

第 1 章

MEMSを《つかう》

1.1

電子情報機器の用途 どこでもMEMSの時代

筆者の学生時代（1995年前後です）にMEMSといえば、「ディスプレイデバイス（Texas InstrumentsのDigital Multimirror Device（DMD）が出始めた頃）」「インクジェットプリンタ」「圧力センサ」でした。「加速度センサ」の原理はもちろん完成しており、Analog DevicesがCMOSポストプロセスでの表面マイクロマシーニングを完成させていました。Transducers1997 国際会議のTutorial講演で「1ドルで供給できる時代が来る」と聞いて大変驚いたものでした。その加速度センサ、2000年前後は後発メーカーは各社一斉に開発中、秋葉原で一般人でも購入できる程度にこなれてきたのは2000年代半ば付近から、と記憶しています。当時と今とは連続的であるともいえます。

一方、当時と今とを隔てる一つのエポックメイキングな出来事は「スマートフォン」の登場でしょう。PCなみの処理能力をもつ電子情報機器を、万人が持ち歩く時代が急激な勢いで到来したわけです。この電子情報機器上に、加速度、ジャイロ、地磁気、イメージセンサなどの様々なセンシングデバイスが搭載されるのは世の流れです。これからも、ますます多様なMEMSデバイスが、ネットワークから提供されるソリューションと一緒に、携帯端末の限られたスペースの座を争って切磋琢磨を続けることでしょう。

MEMS開発の歴史は既に半世紀以上にわたりますが、結果として生き残ってきたデバイスには共通点があります。筆者の大学院生時代以来の恩師、藤田博之先生（東京大学名誉教授）による解析を頂いてきました。藤田先生流の分類では「市場規模（少量、大量）」と「技術的必然性（MEMSの利用が必然か）」との2軸で分類します。

- 右上の部分は「MEMS技術が必然」「市場規模も大きい」という、MEMSが最も成功する条件を備えています。例えば「インクジェットプリンタのヘッド部分」が該当します。MEMSでなければ細かい解像度は実現できないので「必然」、「市場規模」はプリンタの数以上に出ますから「大量」です。

- 左上の領域は「少量しか出ないが、MEMS技術が必須」という領域です。数は出ませんが、必須であれば高くても技術を買われるということで、安定したビジネスになる可能性があります。医療、宇宙、特殊用途（資源探査、理学）といった分野がこの領域です。

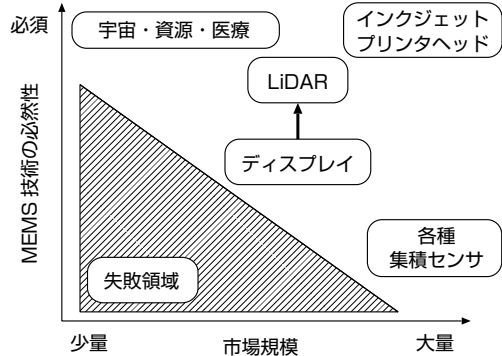


図 1.1.1 MEMSの成功領域/失敗領域による分類

- 右下の領域は「MEMSが必須ではない（対抗技術は多い）が、数が出る」領域です。圧力センサや加速度センサなど、一般的に「センサチップ」として市販されるデバイスがこちらの領域です。最も競争が激しい分野でもあり、「他では実現できない機能または性能」という差別化が必要となります。
- 中央付近は、どちらも「ほどほど」の領域です。「ディスプレイデバイス」については、プロジェクタ用としては市場は「中規模」、必然性は、動作速度は人間の目程度のスピードで良いので、液晶などの（遅い）デバイスとの代替競争となり、「やや必然」です。これが、LiDAR (Light Detection and Ranging) のような測距デバイスとなると、速度は早ければ早い方が良いので、MEMSの必然性は高くなります。市場規模は車載向けとしてもかなりの大きさがあり、もし小型化に成功して携帯デバイスに載るようになれば、さらに大規模になります。将来の伸びが有望な領域です。
- おしまいに、左下の領域は「MEMSが必須でもなく、数も出ない」という領域です。得るものは少ないので、早めの戦略見直しが必要でしょう。

POINT!

MEMSは半世紀以上の歴史をもつ、情報処理回路への入力素子。技術的必然性と市場規模で成功失敗がある程度予測できる。

1.2 電子情報機器の仕組み 入力と、情報処理と、出力をもつ 電子回路

本章では、現代&未来社会のエースプレーヤー「電子情報機器」を取り扱います。電子情報機器は、実世界の森羅万象の情報を「検出（センス）」して、電気の形に変換して「入力」し、あらかじめ設計しておいた計算方法（アルゴリズム）に従って「情報処理」して、結果を実世界に「出力」する自動機械です。ざばり三言で「入力素子」「情報処理」「出力素子」で構成される電子機器というわけです。（英語では「センサ」「プロセッサ」「アクチュエータ、ディスプレイ」となります。）本書のテーマ「MEMS」は、「入力素子」には欠かせないことはもちろん、「出力素子」としても、光を扱うMEMS（Optical MEMSまたはMOEMSといいます）や、スピーカーなどに盛んに使われるようになってきました。

「電気に変換」して情報をやりとりするには、「アナログ」「デジタル」二通りの表現方法が使われます。電圧や電流などの「物理的な値そのもの」に興味をもたせる方法が「アナログ」です。ラテン語のanalogus（比例、類似）が語源です。アナログ量は時間的にも空間（大きさ）的にも連綿と続く連続量ですが、「十分に短い時間 Δt 」で時間方向に細切れにし、更に空間方向の変化を「十分に小さい値 ΔV （量子）」を基準に丸め込む（ ΔV 未満の変化は四捨五入すること）ことで、飛び飛びの値に変換することができます。時間方向の切りとり操作を「サンプリング」、空間方向の階調付け操作を「量子化」、あわせて「離散化」と呼びます。飛び飛びの値に数値をあてはめること（コーディング）で、「デジタル」な情報となり、コンピュータで情報処理ができるようになります。コーディングには、二進数（「00」→0、「01」→1、「10」→2、「11」→3、「100」→4、「11111111」→256、のように、0と1だけで数字を表現する表現方法）が用いられるのが普通です。

世の中の本質は連続（アナログ）ですが、今日では、入口と出口での「現実の物理量と接している部分」のアナログ値をすぐにデジタルに変換してしま

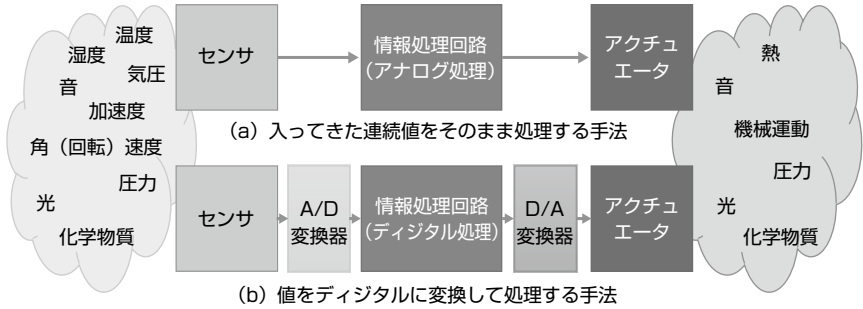


図 1.2.1 電子情報機器の構成。センサからの情報を信号処理して出力する

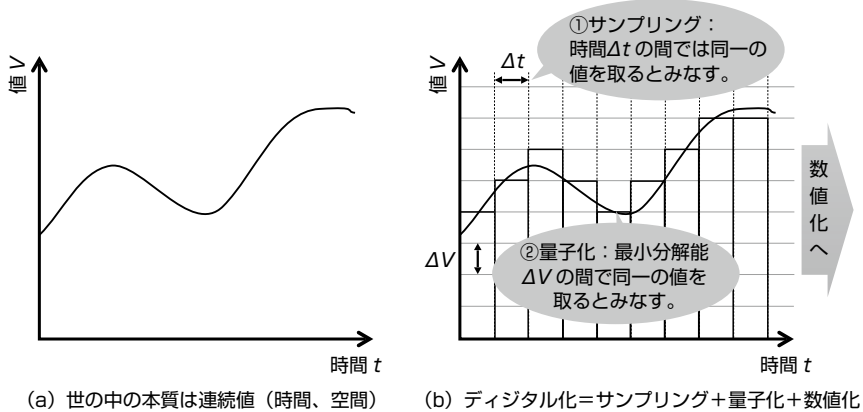


図 1.2.2 世の中の物理量は「連続（アナログ）量」。これを時間方向に「サンプリング」、空間（大きさ）方向に「量子化」し、数値化（コーディング）することで「デジタル」回路で扱えるように変換する

い、演算はデジタル回路で行うのが普通です。入力部分でアナログからデジタルに変換する電子回路のことを、アナログ→デジタル変換器（A/D コンバータ：converter）、出力部分でデジタルからアナログに変換する電子回路のことを、デジタル→アナログ変換器（D/A コンバータ）と呼びます。

POINT!

（今どきの）電子情報機器は、「センサ」→「A/D コンバータ」→「情報処理回路」→「D/A コンバータ」→「アクチュエータ」の5ブロックから構成される。

1.3

百聞は一見に如かず1 秋葉原で買ったMEMS大集合

我々（半）アマチュアでも入手できるMEMSを探しに、筆者自らおサイフを握りしめて秋葉原の電気街に行ってみました。秋葉原の北西の一角に、「千石電商」「秋月電子通商」「マルツパーツ館」と小売店が3店揃って、いつも賑わっている界隈があります。期待のパーツショップ、入ってみれば「此は如何に」、ありとあらゆる思いつく限りのセンサ素子が、「雨後のタケノコ」よろしく所狭しと並んでいました。「棚の部品を、全部買う！（大人買い）」覚悟で行ったのですが、とても全部は買い切れませんでした。まさに「センサ万別」です。センサが測定する量として、秋葉原のパーツショップでは、圧力、力、加速度、角速度を測定する、いわゆる「物理量センサ」が多数見つかりました。この他にも、光や熱、化学物質センサや、レーダー素子なども豊富にありましたが、本書では物理量から気圧程度までの、「物理量センサ」を取り扱うことにします。

入手した部品には、「仕様書」や「取扱説明書」が付いていません。一昔前（つい40年ぐらい前）は、これらの「一次資料」に触れられる一握りの方々が、大衆向けの紹介記事を雑誌に書きました。私たち一般人はそれを読んで、紙面の関係で省略された「足りない情報」を、想像と実験と野性のカン（？）で補いながら、頑張って使ったものです（使いこなせずに「タンスの肥やし」となった部品も数知れません…）。しかし、時代は変わりました！ 21世紀の我々には「インターネット」と「情報検索エンジン」があります。一つ一つの型番をキーワードに、検索エンジンで仕様書を探して読んでみると、どれも「同じような使い方」で使えそうなことがわかってきます（本来の順番はもちろん逆です。①入手可能な部品の型番を調べ、②説明書を読んで、③目的に使えそうか考えて、④買いに行く、のが真つ当な手順です。さもなくば筆者のように、使い道の開発を待っているセンサの山がそこかしこにできてしまいますので要注意）。資料の多くは英語ですが、技術英語の表現は平易なので（体感