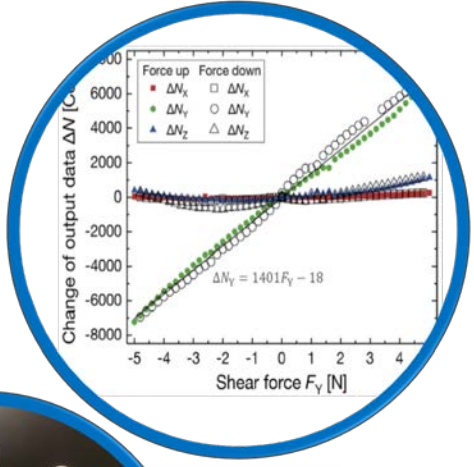
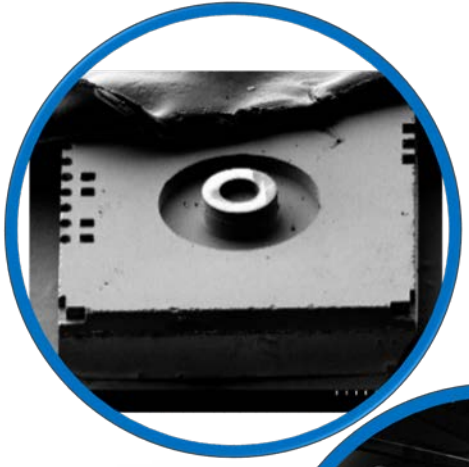
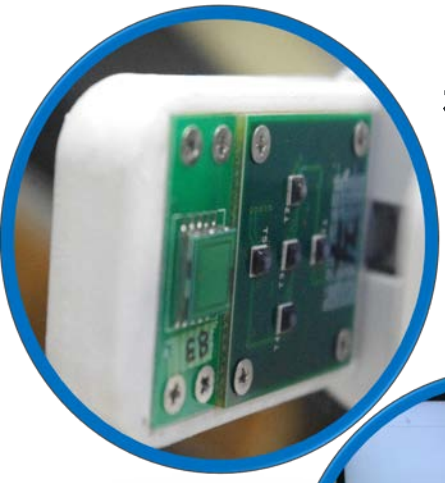


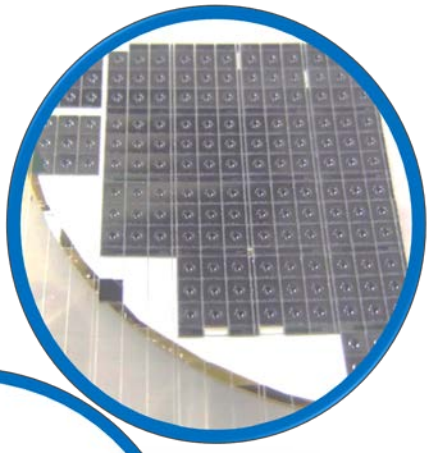
**エッジで情報処理できる**
**賢い触覚センサの実装により**
**ロボットは人に匹敵する感覚を持ち**
**労働力不足が解決します**

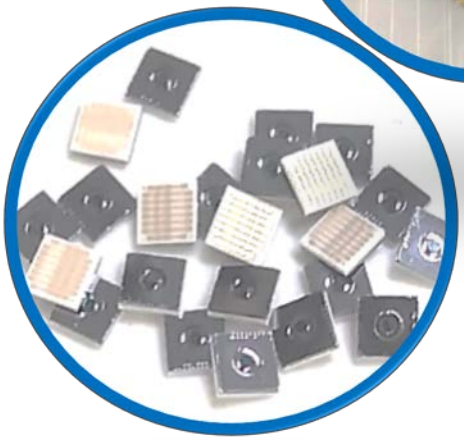
## “Real Edge Intelligent/Integrated - Sensors/Sensation”



株式会社 **レイセンス**

REISense





# 技術

産業用ロボットは一般的にビジョンセンサで作業対象を認識します。しかし多品種，混在，不定形かつ脆弱な対象物をビジョン情報のみで扱うことは困難であり，代表的な非定常作業である物流倉庫での多様な商品のピッキングや様々な総菜を盛り込むお弁当の製造などは人手に頼らざるを得ず，労働市場で人手不足感が強まっています。これら人の手作業に係る非定常作業の自動化を実現するには，ロボットが人に匹敵する皮膚感覚を持つ必要があり大量の触覚センサをロボットに実装したいというニーズが顕在化してきました。しかしながら多様かつ大量のセンサをロボットの全身に実装する際に，各センサと情報処理部を一本一本配線で接続する場合は配線の重量が増大してノイズ発生のリスクが高くなります。一方でバスラインに多数のセンサをシリアルに実装して時分割でデータを送信する場合は，リアルタイムでの情報伝達が困難になります。

## イベントドリブン応答システム

ヒト（生体）は手や体表に多数の触覚受容体が配置されますが，閾値以上の刺激を受けた受容体のみが情報を発信する「イベントドリブン応答システム」が備わっており，意味のない刺激情報を末端（エッジ）で抹消することで通信網の破綻を防いでいます。東北大学は生体の情報伝達システムをモデルとして，ロボットに実装された多数の触覚センサそれぞれが刺激情報の重要性に基づいて情報を発信するか否かを判断する仕組を備えた「イベントドリブン通信システム」を提案し，配線数と通信速度のトレードオフ問題の解決を図ってきました（図1）。本システムの肝は各センサに情報処理回路を持たせて，センサ自身が取得したデータを取捨選択する機構です。このテクノロジーによって，ロボットは人に匹敵する感覚を獲得でき，作業の幅が大きく広がります。

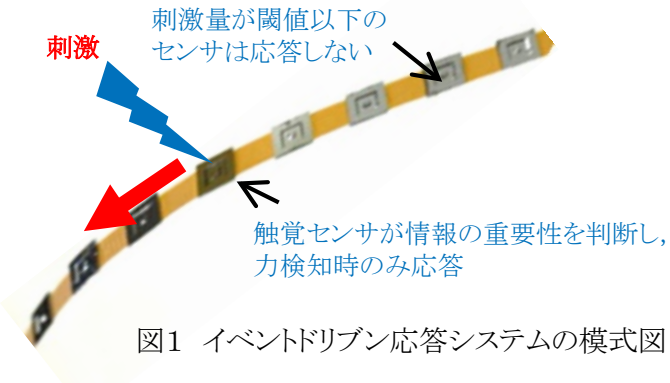



図1　イベントドリブン応答システムの模式図

- 自ら情報処理能力を持つ賢いセンサ
- イベントドリブン通信による省配線/高速応答
- 1バスあたりセンサ256個の多数個接続可能
- 短パケット向け非同期通信方式による高速化
- 独自のクロックデータリカバリで安定な通信を実現
- 小形で高密度実装が可能

システムの特徴

## センサ・プラットフォームLSI

東北大学はイベントドリブン通信のために，取得データが閾値を超えた条件のみ情報を発信する高度な情報処理機能とRS485対応の差動型高速通信機能を持つ専用LSI（センサ・プラットフォームLSI）を開発しました（図2）。このLSIは容量型およびアナログ電圧出力型のセンサ全てに対応可能であり，8チャネルによる多軸／同時計測も行えます。また温度センサも内蔵し，感度補正や接触対象の熱伝導率測定などアクティブセンシングに対応できます。このLSIは各種センサとウェハレベルで一体集積化するための仕組みも当初から備わっています。製造はTSMCの130nmプロセスのFabでなされ，直ちに量産への移行も可能です。

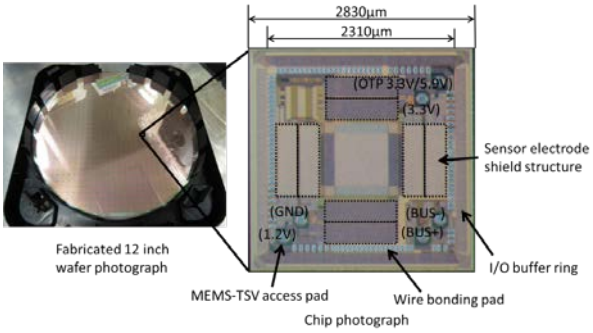



図2　マルチセンサプラットフォームLSI

- イベントドリブン機能を実現
  （閾値/順応動作による信号圧縮）
- 多数かつ多様なセンサに対応
- TSMC 0.13μmプロセスにて量産
- センサとのウェハレベル接合領域の確保
- TSVアクセス用専用パッドを準備

LSIの特徴

## LSI集積化3軸触覚センサ

接触力のセンシング原理として感圧ゴム方式，光学方式，ピエゾ抵抗方式など様々な方式を比較検討した結果，半導体製造技術との親和性，精度，感度，耐ヒステリシス性，小型/低背化の観点から，接触力に応じたシリコン製ダイアフラムの変形により静電容量が変化する静電容量型のセンシング原理を採用しました。ロボットの体表に多数の触覚センサを高密度で装着するために，ウェハレベル集積化/パッケージング技術を採用して，集積化触覚センサ素子の寸法をセンサ・プラットフォームLSI(2.7 mm×2.7 mm)と同じサイズまで縮小しました。接触力情報の効率的な伝達には，触覚センシング面を外向きに配置して，出力端子部を内向きに配置する構成が望まれます。この要請から，LSIウェハ(Si)と同等の熱膨張率を持つ低温焼成セラミック(LTCC, Low Temperature Cofired Ceramic)貫通配線基板をウェハレベルで接合し，その後にLSI裏面側のシリコン基板を触覚センサ形状になるよう深堀エッチング技術で加工する技術を開発しました(図3)。このセンサはウェハレベルで気密封止パッケージングされており，超小型化(低背化)，寄生容量の低減，気密封止を実現します。LTCC基板の裏面ははんだリフロー実装可能なパッド構成となっており，容易に実装できます。図4にダイアフラムを形成したウェハの写真を示します。外観検査で4インチウェハ上の600個のセンサに異常は見られず，製造歩留りは90%以上を達成しました。集積化センサの生産はファウンドリ委託で行ったので，今後の量産展開も容易です。完成した集積化3軸触覚センサは，高感度，高い線形性，超小型/低背化，低ヒステリシス，低他軸感度を実現し，LSI内蔵の温度センサの活用による熱伝導率測定(アクティブセンシング)から把持物の素材の推定もできました。過荷重試験，繰り返し荷重試験，加熱下荷重試験に関する探り信頼性評価に於いて重大な問題はありません。

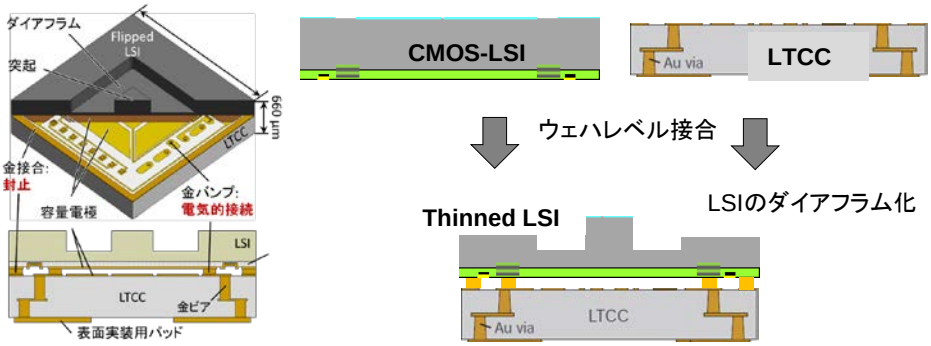



図3　集積化3軸触覚センサの構成と製造工程

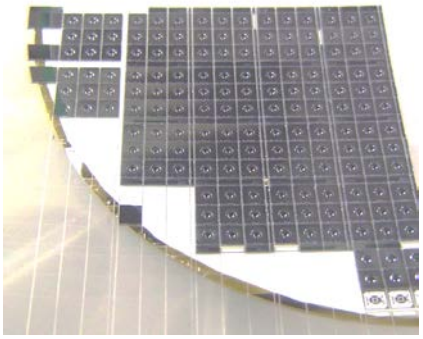


図4　完成した4インチウェハ

## 多数個の集積化センサ実装とイベントドリブン通信の実証

集積化触覚センサ素子を20個直列に実装したプリント基板5枚をシリーズに連接し，合計100個にセンサがシリアルバス実装されたネットワークを試作し、閾値を超えた刺激を受けたセンサのみ発火するイベントドリブン動作を実証しました(図5)。

5本指ロボットハンド(F-hand　都立産技高専・深谷研究室ご提供)が多様な物体を把持した時の圧力分布を評価するために，ハンドに20個の集積化触覚センサを実装したフレキシブル基板を装着して，ボールや円筒形物体を把持した際の圧力分布の実測に成功しました(図6)。

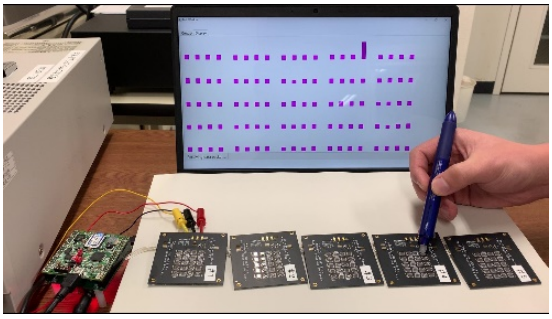


図5　100個センサによるイベントドリブン通信の実証

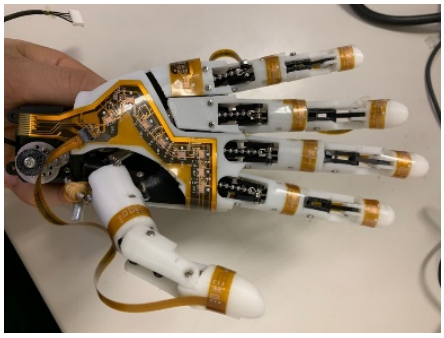
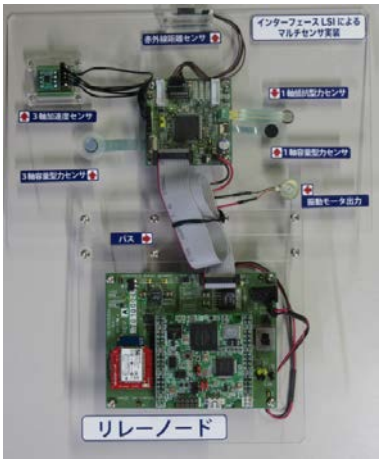


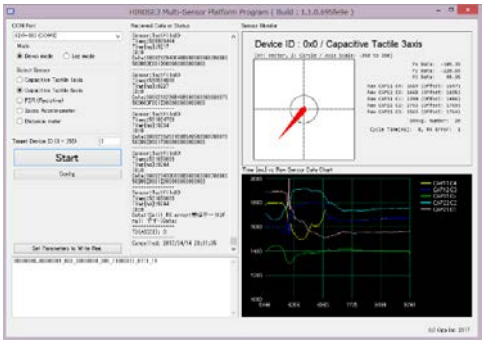
図6　F-handに実装した20個の集積化触覚センサ

## 多様なセンサのイベントドリブン制御

8チャンネルの入力端子を持つセンサ・プラットフォームLSIは，複数種のセンサに対して同じプロトコルにて閾値制御によるイベントドリブン通信に対応可能です。一つのLSIに多様なセンサを接続したシステムを図7に示します。ロボットに触覚センサ以外の多様なセンサ（加速度センサ，角速度センサ，匂いセンサなど）を実装する際，従来はそれぞれの専用配線が必要でしたが，本システムを適用することで複数の物理量評価を一本のシリアルバスラインのみで対応できます。




- 1軸抵抗型力センサ（FSR）
- 1軸容量型力センサ（オーギャ）
- 3軸容量型力センサ（オーギャ）
- 3軸力加速度センサ
- 超音波距離センサ＋振動モータ出力




出力例

図7　1つのセンサ・プラットフォームLSIへの多種センサ接続例

## 想定応用分野

多数の触覚センサ実装が要求される分野として，壊れやすい不定形物のピッキングロボット，介護ロボット，過酷環境ロボットなどの高性能ロボット分野，高度な職人の技の数値化による技能継承などヒトの動作の数値化分野，触覚を付加してリアリティを上げたVRなどのエンタメ分野，ゴルフクラブ等スポーツ用品の触覚圧モニタリングなど，人に匹敵する皮膚感覚が要求される分野での採用が期待されています。

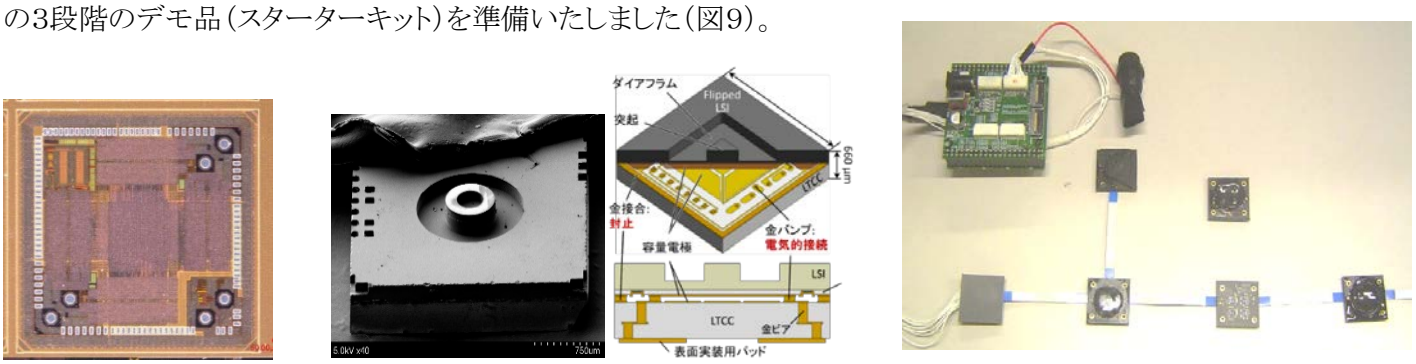
図8　マルチ触覚センサの想定応用分野

## スターターキット

集積化触覚センサシステムにご興味をお持ちのお客様に対して，マルチセンサの「嬉しさ」を実感して頂くために，

(a) センサ・プラットフォームLSI （ベアチップまたはパッケージング品）
(b) LSI一体集積化・3軸触覚センサチップ
(c) 4個の集積化触覚センサチップ実装の標準モジュール（市販フレキケーブルで任意数の拡張可能）

の3段階のデモ品（スターターキット）を準備いたしました（図9）。




(a) LSIチップ　　(b) 集積化3軸触覚センサチップ　　(c) 標準モジュール

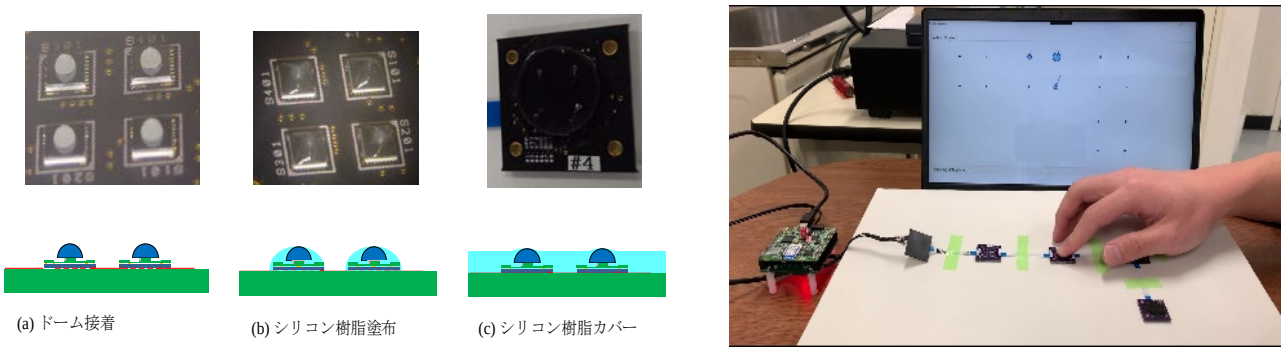
図9　スターターキット

お客様がお使いの様々なセンサにイベントドリブン機能を付加したい場合は，(a) LSI単体のデモ品が適しております。供給形態がチップ単体であればワイアボンドで，パッケージ品であればリフロー法で実装が可能です。システムとソフトウェアも提供し，十分にサポートを致します。

お客様の複雑な形状をしたロボットやデバイスに沿う形で3軸触覚センサを多数個実装したい場合は，(b)集積化・3軸触覚センサチップが利用できます。このデモ品の提供は，お客様が実装技術をお持ちであることが前提となります。ソフトウェハ提供はもちろん，実装方法のアドバイスなど万全のサポートを致します。

マルチ触覚センサの有用性を簡易評価したい場合は，(c)標準モジュールから構成されるスターターキットが適しております。図9に標準モジュールの構成，および4個の標準モジュールを組み合わせたデモシステムを示します。標準モジュールであたりをつけてから，お客様のニーズに合わせたセンサチップ実装デモへの移行も可能です。

① 4個の3軸集積化触覚センサが7mm間隔で2行2列にプリント基板に実装されたモジュールを基本とする
② 各モジュールは市販の0.5mmピッチ8極のフレキシブルフラットケーブル(FFC)で自由に接続できる
③ モジュールはロボットなどの実装対象に容易に装着・評価できる
④ モジュール間の分岐接続に対応する
⑤ 各触覚センサの受力部には，外力を効率的にセンサ部に導く，ドーム状の集力構造を設ける
⑥ 顧客の想定外の扱いにも耐えられるよう，ドーム周囲をエラストマーで覆い，高い過剰力耐久性を与える
⑦ データ取得および圧力分布可視化のための使い勝手の良い標準システムおよびソフトウェアを用意する



(a) ドーム接着　　(b) シリコン樹脂塗布　　(c) シリコン樹脂カバー

図10　標準モジュール

# マルチ触覚センサの事業プラン

集積化センサの製造においては，LSI製造だけではなくセンサの集積化にも半導体製造工程を援用するために，事業化には半導体産業のビジネスモデルが準用できます。すなわち集積化センサの大規模な量産時には生産コストの大幅低減が期待できますが，一方で生産量が僅かである場合には，素子の販売価格は割高になってしまいます。事業構想時のターゲットである，ヒトと共存する自律型介護ロボットへの皮膚感覚実装は，半導体製造のスケールメリットを享受できる莫大な市場規模が期待できます。しかし高度な自律型介護ロボット市場の立ち上がりは想定よりも遅れる見通しになりました。このような事業環境の下でもお客様に低価格での商品を安定に提供するために，株式会社レイセンスは本格的な事業化に先立って，集積化触覚センサを大量に（少なくとも数万個以上）使う用途の開拓を進めます。

具体的には，大きな市場が期待できる用途をご提案頂いたお客様に対して，共同開発契約の下でスターターキットを貸与し，ご評価を頂きます。バグの残るα版を提供するために，信頼性，初期値変動，デバイス間バラツキなど残件課題があることはご了解ください。ご評価を頂いた結果として，採用する可能性が高いとの判断に至りましたら，株式会社レイセンスは本格的な事業化開始の判断を行い，量産のための資金を調達して集積化センサを量産いたします。量産の期間は，ストックしてあるセンサデバイスを用いてお客様の用途に対して最適な実装法などの検討を並行して進めます。量産素子の完成後は，お客様にデバイスを支給すると同時に信頼性評価を実施します。信頼性に問題のないことが判明した後に，センサを販売いたします。図11に実際のスケジュール感を示します。デモ開始から実用化まで約2年間が必要であること，ご承知ください。もしLSIに関して，新しい機能や改善をお求めであれば半年から1年の期間と追加費用が必要となります。

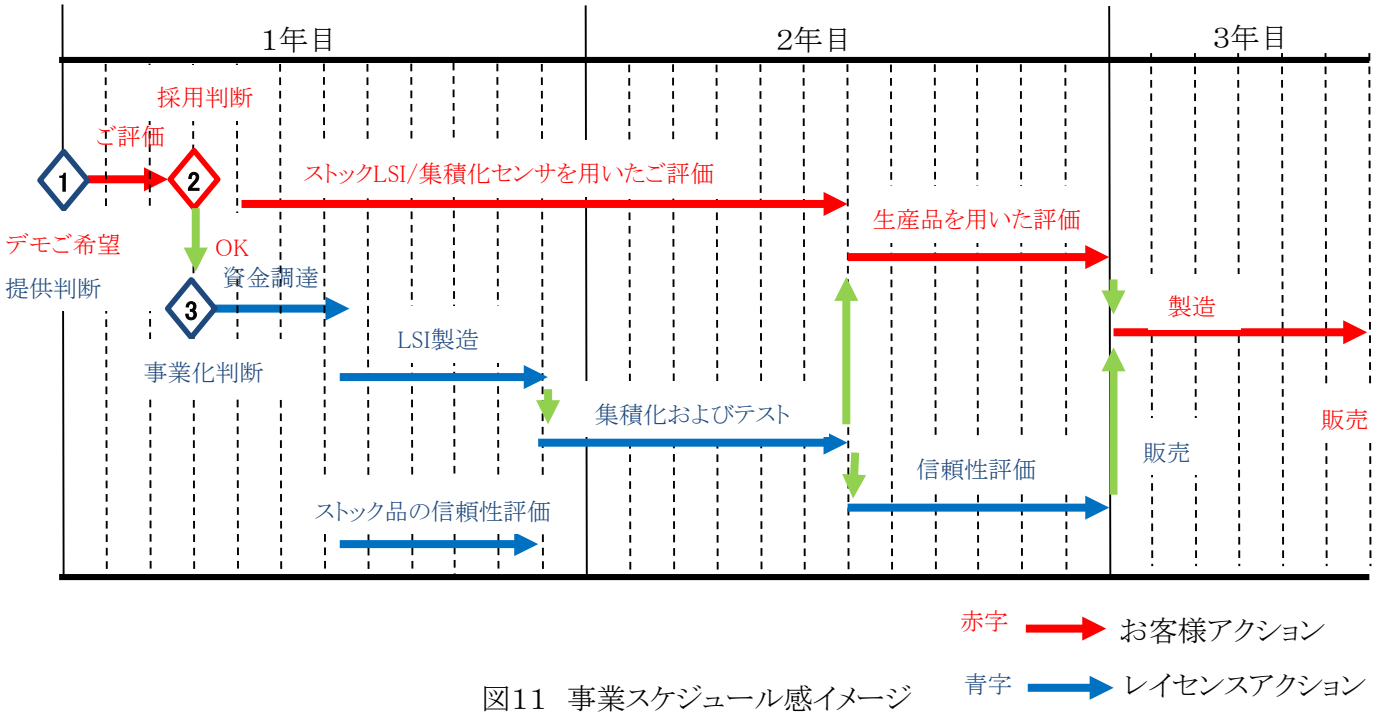



図11　事業スケジュール感イメージ

デモ評価を希望されるお客様は，下記の技術担当にご連絡ください。世の中の人手不足や単調労働・重労働に関する社会課題を，お客様と協力して解決していけることを期待しております。


**株式会社 レイセンス**

https://reisense.co.jp/

連絡先（共同研究先）：

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉1-1-06

東北大学　田中秀治研究室　TEL：022-795-6936

技術担当　室山真徳（CTO）　muroyama@reisense.co.jp


REISense