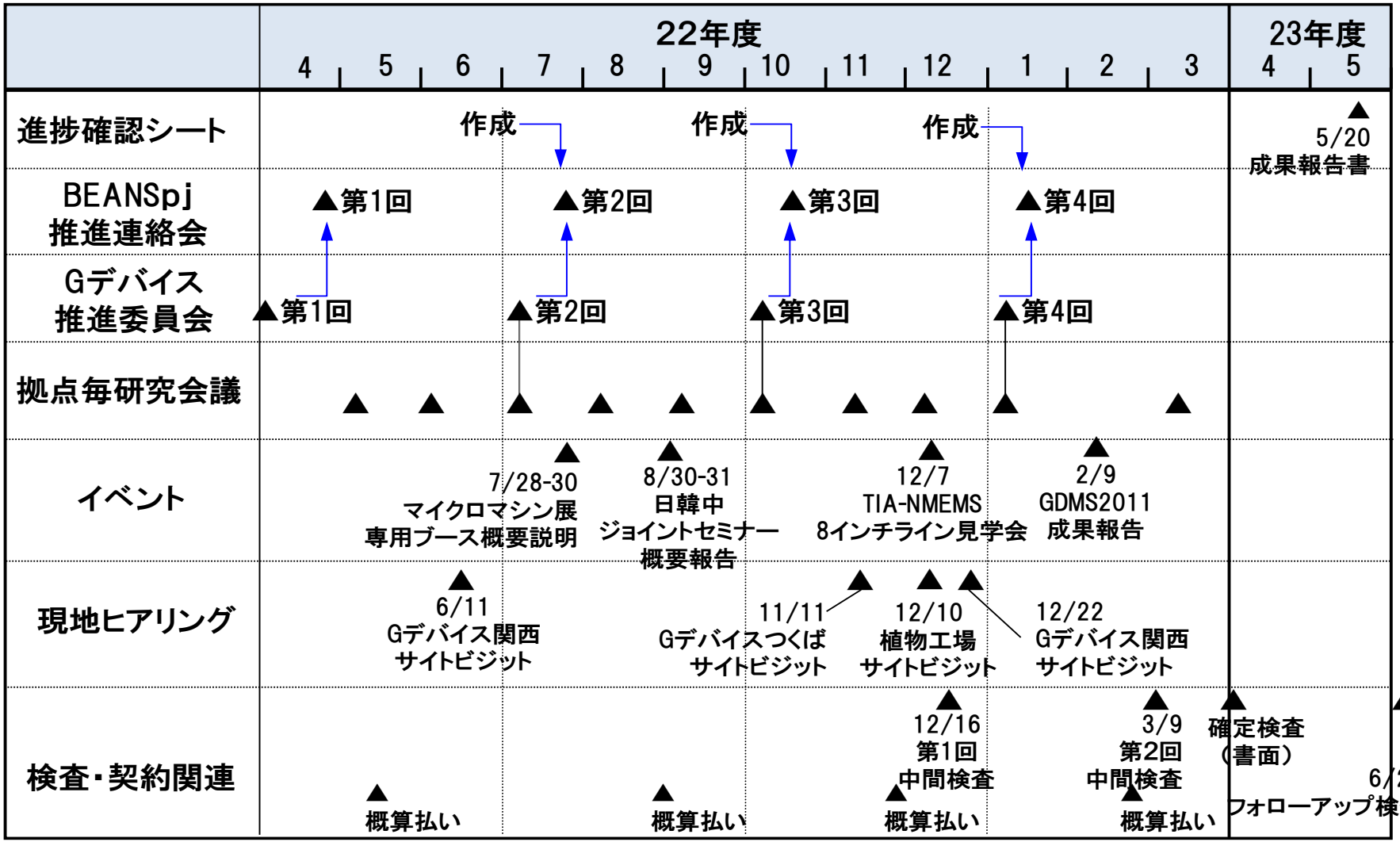
1 センサネットワークシステム開発
- **センサネット制御システム設計、検討**（オムロン）
- **センサネットモジュールプラットフォーム開発**（オムロン/立命館大）
- **新センサデバイス原理**（ガスセンサB：堀場製作所/立命館大、人感センサ：パナソニック電工）

2 低環境負荷プロセス
- **ポリマーMEMS**（オリンパス/立命館大）

実施場所：学校法人立命館大学

プロジェクトの運営管理（スケジュール）

Gデバイス　マネジメント関連スケジュール



プロジェクト運営管理(委員会・会議等)

プロジェクトを円滑に推進するために、各種委員会・会議等を設置し適切な運営を実施

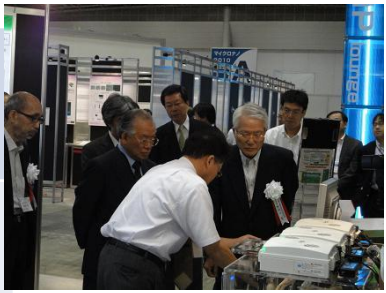
委員会・会議等	目的・内容	開催実績
Gデバイス推進委員会	研究体長をサポートし効果的な開発推進および開発進捗を管理するために、開発に参加する企業や大学研究者と研究員との緊密な連携を取りながら効果的に成果が得られるよう、BEANSプロジェクト推進連絡会の下に設置したGデバイス推進委員会を四半期に一度実施。委員会の委員は、組合員企業と大学の有識者から21名で構成。	4回
Gデバイス研究会議	研究拠点として、Gデバイスセンター(産総研つくば東事業所内)とGデバイスセンター関西(立命館大学びわこ草津キャンパス内)を設け、Gデバイスの研究会議を実施。研究会議は、短期集中で目的の成果を得るための取り組みについて、毎月初めに、研究体長と各センター長の出席により、研究開発の進捗状況、優先順位の判断、アドバイス等をタイムリーに行う狙いで開催。	各9回(うち合同研究会議3回)
Gデバイス知財検討分科会	本研究開発課題に新規参画した企業メンバーを主に想定し、本体プロジェクト(BEANS)の知財規程の周知徹底を図るために、BEANS知財委員会の下にGデバイス知財検討分科会を設置して実施。分科会メンバーは組合員企業の知財部門等から18名で構成。	1回

プロジェクト運営管理（普及活動）

約一年間という短期間の研究開発の中、前半は取り組み概要を広く周知することを目的に普及活動を実施。後半は8インチMEMSプロセスラインの完成を機に関係者から見学会を実施、また2月に国際ワークショップを開催しその研究成果を広く公開。

1）マイクロマシン・MEMS展への取り組み概要展示

国内イベントの中で、MEMS関連企業、研究者が最も多く集まる本展示会が7月28日～30日、東京ビッグサイトで開催され、プロジェクトの取り組みを説明。



2）The 1st Japan-Korea-China Joit Seminar on MEMS/NEMS for Green and Life Innovationへの展示

グリーンイノベーション、ライフイノベーションに貢献するマイクロナノ技術をテーマとする日韓中セミナーが、平成22年8月30日～31日、札幌コンベンションセンターで開催。日韓中の関係する先端研究者に取り組みをアピールするため、ポスターセッションにて展示を実施。

3）8インチMEMSプロセスライン見学会

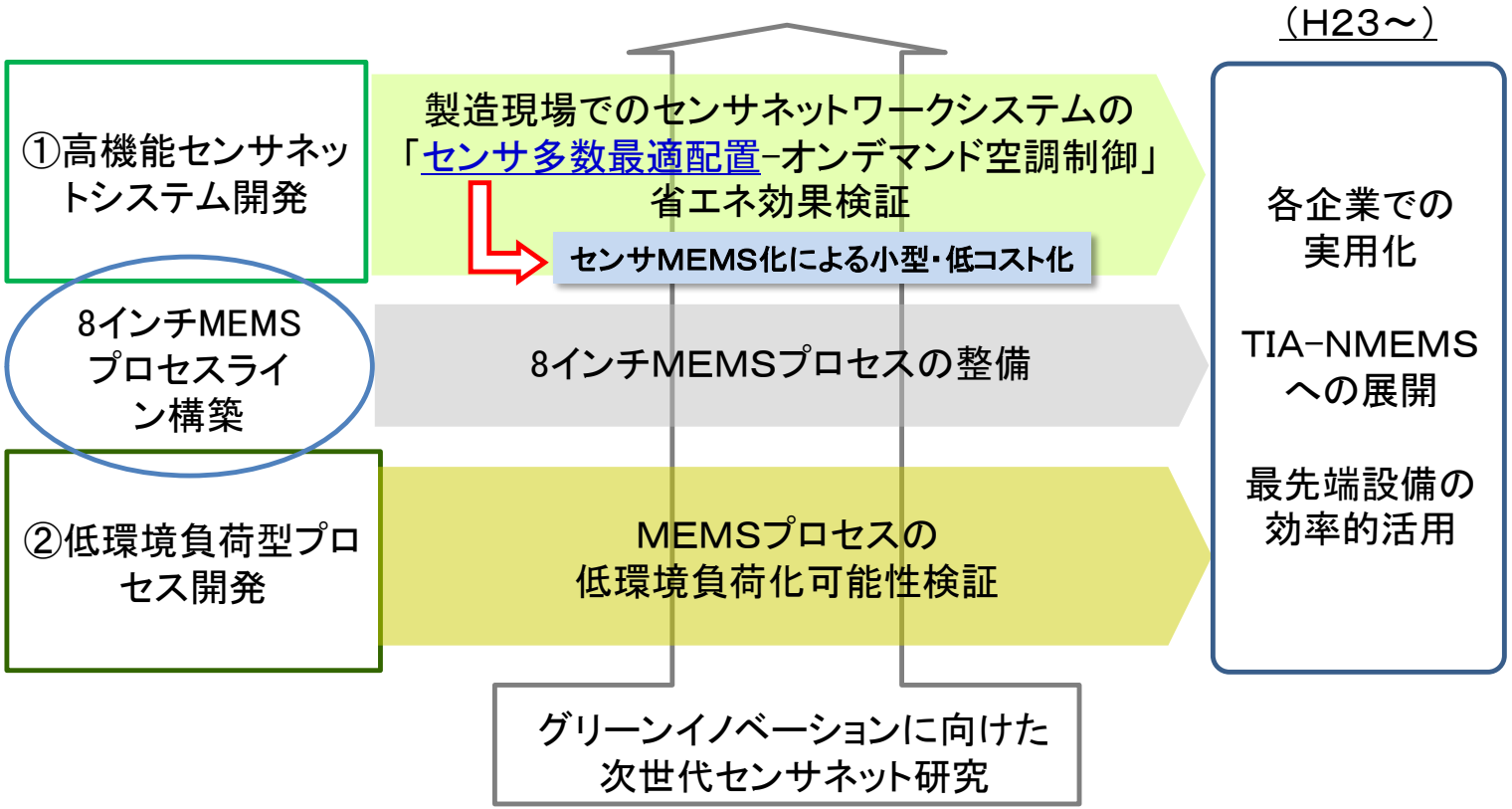
12月7日に開催されたつくばイノベーションアリーナNMEMSの関係者が集うワーキンググループ(TIAーNMEMS WG)で、ほぼ完成した8インチMEMSプロセスラインの見学会を実施。

4）International Workshop on Green Devices and Micro Systems (GDMS2011)開催

3月の事業終了前に、成果について国内外に報告するため、本国際会議を平成23年2月9日（水）に産業技術総合研究所つくば中央共用講堂で開催。

環境利用エネルギーハーベスティングやRFMEMSの研究で著名なProf. Stepan Lucyszyn、商業店舗などのエネルギーマネジメントに関する研究で著名な東大藤本教授の招待講演を実施。その後、二つの研究拠点Gデバイスセンター長が両拠点での取組みや成果の概要について報告、ポスターセッションでのテーマごとの報告、及び代表的テーマのオーラルセッションを実施。最先端8インチMEMSライン見学につては、3回に分けて実施し、すべて、定員一杯で事前登録で締め切るほどの盛況。

研究開発の成果展開・実用化

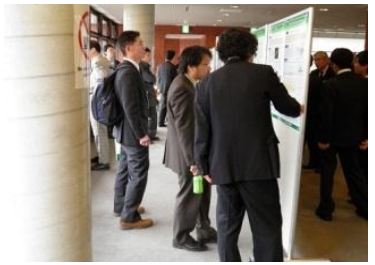


Gデバイスの成果を踏まえて、参加企業での実用に対する取り組み及び、つくばイノベーションアリーナ（TIA−NMEMS）への展開について、実施内容を検討。
TIA−NMEMSの本格的な研究開発試作拠点形成に向け8インチMEMSラインに配置した国内有数な装置などの見学会を開催し、我が国関連産業にいち早く周知されるような取り組みを実施。

情勢変化への対応

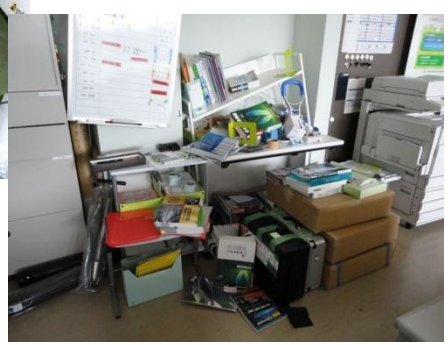
Gデバイスは、平成21年度補正予算（第2号）により措置され、緊急に実施した事業であり、更に1年間の短期間であったため、その成果を効率的に出すべく、前述の通り推進委員会や研究会、積極的な普及広報活動を通じてきめ細かいマネジメントを行い対応した。

International Workshop on Green Devices and Micro Systems (GDMS2011)開催



GDMS2011会場風景

また、プロジェクト期間中に発生した東日本大震災の影響で産業技術総合研究所つくば東事業所の被災とGデバイスセンターの機能が一時停止したが、Webによる掲示板等で被害・復旧状況等を関係者と情報共有するなど、遅滞なく研究開発の成果取り纏め、予定通り事業を完了した。



全体の研究開発の目標と成果

研究課題	目　　標	成　　果	
高機能センサネットシステム開発	①製造現場としてMEMSクリーンルームにセンサネットシステム・空調制御でCO2削減60%('90年比) ②上記検証用クリーンルームと大口径MEMSプロセスラインを構築 ③製造現場としてセンサネット適用の植物工場を構築し省エネ効果20% ④高機能MEMSセンサモジュール試作（自立型、複数センサ、30×30×10㎜）及び新センサデバイス原理を検討	達成	①8インチMEMS一貫プロセスラインの空調、ライン装置等のエネルギー見える化システムを設置。多数配置センサによるオンデマンド空調制御で、90年度施設比60%のCO2削減見込みを確保 ②8インチMEMS一貫プロセスラインの構築完。 ③植物工場に多数配置センサネットを設置し、葉物野菜、トマトなどの育成で、20%省エネ効果を検証、収率は10%向上 ④複数センサ搭載自立センサモジュール試作、小型化達成。合計8種の新センサデバイス原理の可能性を把握。
低環境負荷型プロセス開発	①ポリマMEMS基本プロセス確立とミラーデバイス基礎データ把握 ②深堀エッチング：代替ガス及びエッチング効率の最適化で温暖化ガス排出量90%削減の指針を得る ③集積化接合：部分的接合強度制御と250℃以下の気密低温接合課題抽出 ④大口径MEMSプロセスラインTEG試作を実施。3次元計測情報を設計ツールと連携するフレームワーク要求仕様作成プロセス環境負荷情報データベース基盤構築とデータ収集、欠陥ばらつきモデリング技術を確保	達成	①低環境負荷型プロセスとしてポリマーミラーデバイスの可能性についての基本プロセス、基礎データ等、方向性を確保した。 ②深堀エッチング：目標をクリアし、低環境負荷型プロセスへの指針を確保 ③集積化接合：目標をクリアし、低環境負荷型プロセスへの指針を確保 ④8インチMEMS一貫プロセスラインでの7種類のTEGを試作、プロセス条件を確保、一年間の短期の取り組みで、すぐ使える試作ラインを構築。同ラインでのプロセスを想定した、デバイス特性ばらつき、3次元設計・検査情報共有化等のフレームワーク指針を確保、設計検査の面でも基盤を構築。

高機能センサネットシステム開発　目標と成果内容、達成度

研究課題	目標	成果内容	達成度
半導体クリーンルームセンサネットシステム開発	クリーンルームでのCO2排出量削減を検討できる制御管理システムの開発を行う。 検証用クリーンルームでCO2削減(90年度比60%削減)を実証	・パーティクル量等の441点を計測評価できるエネルギーマネジメント統合管理システム(つくば産業総合研究所)を開発した。 ・塵埃負荷および熱負荷を与えた時のパーティクル量、パーティクル拡散量、温度上昇などのデータを基に1990年度比、CO2_60%削減の検証を実施した。	○
8インチラインの構築	MEMS/LSIの前工程から後工程、評価までカバーする一貫ライン、デバイス表面及び内部の形状等の評価装置の導入	MEMS/LSI前工程プロセスラインとして、ウェハ洗浄、0.35μmリソグラフィー、ウェハ熱酸化･拡散、CVD･スパッタ成膜、ウェット及びドライエッチングライン(TKB812F)と、後工程プロセス･評価ラインとして、ウェハ接合･封止、ダイシング、実装配線、デバイス表面･内部性状･電気的特性評価ライン(TKB812B)を導入し、8インチMEMSプロセスの試作検証に適用した。	○
植物工場センサネットシステムの開発	センサネットを適用した省エネ評価用植物工場を構築し、センサネットの効果及びMEMSデバイスの実用化を検討	東京農大にセンサネット植物工場の開発環境を構築した。リーフレタス、ミニトマトを栽培し、細霧冷却、補光照明、冬季暖房、土壌灌水の4つの提案方式に関して、それぞれ、エネルギー20%の削減を達成した。補光照明、冬季暖房、土壌灌水の3つの提案方式に関して、植物の収穫量10%改善を確認できた。	○

高機能センサネットシステム開発　目標と成果内容、達成度

研究課題	目標	成果内容	達成度
高機能センサモジュール技術開発			
高機能センサモジュール	・無線センサモジュール（30mmx30mmx10mm）試作開発 ・アプリケーション分野の明確化と新たなセンサネットの活用検討	・センサ機能に温度、湿度、圧力、加速度を搭載、電池、信号処理回路、無線送信回路、アンテナを実装。植物工場も含め用途に応じセンサ機能を差替え可能な30mmx30mmx10mm以内のプラットフォームモジュールを試作した。 ・半導体クリーンルーム応用に特定し、事業化課題と進め方を明確化した	○
低消費電力LSI	センサモジュールの長寿命/バッテリー交換レス化を目標に，低消費電力アナログ回路要素技術開発を行う。複数センサ信号を増幅・デジタル化するアナログフロントエンドLSIを試作、課題を抽出	アナログフロントエンド回路を低電力化するために，低電圧(1.2V)，短時間動作回路要素技術を開発。平均消費電力4μW程度（従来比60%以上削減）で動作可能あり，目標であるセンサモジュールの長寿命化の要素技術開発に成功した。	○
新センサデバイス原理検討			
ナノ構造ガスセンサ	センサ小型化及び性能検証：トレンチにSnO2粒子をポーラス状に埋め込み、センサ部の面積を1／2以下の省スペース化とセンシング感度維持を両立 粒子配列プロセスの大面積化：プロセスの大面積化に伴う課題抽出を行う。	・センサ部の面積を1／2以下の省スペース化とセンシング感度維持を両立するために、トレンチ埋め込み型ガスセンサを評価、平坦基板と比較し高濃度ガス中での感度が向上した。 ・粒子配列プロセスの大面積化の課題抽出として、4inch Si基板上へのディップコートを検討し、メニスカス先端部への微粒子供給を阻害しないような容器設計が必要こと、ウエハ表面を清浄に保つ必要があることを見出した。	○
低消費電力センサ・無線モジュールへの検討	高効率な容量型センサや高効率高周波デバイス、そしてさらなる小型化・低消費電力化に向け、デバイスの試作を通じて課題検証	超低損傷ドライエッチング技術を低消費電力センサ・無線モジュールに適応した場合の課題検証を実施。シミュレーションでは、専用設計ツールを構築し計算結果からゲート長・幅などのデバイス構造の課題を抽出。8インチファンドリ試作ではインプラ工程やCMP工程などのプロセス課題を抽出した。	○
パーティクルセンサのMEMS化	小型化、低コスト化が困難なパーティクルセンサのMEMS化を検討する	・検出方法として，光学的・電気的方法を複数検討、小型化のために新光学系を提案、パーティクル（線香の煙）を検出することができた。 ・センサの流路断面積5×5 mm2、ダウンフロー流速を0.3 m/s、対象粒径0.5 μmとし、10個のセンサで1秒間サンプリングを行うとして、JIS規格のクリーン度を見積ることができた。	○

高機能センサネットシステム開発　目標と成果内容、達成度

研究課題	目標	成果内容	達成度
汚染ガスセンサ	汚染ガス（NH3, H2S等）をppbレベルで計測するための酸化物半導体のセンサ開発	低消費電力化された高感度MEMSガスセンサを開発した。耐熱温度500℃以上で、NH3に対する検出限界を2ppb、消費電力を31mWに低減、H2Sに対する検出限界を0.02ppb、消費電力を48mWに低減を達成した。	○
振動発電を中心とした小型高効率発電デバイス	垂直エレクトレットの新しい高速荷電方法の開発を目指すとともに、小型化に有利な櫛歯型エレクトレット発電器の原理検証を行う	真空紫外線による電離を用いた荷電法を開発し，コロナ荷電，軟X線荷電よりも極めて高速に荷電できることを明らかにし、当初目標を達成した。また、原理検証として、櫛歯状の垂直エレクトレットへの真空紫外線荷電の検証と1uWオーダーの発電が可能であることを示した。	○
センサ用パワーマネジメントデバイス	センサーネットワーク端末の電力削減のため起動スイッチの原理検証と通信方式の検証する	ゾルゲルPZTと流路形状デバイスにより発電型の低消費電力起動スイッチの可能性を得た。 起動スイッチ向け無線として起動スイッチを用いた場合の通信シーケンスチャート、データフォーマット、通信タイミングチャートを策定。消費電力推定の基礎データを取得。	○
位置推定センシング原理	作業者の位置推定の原理開発を行う	ワイヤレス給電型慣性センサとRFIDを組合せた無線方式センサモジュールで作業者位置をリアルタイム計測し、RFIDタグ検出時の位置補正、サーバには作業者位置表示・タグ位置設定・履歴表示・シミュレーション機能を具備した作業者位置追跡システムを開発した。	○
高感度温度センシング用機能薄膜	環境に優しい非鉛系強誘電体材料におけるセンサとしてのデバイス原理開発	非鉛系強誘電体材料BaTiO3薄膜をスパッタ法で形成し、焦電係数は10～20pC/N、圧電定数は10pC/(cm2)を達成し、センサとして十分な性能を得た。	○

低環境負荷型プロセス技術開発　目標と成果内容、達成度

研究課題	目標	成果内容	達成度
低環境負荷ポリマー・MEMS融合プロセス技術開発	・ポリマーデバイス作製プロセス：電鋳成型金型の基本プロセスの確立 ・アクチュエータMEMS(ミラーデバイス)を2回製作し、駆動電圧、ミラー部反射率、ミラー部表面粗さの特性を評し、生体適合性への課題を抽出	PMMAポリマー材料による静電型ミラーデバイスを電鋳成型金型によるプロセスにて開発した。試作（2回）及び特性評価した結果、生体適合性に問題ないことを確認した。	○
スマートプロトタイピング技術開発			
シリコンベースセンサTEGの試作	・シリコンベースセンサTEGの試作に向けて、各プロセス（成膜・リソグラフィ・エッチング・洗浄）装置の要素技術を開発 8インチラインを用いて試作を行い、ラインの特性ならびに製造環境を評価し、MEMSデバイス製造の基盤を構築	・8インチウエハによる酸化膜、SiN、i線露光、Si異方性エッチング、Si-DRIE 、メタルドライエッチング、犠牲層ドライエッチングの条件出し、応力解析、断面形状、寸法評価、ウエハ面内均一性を評価し、さらに5種類のセンサTEGの試作とそのセンサの特性評価により、8インチ試作に適用できるプロセスプラットフォームの構築を完了した。同時に8インチプロセス装置、計測装置のレシピの蓄積を行った。	○
中性粒子ビームエッチングのデバイス性能向上実証	中性粒子ビームエッチングの大口径(8インチ)化によるウエハ内の特性ばらつきをセンサTEGの試作により評価	8インチウェハ面内に作製したカンチレバーに中性粒子ビームエッチングを行ない、カンチレバーの共振周波数とQ値の初期特性を計測し、ウエハの表面状態が回復すること、100nmエッチング行ったところで特性のサチュレーションが確認でき、中性粒子ビームエッチング装置開発に重要な指針となるデータを取得できた。	○

低環境負荷型プロセス技術開発　目標と成果内容、達成度

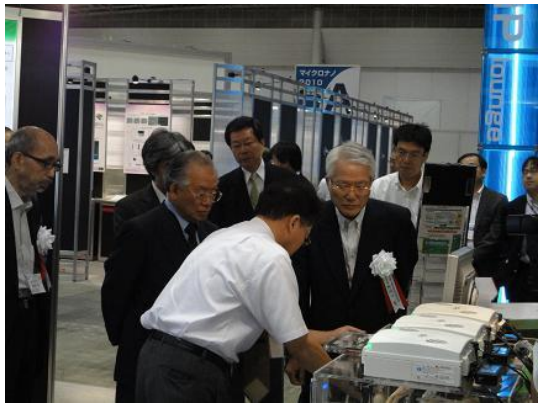
研究課題	目標	成果内容	達成度
μプローブTEGの設計・試作	先端部の有効径・幅がサブミクロンであるマルチプローブアレイを8インチウエハで試作し、ウエハ内、及びロット間の形状・特性のバラツキを、マルチプローブ評価装置を用いて評価する。さらに、8インチラインの検査デバイスとして適用できるかの可能性を検討	マルチプローブ評価装置を用いた評価手法として、局所陽極酸化(LAO)法による描画、光てこを用いた直接高さ測定、プローブ先端接触電流値のリアルタイム計測の3つの手法を提案し、電流値リアルタイム計測法が最も直接的かつ容易にデバイスの特性ばらつき計測や不良スクリーニングできることを見出した。 上記計測法で8インチラインで試作したデバイスの、ロット間、ウェハ内形状ばらつきを評価、顕著な形状ばらつきは見られなかったものの、ロット間電極配線形成プロセスの品質差を把握、本デバイスを用いた手法が、最先8インチライン検査デバイスとして適用し得る可能性を示した。	○
欠陥・ばらつき評価におけるモデリング・計測技術開発	ばらつき評価に有効なセンサTEGを設計・試作、最終パッケージ（真空中）やテスト（外力印加）段階と同様の擬似環境下でウエハ内の電気的・機械的特性計測技術及び解析結果を基に構造依存のばらつき特性近似モデリング技術を開発	8インチウエハに作製した複数デバイスについて、真空中・大気中で電気的・機械的計測を行い、それぞれのMEMS等価回路モデルパラメータを算出した。算出した等価回路モデルパラメータのばらつきより構造寸法のばらつき評価を行い、等価回路モデルパラメータのばらつきから構造寸法のばらつきが正しく評価できることを確認した。	○

低環境負荷型プロセス技術開発　目標と成果内容、達成度

研究課題	目標	成果内容	達成度
低環境負荷型深堀りエッチング技術開発	低環境負荷代替ガスの探索を少なくとも3種類以上のガスについて行い、エッチング効率化/最適化と組み合わせ、SF6ガスに対し温暖化ガス排出量を90%以上削減可能とする最適代替ガスの選定指針を得る。	F2, BF3, SiF4など5種類の候補ガスについて、10Hz周期の高速リアルタイム･プラズマ発光モニタリングにより得られた高効率エッチングレシピとプロセスシミュレーションによるフィードバック制御の組合せにより、温暖化ガス排出量をSF6比で90%削減できる低環境負荷代替ガス選定指針を得た。	○
低環境負荷型集積化プロセス 基盤技術開発	(1)ウェハとデバイスチップ仮接合強度を、正規接合強度の1/10以下に安定制御する集積化プロセスを開発。 (2)可動部固着防止用機能膜の特性が劣化しない250℃以下の低温接合技術実現に向け、接合面に付着した機能膜の影響を把握し、機能膜の部分的除去方法確立に向けた課題を抽出	合面の表面粗さと面積の制御、環状くり抜きパターンの選定により、正規の接合強度の1/10以下に安定して制御できることが判った。 機能膜として、SAM膜(自己組織化単分子膜、FDTS膜)はUV光、プラズマ照射で除去可能であり、除去後の250℃表面活性化接合で十分な気密封止が得られること、パターニング方法としては、N2、あるいはArプラズマ照射が適していることが判った。	○
スマートファブシステム技術開発	(1) 3次元設計･計測情報を、MEMS統合設計データベース、MemsONE等の設計ツール等と連携して活用するための情報共有化フレームワークの要求仕様を作成 (2) 環境負荷データを情報共有化するためのデータベースの基盤を構築し、センサTEGの製造時における環境負荷を算出するのに必要なデータを収集･登録	(1)X線CT装置により3次元構造計測を行い、得られた構造から設計時の形状や力学特性の比較を行った。機械特性、電気特性の計測データと設計形状とを、集中質点系モデルを介在させて比較する手法を検討した。併せて、情報共有のためのデータベースシステムの設計･プロトタイプ開発を行い情報共有化フレームワークの要求仕様をまとめた。 (2)30種類のMEMSデバイス用原材料と最先端8インチライン(TKB812)にて試作されたセンサTEG構造体の製造工程についてCO2排出に寄与する項目をデータ収集し、それらを積算することで排出量を算定した。算定の結果により、装置･工程･項目に対する排出量の削減への指針を得た。	○

研究開発の全体成果まとめ

- 短期間での8インチラインの導入整備とグリーンセンサネットの実証
- Beansプロジェクト等の基礎研究の量産実証
- 国際会議創設や展示会等での世界に先駆けたグリーンイニシャティブ情報発信



2010マイクロマシン・MEMS展（東京ビッグサイト）での概要展示

8インチMEMSプロセスライン見学会

GDMS2011会場風景

特許出願

番号	出願者	出願番号	出願日	名称	発明者	所属
1	みずほ情報総研	特願 2011-044058	2011/3/1	素子解析システム、素子解析方法及び素子解析プログラム	藤原信代 浅海和雄 橋口原	みずほ情報総 みずほ情報総
2	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054222	2011/3/11	パーティクルカウンタ	桑名健太 磯崎瑛宏 富松　大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
3	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054223	2011/3/11	粒子検出器	桑名健太 磯崎瑛宏 富松　大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
4	セイコーインスツル 産業技術総合研究所	特願 2011-054224	2011/3/11	マイクロ構造の製造方法、マイクロ構造体、受光素子及び粒子検出器	桑名健太 磯崎瑛宏 富松　大 新荻正隆 伊藤寿浩	BEANS研究所 BEANS研究所 BEANS研究所 セイコーインスツル 産業技術総合研究所
5	アルバック	特願 2011-95426	2011/4/21	ドライエッチング法及び装置	森川泰宏 村山貴英	アルバック

他三件出願手続き中

研究発表・講演

1）M. Honzumi1 at al., “High-Speed Electret Charging Method Using Vacuum UV Irradiation”, Power MEMS 2010, pp173-176.

2）K. Yamashita at al. “Vibration-driven MEMS energy harvester with vertical electrets”, Power MEMS 2010, pp165-168.

3) 植木 真治他、「ゲート・チャネル間電気機械相互作用を考慮した Vibrating-Body Field Effect Transistorのモデリング」日本機械学会第2回マイクロ・ナノ工学シンポジム2011、くにびきメッセ（島根）

4) 阿波嵜　実他、「金属酸化物微粒子の自己整列構造を用いたガスセンサ」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会

5) 磯崎瑛宏他、「パーティクルセンサの小型化に関する研究」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会（東洋大学）

6) 藤原信代他、「MEMS等価回路ジェネレータによる特性ばらつき解析」、平成23年電気学会全国大会

7) 石垣彰一、他、「X線CT装置計測を用いたMEMSリバースエンジニアリング 第1報 試作サンプルによる計測実験とデータ解析例」、精密工学会2011年度春季大会学術講演会

8) 谷村　他、「デバイス製造プロセス改善のためのMEMSリバースエンジニアリング」2011年日本非破壊検査協会春季講演大会

9）M. Honzumi1 at al., “High-speed electret charging using vacuum UV photoionization”, Appl. Phys. Lett. 98, 052901 (2011)

10) T. Fujimori at al., “Low Power Analog to Digital Convertor with Digital Calibration for Sensor　Network “, SYMPOSIUM on Design, Test, Integration & Packaging of MEMS/MOEMS, Aix-en-Provence, France, 11-13 May 2011

11) M. Abasaki at al., “Large surface area 3D self assembled nano- porous structure for　high sensitivity gas-sensing”, Transducers’11 conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.

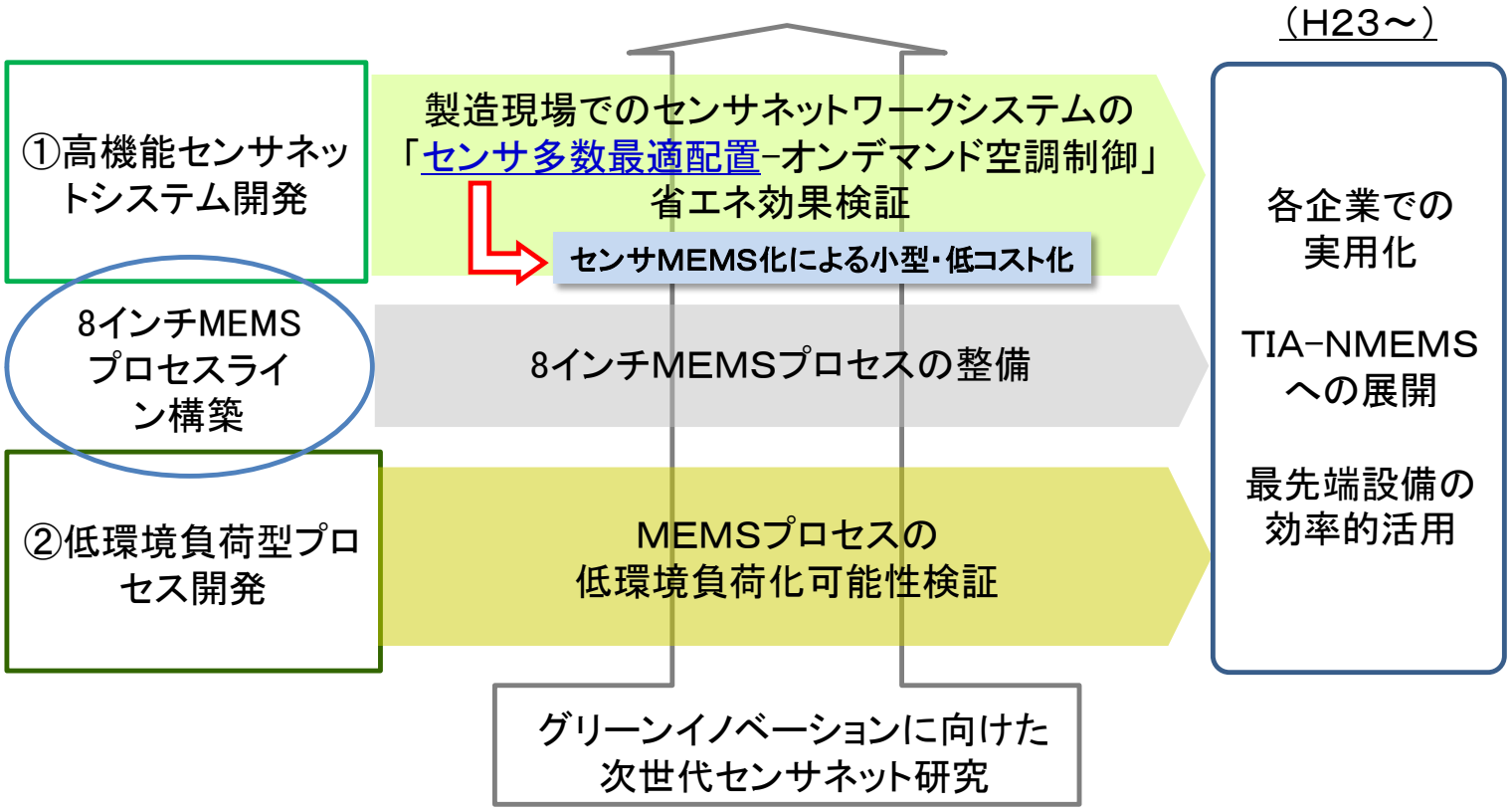
12) A. Isozaki at al., “Photodiode with Micro Texture for Improving Sensitivity at Large Angle of Incidence for Particle Sensors”, Transducers’11 conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.

13) K. Yamashita at al., “Vibration-driven MEMS Energy Harvester with Vacuum UV-Charged Vertical Electrets”, Transducers’11conference, June 5-9, 2011, Beijing, China.

14) T. Matsushita, et.al., “Piezoelectric energy harvesters of PZT films deposited on Ti cantilevers”, PowerMEMS2011 (IEEE)

15) A. Shibuya, et.al., “Developmennt　of　a Minituarized NO2 Gas Sensor Based on　Nanoparticles WO3 Thin film on Interdigitated Electrodes”, IEEE　Sensors　2010

全体の実用化の方向性



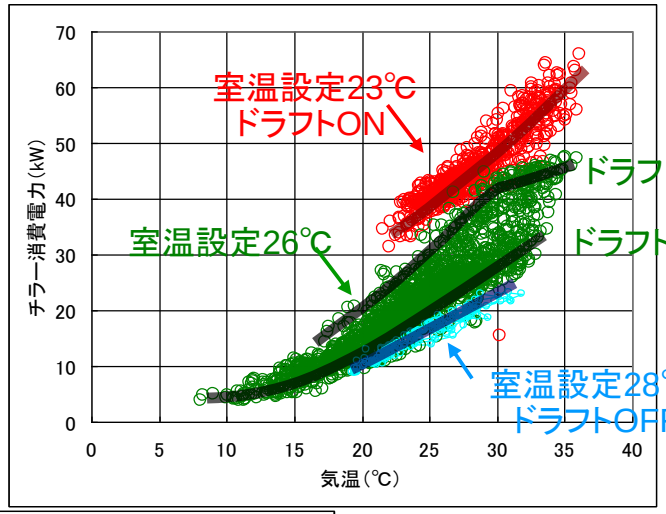
- ポスト3．11への対応（クリーンルーム、植物工場から、オフィス、家庭へ）
- システム、デバイスや装置、プロセスの企業での実用化
- 8インチMEMSラインの産業界への有効活用（Commercialization Gap克服）

全体の実用化の見込み

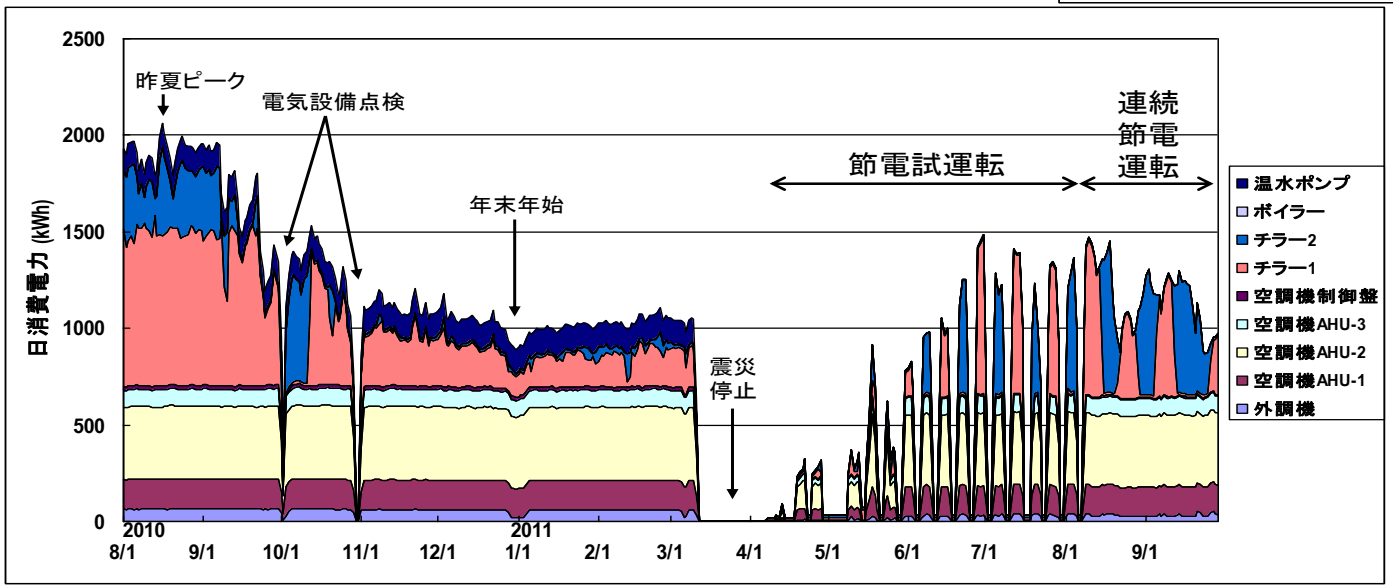
研究課題	成　果	実用化の見込み
高機能センサネットシステム開発	①8インチMEMS一貫プロセスラインの空調、ライン装置等のエネルギー見える化システムを設置。多数配置センサによるオンデマンド空調制御で、90年度施設比60%のCO2削減見込みを確保。 ②8インチMEMS一貫プロセスラインの構築完。 ③植物工場に多数配置センサネットを設置し、葉物野菜、トマトなどの育成で、20%省エネ効果を検証、収率は10%向上。 ④複数センサ搭載自立センサモジュール試作、小型化達成。合計8種の新センサデバイス原理の可能性を把握。	①多数配置センサによるオンデマンド空調制御システムの事業化を、半導体クリーンルームで積極的に展開する（オムロン）。 ②8インチラインはTIA-NMEMSの基幹設備として、活用する。活用主体は、MMCに新設されたMNOICとなる見込み。 ③植物工場のセンサネットワークシステムは、検証した4方式を実際の民間植物工場の実態に合わせて適用する等、実用化を進める（日立）。 ④自立センサモジュールや低消費電力LSI技術、新センサデバイス原理検討から、継続 して各社で数年後の実用化を目指す。（オムロン、日立、パナソニック電工、SII、堀場、富士電機）
低環境負荷型プロセス開発	①深堀エッチング：目標をクリアし、低環境負荷型プロセスへの指針を確保。 ②集積化接合：目標をクリアし、低環境負荷型プロセスへの指針を確保。 ③8インチMEMS一貫プロセスラインでの7種類のTEGを試作、プロセス条件を確保、一年間の短期の取り組みで、すぐ使える試作ラインを構築。同ラインでのプロセスを想定した、デバイス特性ばらつき、3次元設計・検査情報共有化等のフレームワーク指針を確保、設計検査でも基盤を構築。 ④低環境負荷型プロセスとしてポリマーミラーデバイスの可能性についての基本プロセス、基礎データ等、方向性を確保。	①深堀エッチング：高集積センサやプロセス装置への実用化に取組む（デンソー、アルバック）。 ②集積化接合技術：高集積センサ等へ4年後の実用化を目指す（三菱電機）。 ③TIA-NMEMSの8インチMEMS一貫ラインでのTEGレシピやプロセス条件として活用。活用主体はMMCに新設されたMNOICとなる見込み。3次元キャラクタリゼーションの提供サービスを本年度実用化見込み（みずほ情報総研）。 ④ポリマーMEMS技術は、低環境負荷プロセスとして検討を継続。さらにVOC濃度センサとして病院施設等や、医療応用匂いセンサの実用化を目指す（オリンパス）。

ポスト3.11への対応（クリーンルーム、植物工場から、オフィス、家庭へ）

- 3月11日以降の情勢への対応
  - 機器の省エネと群マネージメント
- センサネットのさらなる適用拡大
  - コスト、メンテナンスと取付容易性



ピーク電力約30%削減を実施

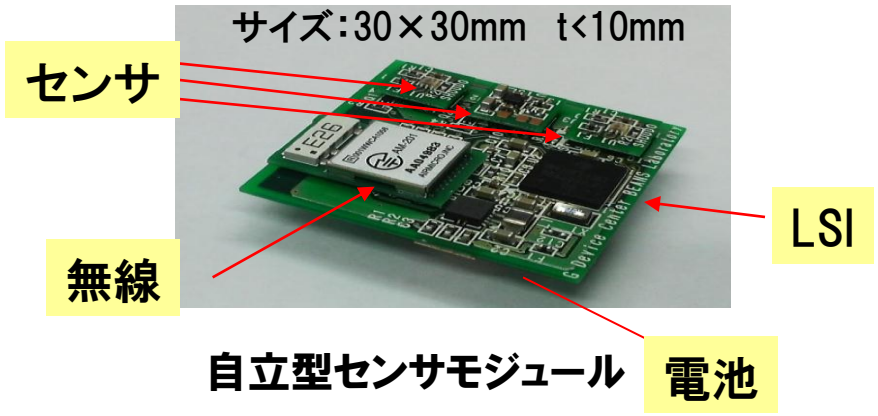


震災前後の空調消費電力比較

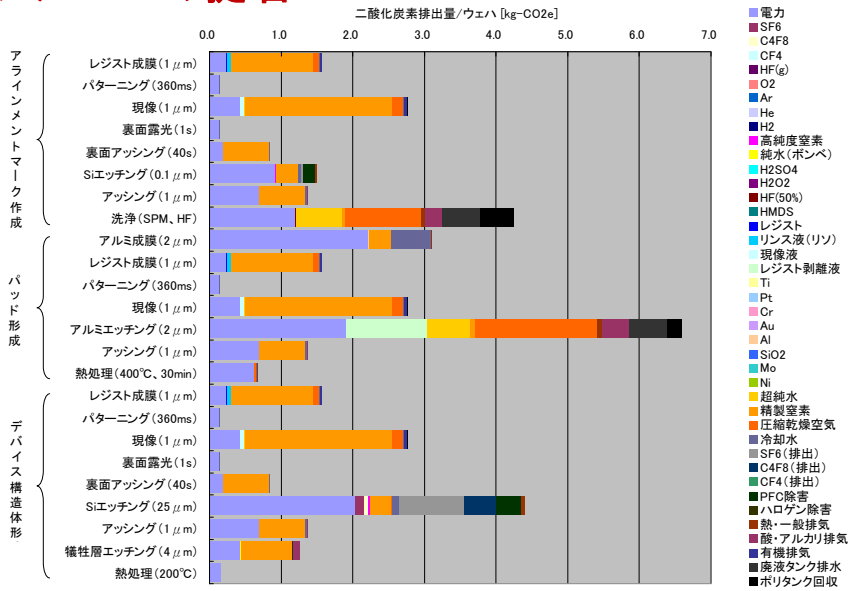
システム、デバイスや装置、プロセスの企業での実用化

システム

・見える化によるCR電力削減とオンデマンドクリーンルームの提唱
・環境負荷の見える化
・植物工場への展開



自立型センサモジュール



センサTEG（ウエハ1枚あたり）の製造工程ごとの二酸化炭素排出量算出（41.6kg-CO2e）

デバイス

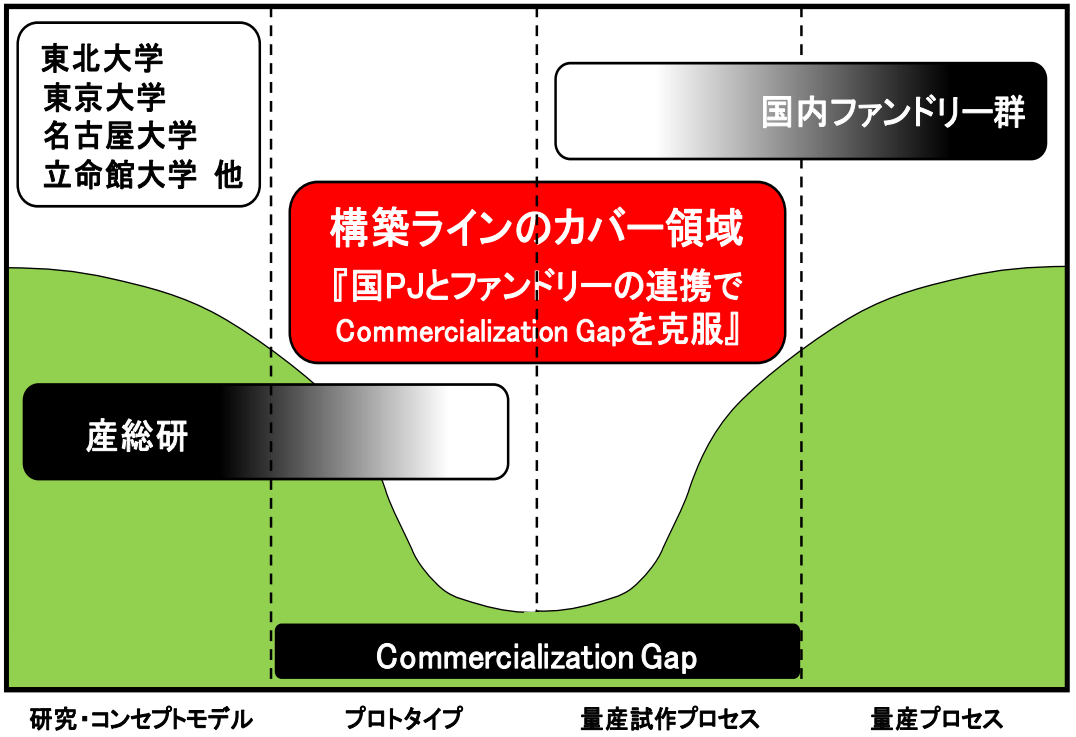
・自立型センサモジュール
・プラットフォーム　省エネLSI
・量産センサの作成
ガスセンサ　、パーティクルセンサ 、人感センサ

低環境プロセス

・DRIE代替ガス　デンソー

波及効果：8インチラインの有効活用

・最先端レベル8-12インチ対応
・エネルギー見える化・グリーン製造
・プロトタイピングから、小規模量産まで
　⇒ “Commercialization Gap” 克服



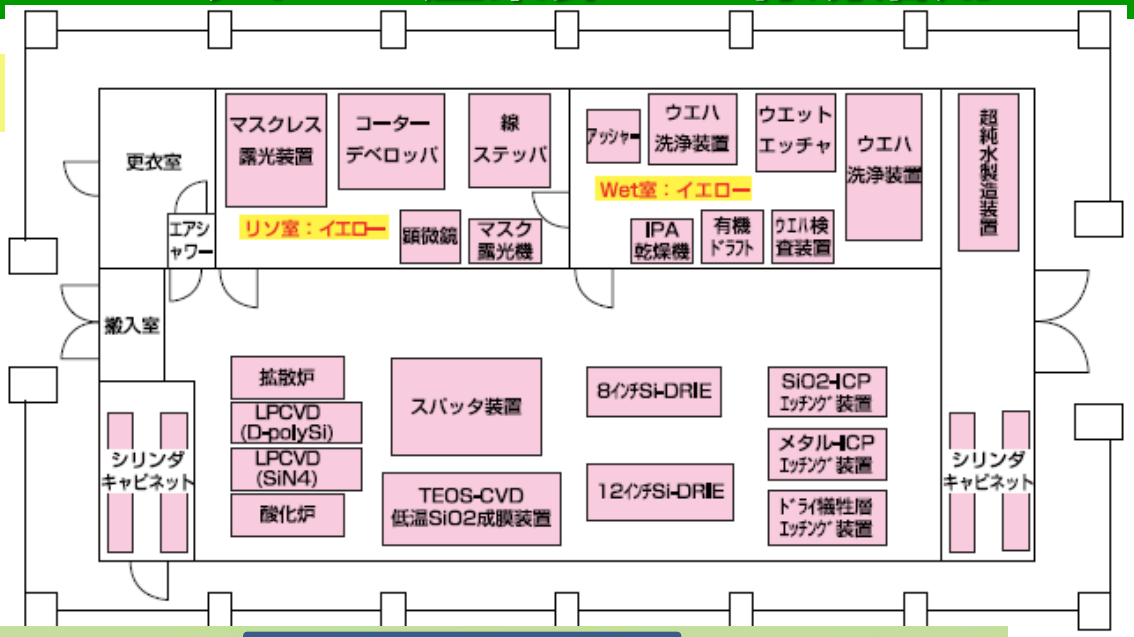
Commercialization Gap” の克服を目指すTKB812

TIA-NMEMS拠点としての展開
　　MNOIC運営による産学連携共同研究用インフラ設備として活用。
　　ファブレスメーカーの製品開発を支援、製造現場として提供。

波及効果：8インチMEMSラインの産業界への有効活用

最先端MEMS関連設備 （その1）

前工程クリーンルーム
（TKB812F）設備配置図
約350m2、クラス1000



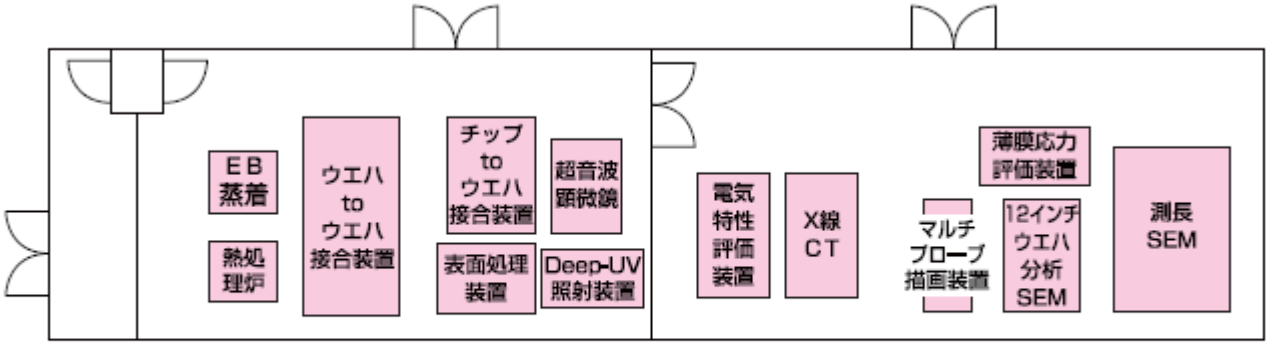
重要

重要

波及効果：8インチMEMSラインの産業界への有効活用

最先端MEMS関連設備（その2）

後工程・評価クリーンルーム（TKB812B）設備配置図
約150m2、クラス1000



重要

チップ to ウエハ接合装置
8、12インチ

重要

ウエハ to ウエハ接合装置
8インチ

重要

X線CT3次元構造観察装置
8、12インチ

MEMSデバイス
電気的特性評価装置
8インチ

測長SEM
（高精度寸法測定装置）
8インチ

ウエハSEM
（MEMS構造解析分析装置）
12インチ

8インチMEMSラインの産業界への有効活用（実用化スケジュール）

NEDO－Gデバイスプロジェクト 産総研大口径MEMS工程構築 → 2011/3/20
→ 事業化準備（MNOIC組織化） → 2011/7/15
→ 研究用途のみ設備貸しサービス 産総研と共同研究、プロセスレシピ蓄積 → 2011/11/30
→ 少量試作サービス → 2012/4/1
→ 事業本格化

2、事業の現状

1. 初ロット（20枚）サービス完了（2011/10/28）
2. 大口径対応及び対投資効果の魅力

前工程（露光、深堀）設備貸しサービス

マスクレス露光機

シリコン深堀り

ステッパー

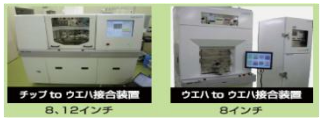
犠牲層エッチャー

MS社　H社　G社　S社　C社　T社　O社　M社－T大学

検査・計測工程設備貸しサービス

後工程（接合、切断）設備貸しサービス

M社　P社　H社



ステルスダイサー

MNOIC事業

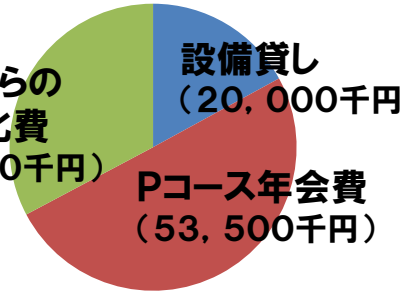
高付加価値サービスへ

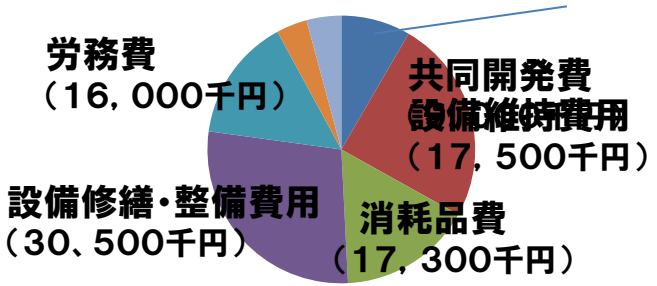
ファンダリーサービス（プロセス請負、デバイス加工サービス）

3、事業内訳

H23，収入

108,150千円



H23，支出

108,150千円