

# IoT世界におけるセンサの役割

2018年7月20日



SKグローバルアドバイザーズ株式会社 代表取締役  
SPPテクノロジーズ株式会社 エグゼクティブシニアアドバイザー  
住友精密工業株式会社 元代表取締役社長



神 永 晋



1946(昭和21)年12月 3日生 (福島市で育つ)

1969(昭和44)年 5月	東京大学工学部機械工学科卒業
1969(昭和44)年 5月	住友精密工業株式会社 入社
1981(昭和56)年11月	欧州事務所長(ドイツ在住6年)
1987(昭和62)年 4月	帰国 事業開発部門従事
1995(平成 7)年 3月	Surface Technology Systems Ltd. 代表取締役 (英国在住4. 5年)
2000(平成12)年 6月	取締役
2002(平成14)年 6月	常務取締役
2004(平成16)年 6月	代表取締役社長
2012(平成24)年 6月	相談役
2013(平成25)年 6月	社友

- 住友精密工業株式会社 元代表取締役社長
- SPPテクノロジーズ株式会社 エグゼクティブシニアアドバイザー
- SKグローバルアドバイザーズ株式会社 代表取締役
- オリンパス株式会社 社外取締役

- 住友の歴史
- 住友精密工業の事業
- 航空機事業
- MEMS事業 (IoTの要)
- トリリオン・センサ
- 技術開発と技術経営 ～経営とは～
- ま と め

# 住友の歴史



- 住友の歴史は、住友政友が本屋と薬屋を始めた約400年前に遡る。
- 16世紀末、南蛮吹きといわれる銅精練事業を始めた。

## 初代 住友政友 (1585 - 1652)



## 文殊院旨意書 (もんじゅいんしいがき)





住友社則『営業の要旨』への反映

—1928年(昭和3年) 住友本社(当時)制定

第一条:信用を重んじ確実を旨とすること

第二条:時代のニーズや経済上の損得を考えて事業の  
興廃を判断してもよいが、かりそめにも浮利  
(目先の利益)にはしらないこと

『自利利他公私一如』

自分だけの利益を目的とせず、社会と利益を分かち合い、  
社会と住友は一体である



初代文殊院政友から  
四百年、脈々と受け継がれて来た

## 「住友の企業理念」

IIたえず時代のニーズを

機敏に感じ取り、新しい事業に進出しつつも、  
絶対に国家や地域社会の利益や要請に  
応じていくことを「大切なこと、人から人へ」と  
忘れることはないからです。

(その証のひとつが、

百年以上も前に枯れた別子銅山を  
緑なす山に戻し、  
煙害を根絶させたことなのです。)

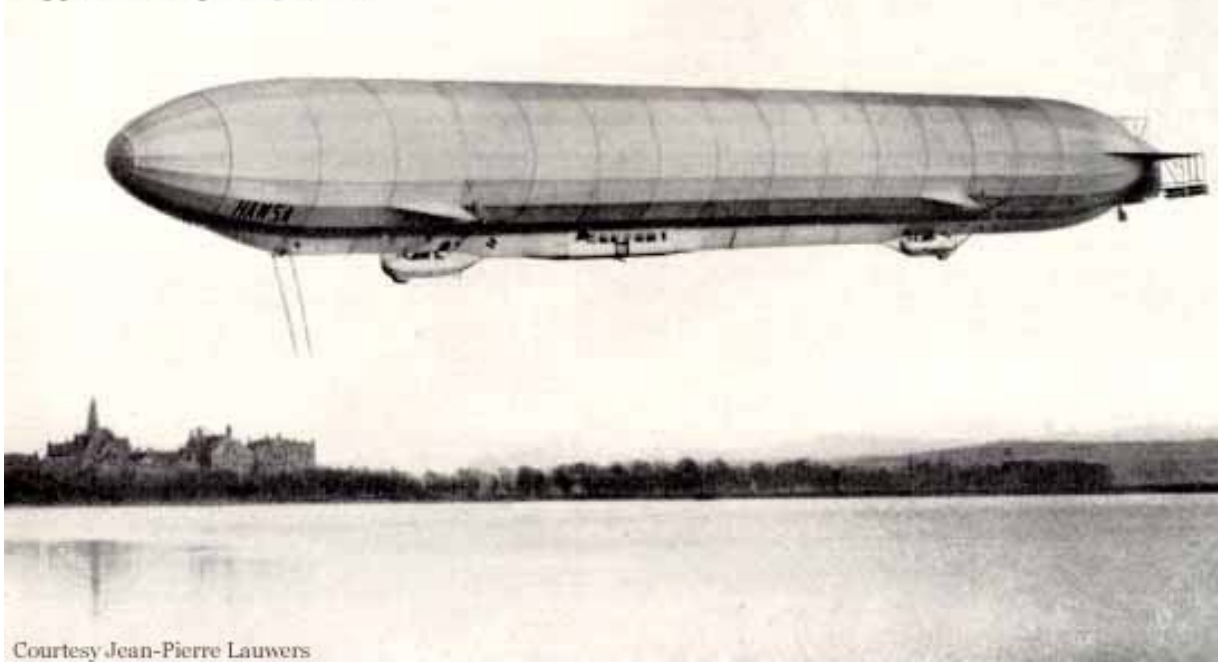


『信用を重んじ確実に旨とする』  
『浮利(目先の利益)にはしらず』  
『公利公益の事業』  
『国家・社会への報恩』  
『企画の遠大性』  
『事業は人なり』  
『技術の尊重』  
  
『自利利他公私一如』  
自分だけの利益を目的とせず、  
社会と利益を分かち合い、  
社会と住友は一体

# 住友精密工業の事業内容

- 第一次世界大戦時(1917年)、日本の英国駐在海軍武官経由で飛行船ツェッペリン号のAl合金破片を住友精密工業の前身である、住友伸銅所が入手。
- 住友伸銅所にて分析の結果、新合金(ジュラルミン)と判明。
- 住友伸銅所は1920年にジュラルミンの工業生産を開始した。

Zeppelin airship LZ 13 Hansa



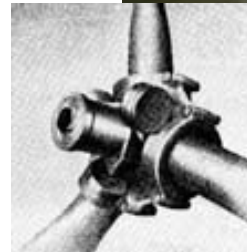
Courtesy Jean-Pierre Lauwers

Zeppelin LZ 13 flew its first flight 30 Jul 1912 and would log 44,437 km over 399 trips while in service as *Hansa* under the DELAG banner. Last flown commercially, a flight from Dresden, on 29 Jul 1914, *Hansa*, which had carried 6217 passengers, was pressed into the service of the German army at the outset of World War I. Later employed as a naval training vessel before the 18,700 m<sup>3</sup> rigid airship was dismantled in Aug 1916 at Jüterbog.



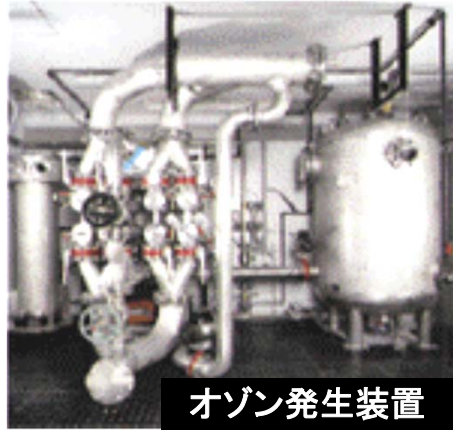
日本に送付された破片標本  
(現在もUACJ(旧住友軽金属  
工業)に保存)

- 1925年、プロペラ素材としてジュラルミンの鍛造板の製造を開始。
- 1932年、海軍からプロペラ素材の製造からプロペラの仕上げまで一貫生産の要請を受ける。
- 1933年、米国 Hamilton Standard Propeller社(現UTC Aircraft Systems)から可変ピッチ・プロペラの技術を導入。
- 1937年、住友金属工業のプロペラ製造所となる。
- 第二次世界大戦中、ピーク時、23,160名の従業員で、32,596本/年のプロペラを生産。



ゼロ戦のプロペラを  
住友金属工業が製造





オゾン発生装置

環境システム事業



液晶製造装置

MET事業

産機システム事業



MEMS/半導体  
製造装置

マイクロテクノロジー事業

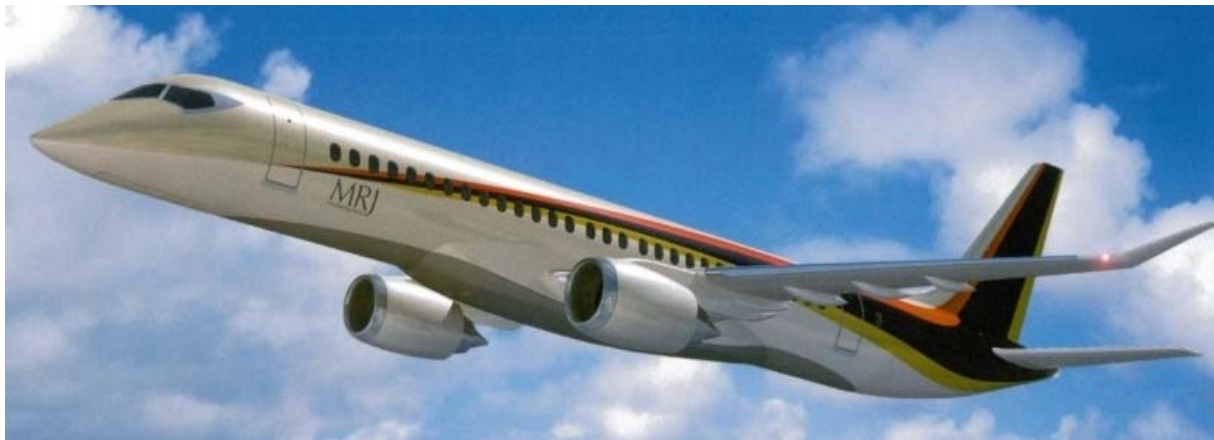


MEMS  
ジャイロ

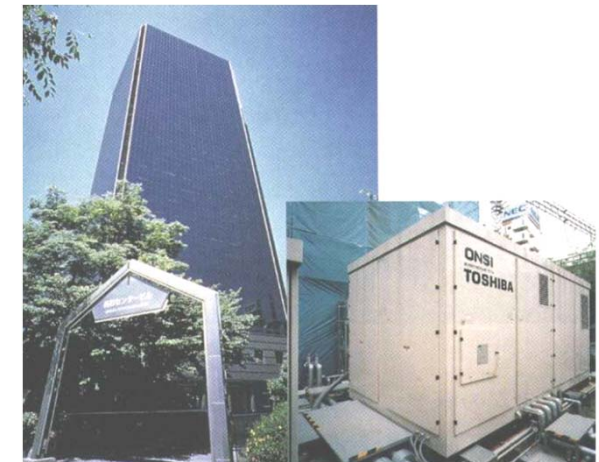


無線センサ  
ネットワーク

MEMSデバイス事業



航空宇宙油機事業



熱交換器事業



## 住友精密工業が展開する事業分野

## 航空宇宙油機

プロペラシステム  
降着装置  
熱制御システム  
油圧機器

## 熱・エネルギー

LNG気化装置  
低温熱交換器  
汎用・高温熱交換器

## 環境保護


オゾン発生装置  
上・中・下水処理装置  
パルプ漂白システム

## マイクロ・ナノ

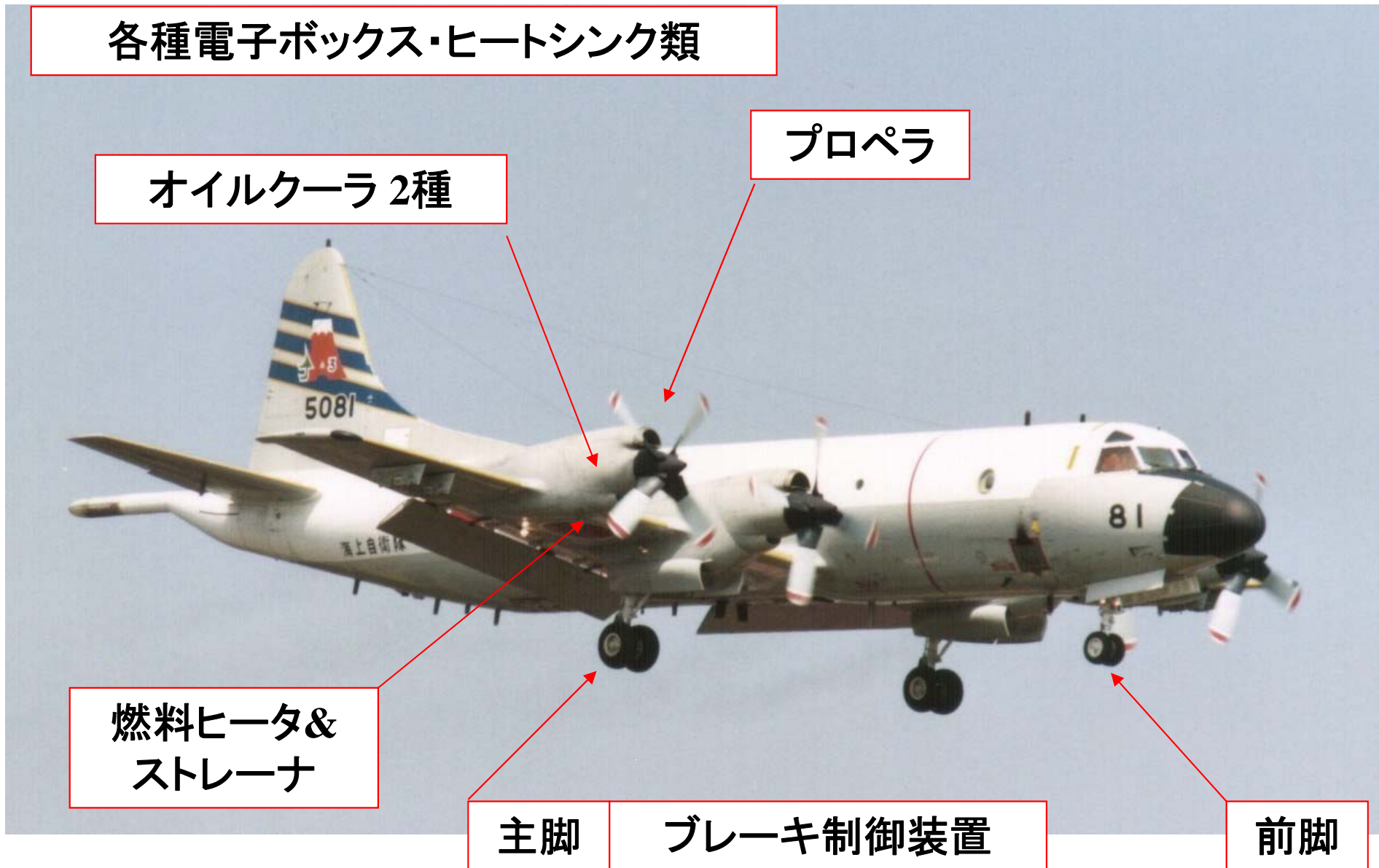
MEMS微細加工装置  
MEMSジャイロ  
液晶パネル製造装置

特徴ある独自技術を横串に展開し“**Global Niche Top**”を目指す

将来性ある様々な分野で、特徴ある独自技術を展開し、  
技術先行 (Technology-Oriented) を横串として  
“Global Niche Top” となる会社を目指す



# 航空機事業





**Nose Landing Gear**



**Brake Control System**

**Steering Control System**

**Main Landing Gear**







**Main Landing Gear**



**Brake Control System**

**Steering Control System**

**Nose Landing Gear**







1997年、Bombardier Aerospace社が開発する70席クラスCRJ700機用脚システムを競合他社と競合して初受注。その後派生機900/1000を相次いで受注。



2000年本田技術研究所より共同開発の打診があり共同開発へ参画。



Nose Landing Gear



Main Landing Gear



Extension & Retraction Control Unit



Steering Control Unit



Rudder Position Sensor

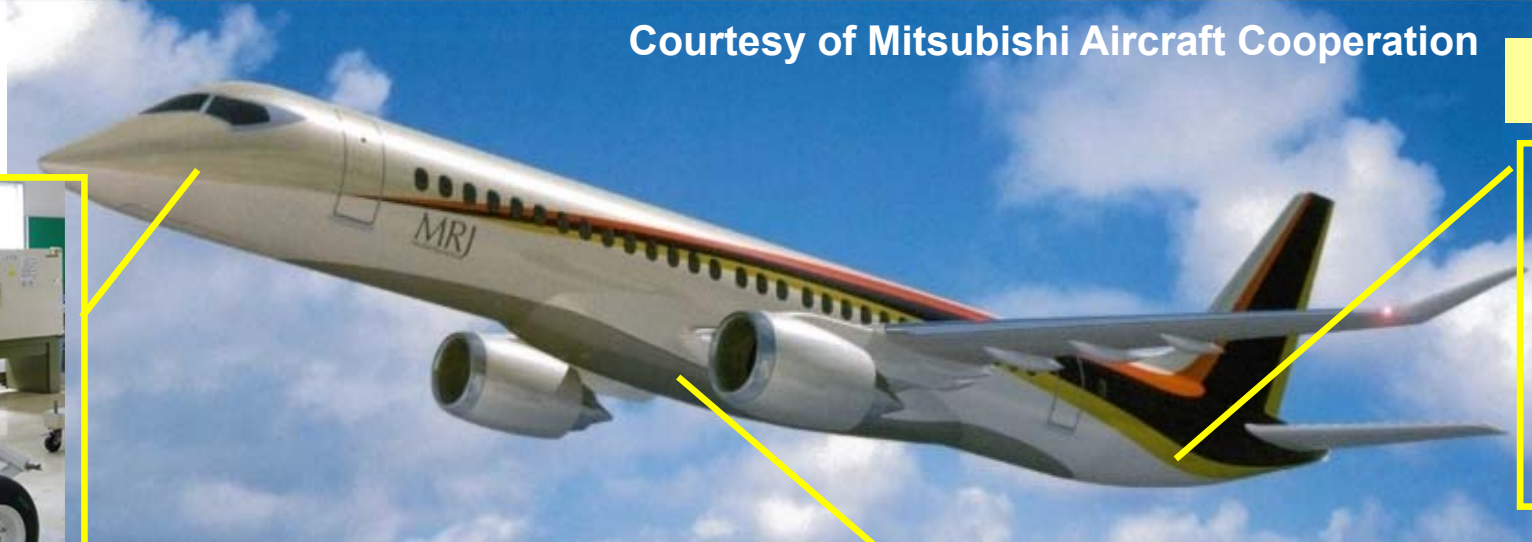


Steering Control Valve & Actuator



2008年、米国有力脚メーカーと対抗してMRJ脚システムの受注を決めた。

Courtesy of Mitsubishi Aircraft Cooperation



Tail Skid



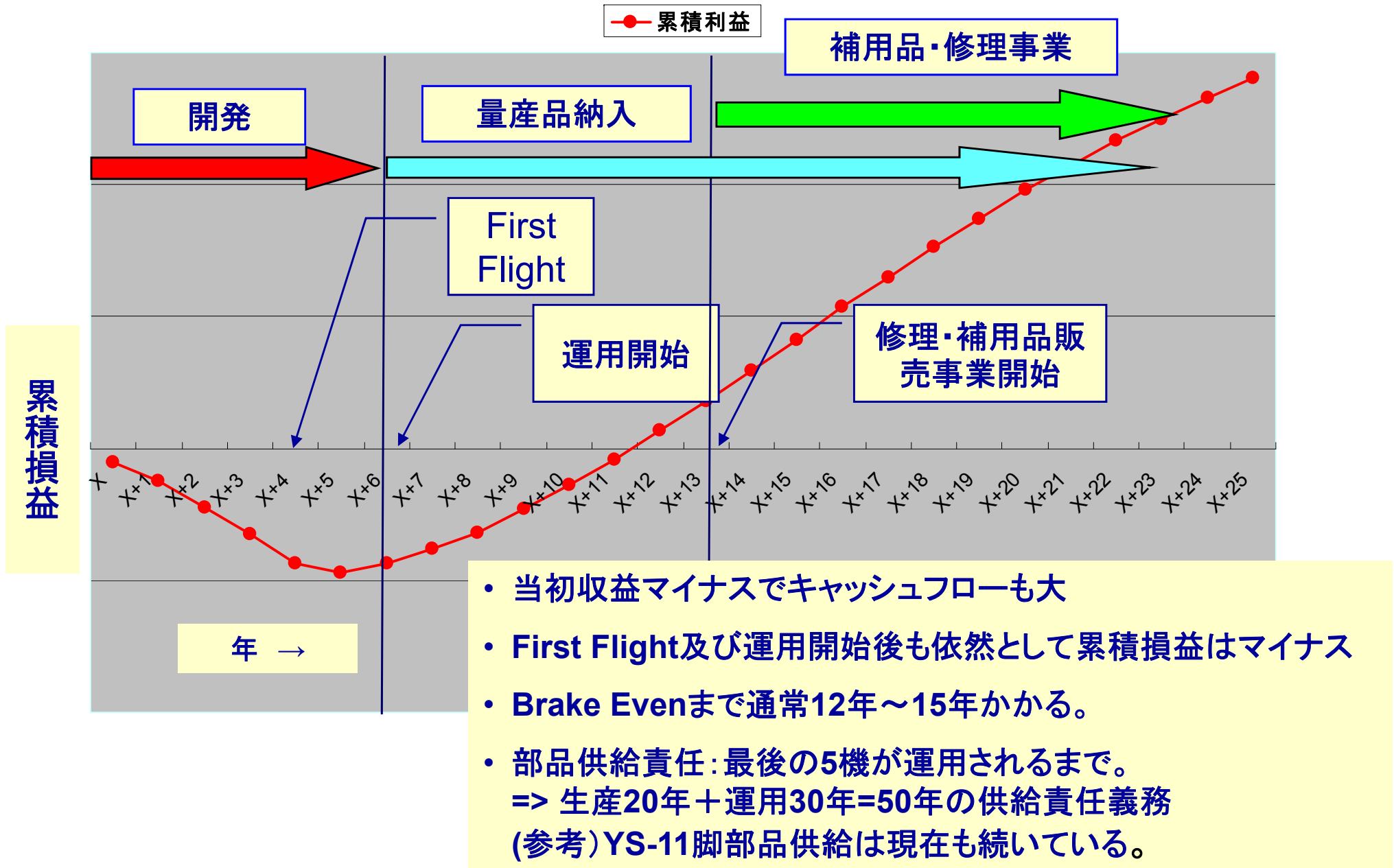
Nose Landing Gear

We are developing the following systems;

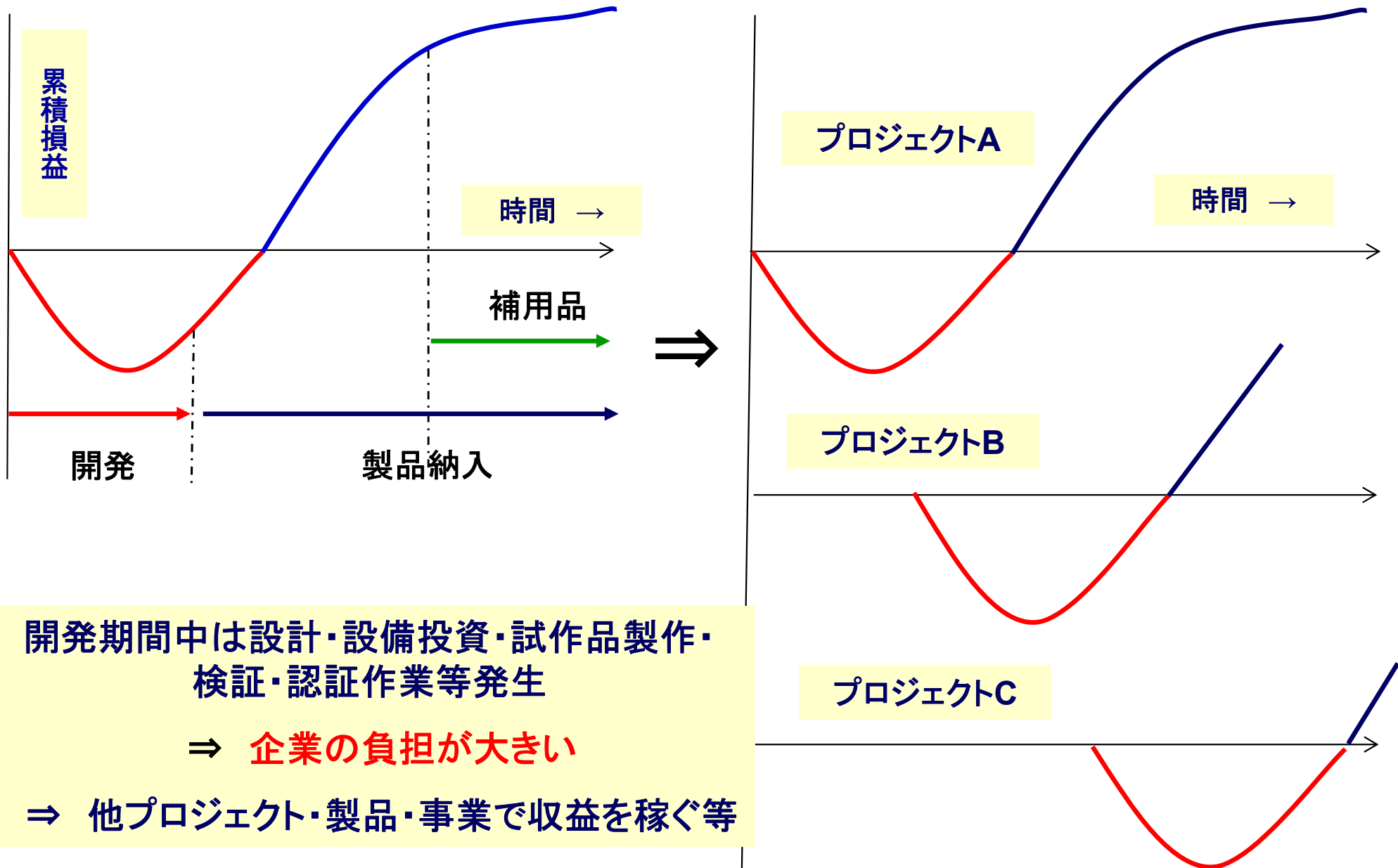
1. ATA3210 MLG,
2. ATA3220 NLG,
3. ATA3230 Extension and Retraction,
4. ATA3240 Wheel and Brakes,
5. ATA3250 Steering,
6. ATA3260 Position and Warning.



Main Landing Gear









STATUS	1990	1995	2000	2005	2010	2015~
TIER1 LANDING GEAR SYSTEM SUPPLIER (Overseas Customer)						Future New Business
TIER1 LANDING GEAR SYSTEM SUPPLIER (Japanese Customer Only)					HJ LGS	MRJ LGS DORNIER SEAWINGS CD2 LGS
TIER1.5 LANDING GEAR SUPPLIER				CRJ700/900/1000 Landing Gear		GOODRICH
TIER2 COMPONENT SUPPLIER/ BUILD-TO- PRINT SUPPLIER		ATR42/72 NLG	A330/340 Retract Actuator	G4/5/6 Main Side Brace Actuator	CL300/CL605 MLG KIT	SAFRAN Messier-Bugatti-Dowty Gulfstream A GENERAL DYNAMICS COMPANY
YEAR	1990	1995	2000	2005	2010	2015~

The information in this document is the property of SPP Technologies Co., Ltd. (SPT) and may not be duplicated, or disclosed to any third party, or used for any purpose other than that for which it is supplied without the express written consent of SPT.

# MEMS事業 (IoTの要)

# IoT

## Internet of Things (モノのインターネット)

インダストリー4.0

インダストリアル・インターネット

トリリオン・センサ

**“MEMS・センサの発展により、可能になった”**

## ● MEMS: Micro Electro Mechanical Systems

(微小電気機械システム)

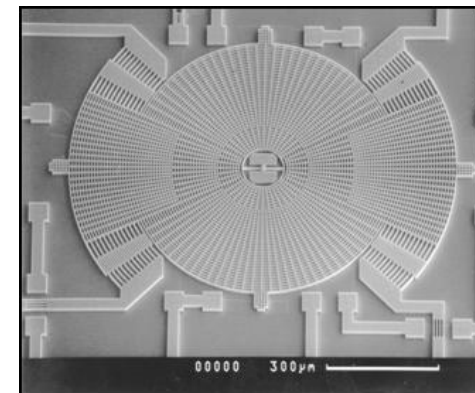
- 半導体生産にて開発・確立された微細加工技術を駆使・発展使用することにより、集積回路 (LSI) ではない3次元機械構造物として製作されるデバイス

## ● MEMSプロセス

- 集積回路 (LSI)が不要としなかった微細加工プロセスの開発・確立

## ● MEMS応用例

- 自動車エアバッグ用加速度センサ、姿勢制御用ジャイロ
- インクジェットプリンターノズル
- ゲーム機 (Wii) 用加速度センサ
- スマートフォン用加速度センサ
- 光通信スイッチ等部品
- 携帯電話用素子



ジャイロセンサ (Bosch殿提供)



- MEMSの発展は、従来の半導体製造技術にはないMEMS特有の技術の開発によって後押しされて来た

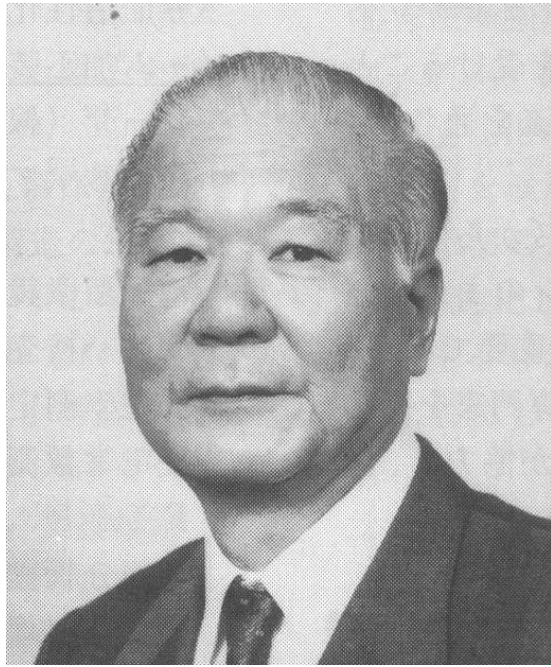
- シリコン深掘り (構造の作成)
  - 技術= Deep RIE (DRIE)
  - ICP + Bosch Process = 高アスペクト比・高選択比
- 犠牲層エッチング (構造の可動化)
  - 技術= 等方性ガスエッチング
- 厚膜・低ストレス膜成膜 (構造の保護、可動膜の形成)
  - 技術= PE-CVD
- 圧電薄膜成膜 (振動や変位の発生)
  - 技術= スパッタ
- ウェーハボンディング (パッケージ)
  - 技術= ウェーハボンダー
- 両面露光 (パターン形状の作成)
  - 技術= 両面コンタクトアライナー

SPT/SPTSによる  
開発・製品化

- MEMSに関わること30年
- 微細加工技術の開発・事業化を推進
- シリコン深掘技術を世界で初めて開発・装置化(1995年)
- 以降、MEMSが急速に発展
- MEMS向け微細加工装置群の開発・装置化
- 車載、ゲーム機、携帯電話、スマホ、IoT
- IoT世界におけるトリリオン・センサ

# MEMSの歴史

# 力、圧力、加速度などの計測に用いるピエゾ抵抗型センサの歴史



五十嵐 伊勢美 博士

(豊田中央研究所)

ピエゾ抵抗型圧力センサのパイオニアで、センサ学会関係では“Mr.Sensor”と呼ばれ尊敬を集めた。

(豊田中央研究所殿、東北大学／江刺教授提供)

Si や Geにおけるピエゾ抵抗効果の発見 (1960年代)  
(C.S.Smith (Bell Lab.), Phy.Rev. 94 (1954) 42))

Ge ストレンゲージ  
(五十嵐 伊勢美, 工学院大学研究報告, 3 (1956) 1)

ピエゾ抵抗型圧力センサ  
(O.N.Tufte (Honeywell), J.of Applied Physics, 33 (1962) 3322)

ピエゾ抵抗型圧力センサの自動車応用  
(五十嵐 伊勢美, 自動車技術, 18(9) (1964) 706)

ピエゾ抵抗型圧力センサおよび加速度センサ  
Piezoresistive pressure sensor and accelerometer  
(T.Chiku, I.Igarashi, 20th ISA (1965) 17. 11-3-65)

Siピエゾ抵抗型圧力センサのエンジン制御への応用(排気ガス規制対応) (1980 ~)

加速度センサによるエアバックシステム用衝突センサ  
(1990 ~)

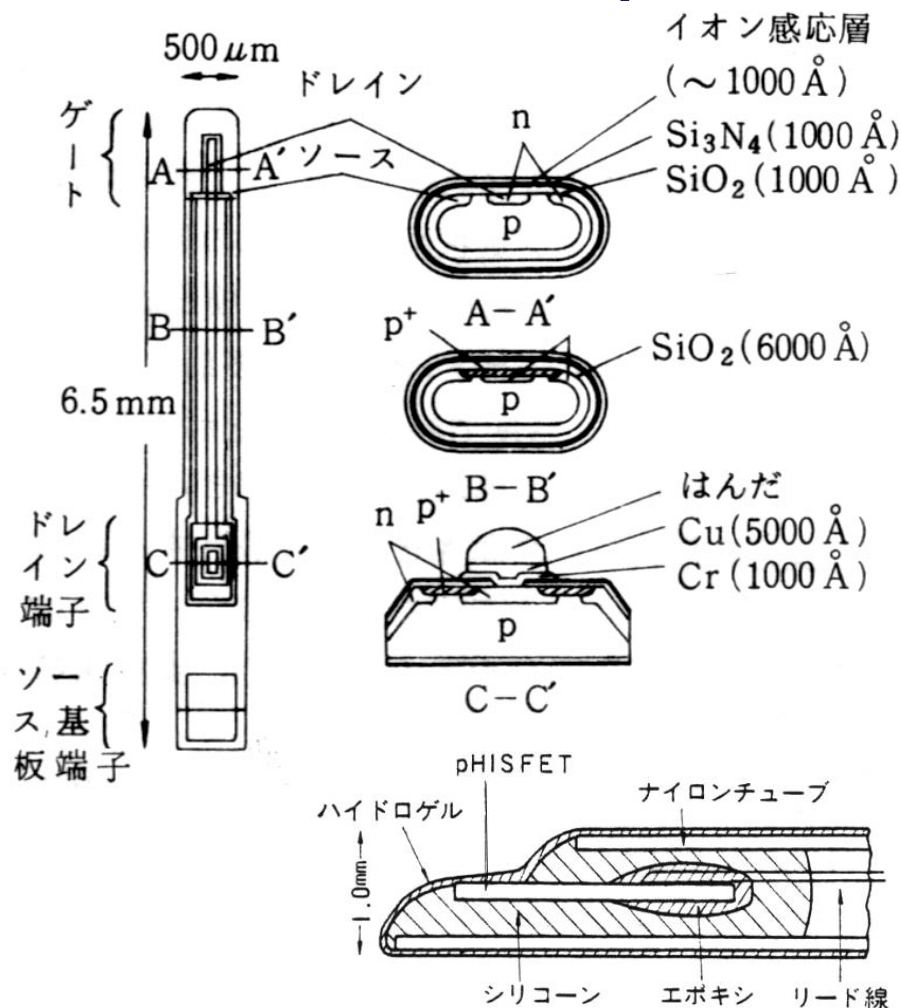
# 東北大学／江刺教授によるMEMSデバイス開発(1970年代)



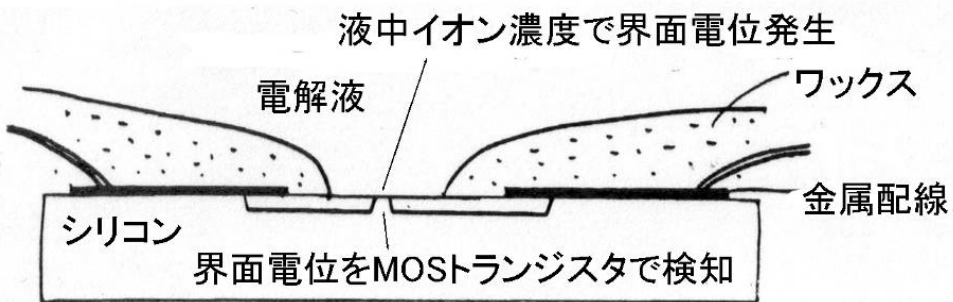
江刺 正喜  
(東北大学)



50 $\mu\text{m}$



半導体イオンセンサ (ISFET  
(Ion Sensitive Field Effect Transistor))  
装着し易く工夫



(松尾正之、江刺正喜、飯沼一浩, 電気  
関係学会東北支部連合大会 (1971))

(M. Esashi, T. Matsuo, Supplement to the  
J.J.A.P., 44 (1975) 339)

(東北大学／江刺教授提供)



## Silicon as a Mechanical Material

KURT E. PETERSEN, MEMBER, IEEE

**Abstract**-Single-crystal silicon is being increasingly employed in a variety of new commercial products not because of its well-established electronic properties, but rather because of its excellent mechanical properties. In addition, recent trends in the engineering literature indicate a growing interest in the use of silicon as a mechanical material with the ultimate goal of developing a broad range of inexpensive, batch-fabricated, high-performance sensors and transducers which are easily interfaced with the rapidly proliferating microprocessor. This review describes the advantages of employing silicon as a mechanical material, the relevant mechanical characteristics of silicon, and the processing techniques which are specific to micromechanical structures. Finally, the potentials of this new technology are illustrated by numerous detailed examples from the literature. It is clear that silicon will continue to be aggressively exploited in a wide variety of mechanical applications complementary to its traditional role as an electronic material. Furthermore, these multidisciplinary uses of silicon will significantly alter the way we think about all types of miniature mechanical devices and components.

miniaturized mechanical devices and components must be integrated or interfaced with electronics such as the examples given above.

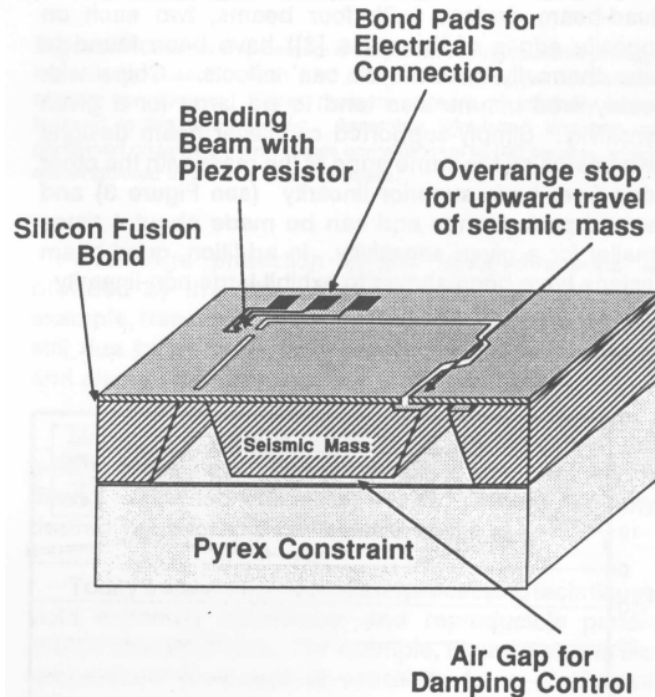
The continuing development of silicon micromechanical applications is only one aspect of the current technical drive toward miniaturization which is being pursued over a wide front in many diverse engineering disciplines. Certainly silicon microelectronics continues to be the most obvious success in the ongoing pursuit of miniaturization. Four factors have played crucial roles in this phenomenal success story: 1) the active material, silicon, is abundant, inexpensive, and can now be produced and processed controllably to unparalleled standards of purity and perfection; 2) silicon processing itself is based on very thin deposited films which are highly amenable to miniaturization; 3) definition and reproduction of the

(Kurt E. Petersen, "Silicon as a Mechanical Material", In Proc. of the IEEE, Vol.70, No.5, May 1982)

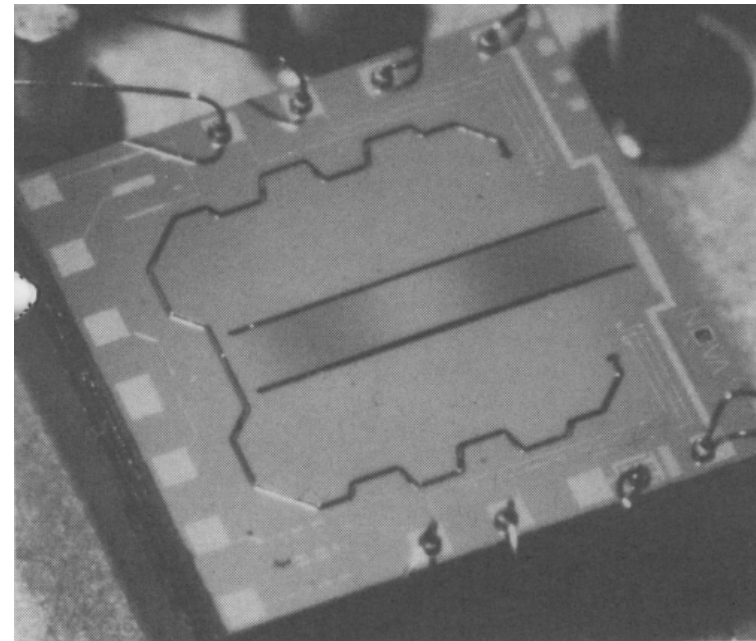


## New Technologies for Silicon Accelerometers Enable Automotive Applications

Janusz Bryzek, Kurt Petersen, Lee Christel, and Farzad Pourahmadi  
Lucas Nova Sensor



**Figure 1** Schematic drawing of silicon micromachined acceleration sensing chip. This drawing shows a cross-section through one of the sensing beams and through the seismic mass. The chip size is 3.4 x 3.4 mm, 1.25 mm thick. In an acceleration field, the seismic mass moves up or down, thereby stressing the two beams containing the piezoresistors, and generating an output signal. The bending beams and the over-range stops are created by silicon fusion bonding.



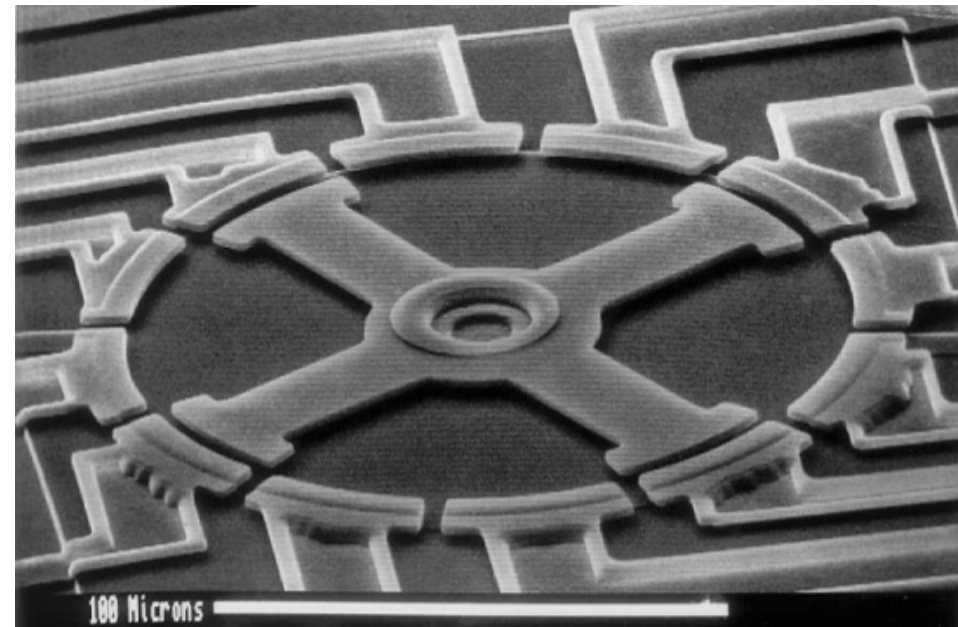
**Figure 8** Photomicrograph of a 50G self-test chip, wire bonded into a TO-5 header. The actuator beam is activated in this photo and appears slightly shadowed as it pushes down on the end of the seismic mass. The beam stretches from right to left from one side of the chip (on the right of the photo) to the end of the seismic mass (toward the left edge of the photo).

(Janusz Bryzek, Kurt Petersen, Lee Christel, and Farzad Pourahmadi, *Sensors and Actuators* 1992, pp.25-32)

**BSAC (Berkeley Sensor & Actuator Center), the NSF (National Science Foundation) Industry / University Cooperative Research Center for MEMS, was founded in 1986 to conduct commercially relevant interdisciplinary engineering research on micro- and nano-scale sensors, moving mechanical elements, microfluidics, materials, and processes that take advantage of progress made in integrated-circuit, bio, and polymer technologies.**

### Electrostatic Micro-motor

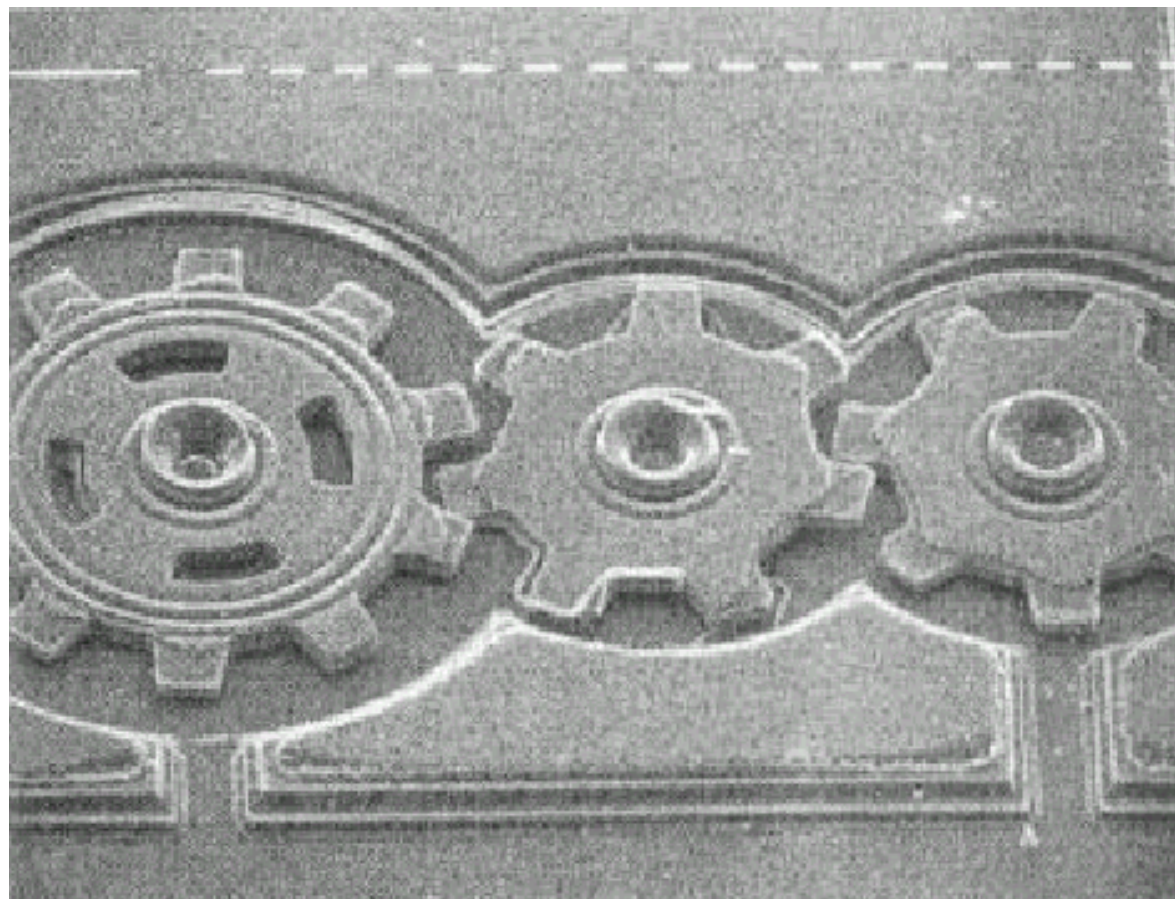
(L. S. Fan, Y. C. Tai and R. S. Muller, "IC-processed Electrostatic Micro-motors", IEEE Int. Electron Devices Meeting (1988), pp.666-669)



The term MEMS was coined around 1987, when a series of three workshops on Microdynamics and MEMS was held in July 1987 at Salt Lake City, Utah ; in November 1987 at Hyannis, Massachusetts ; and in January 1988 at Princeton, New Jersey, ushering in a new era of microdevices.

The field of solid-state transducers has traditionally been application driven and technology limited, and has emerged as an interdisciplinary field which involves many areas of science and engineering. MEMS is expected to follow a similar trend.





(K. J. Gabriel, W. S. N. Trimmer and M. Mehregany, “Micro gears and turbines etched from silicon”, in Tech. Digest of the 4<sup>th</sup> Int. Conf. On Solid-State Sensors and Actuators (Transducers '87, Tokyo, June 1987), pp. 853-856)

SPPがIX200(研究開発用半導体一貫製造システム)を開発・製品化  
(LP-CVD装置を工業技術院計量研究所に初出荷)



## IX200

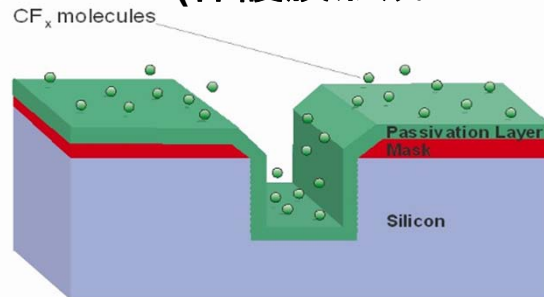
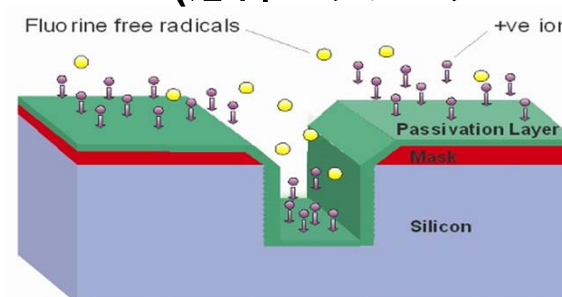
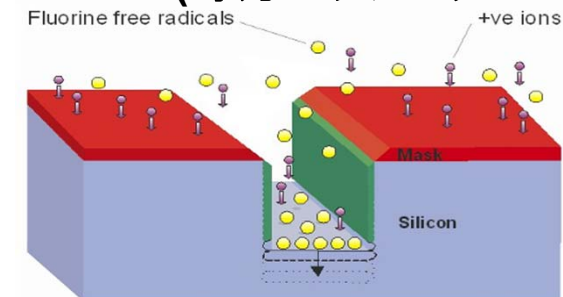
USER LABORATORY



IX200のLP-CVD(2013年撮影)  
神永 兵庫県立大学  
前中教授



- 1993年 Robert Bosch GmbH社が、『Boschプロセス』をMEMS加工装置に具現化するパートナーとして英国STS社(現SPTS社)を選定し、装置・プロセス開発を開始
- 1994年 Bosch社のLärmer氏によるスイッチングプロセス特許成立  
=> 所謂『Boschプロセス』
- 1995年 SPPの傘下となったSTS社より  
『世界初のBoschプロセス対応シリコン深掘り装置』をリリース
- このプロセスがMEMS製造におけるキー技術となり、95%以上の使用率

Phase 1(保護膜形成:  $C_4F_8$ )Phase 2(底部エッチング:  $SF_6$ )Phase 3(等方エッチング:  $SF_6$ )

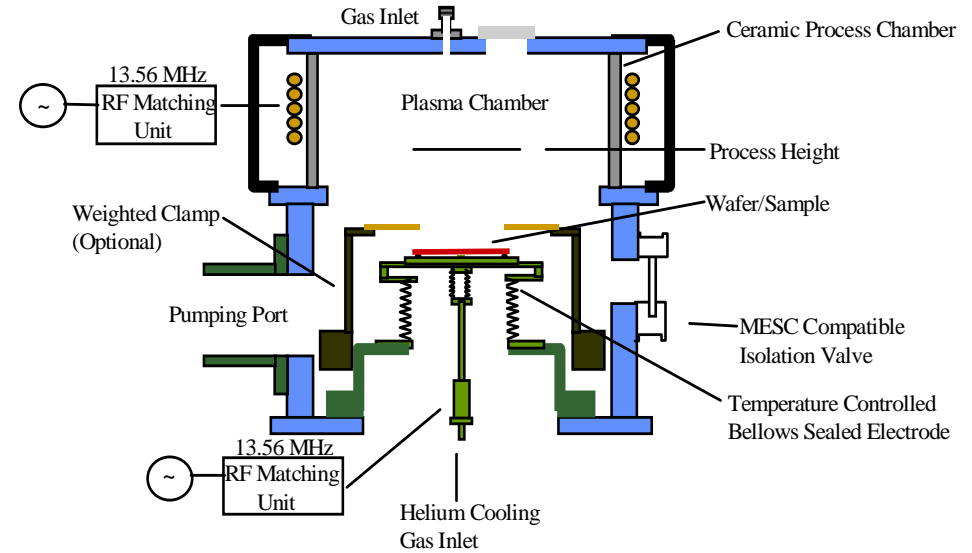
Back to Phase 1



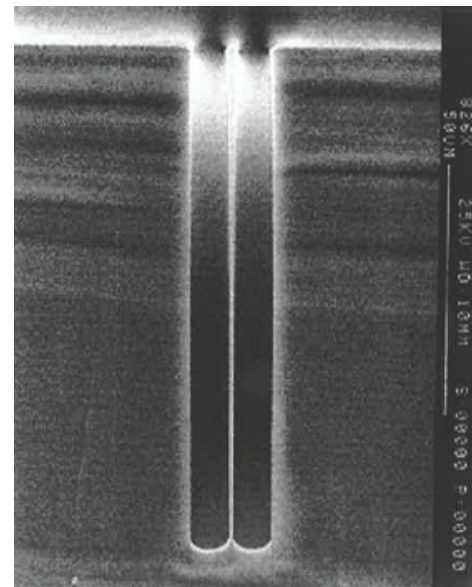
STS社製シリコン深掘り装置

## 代表的なプロセス性能

- エッチングレート  $\geq 2.0 \mu\text{m}/\text{min}$
- 選択比(PRマスク)  $\geq 75:1$
- 選択比(SiO<sub>2</sub>マスク)  $\geq 150:1$
- 側壁角度  $90^\circ \pm 1^\circ$
- 対応可能アスペクト比  $\geq 30$



## ICPプラズマを用いた装置の断面構造

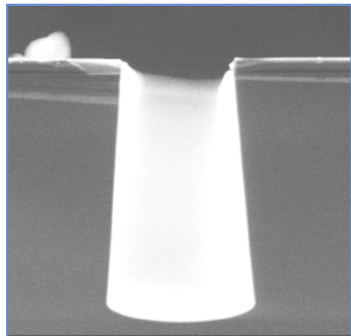
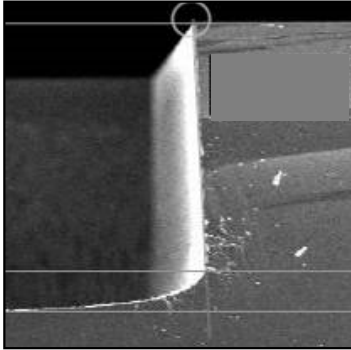


5  $\mu\text{m}$  幅トレンチ、  
PRマスク

### プロセス性能

- エッチングレート  $2.2 \mu\text{m}/\text{min}$
- 側壁角度  $90^\circ \pm 0.25^\circ$
- アスペクト比  $> 20$
- エッチング深さ  $100 \mu\text{m}$

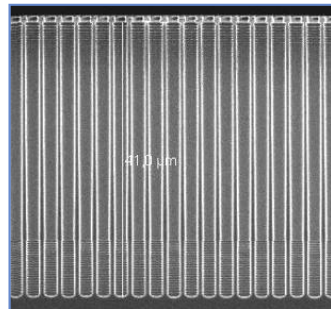
**High Rate**  
Cavities, Caps,  
Ink-jets



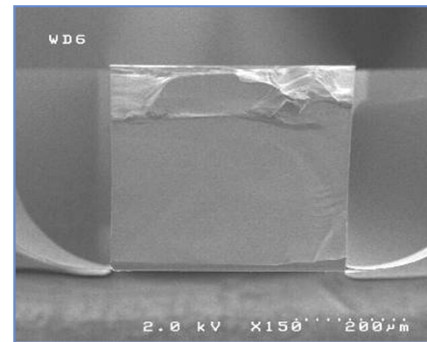
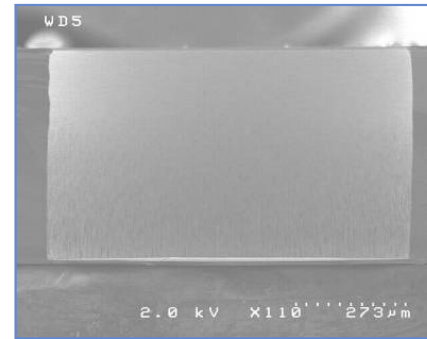
**High Aspect Ratio**  
~0.4 μm trenches  
100:1 AR



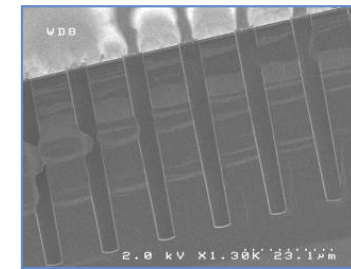
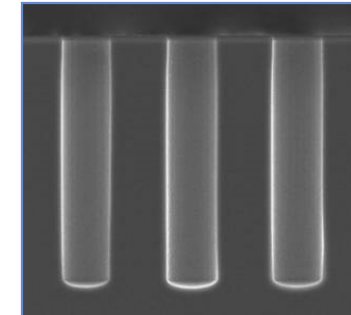
**High Aspect Ratio**  
1.7 x 41 μm  
24:1 AR



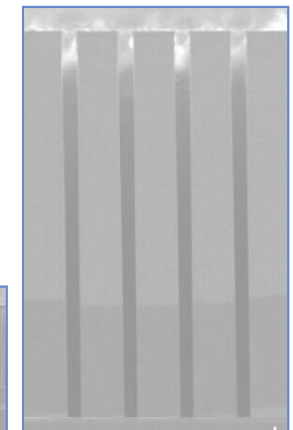
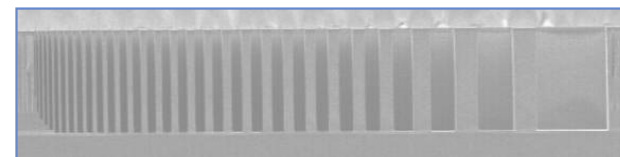
**Through Wafer**  
Sensors,  
Microphones



**Scallop Free**  
<6nm 'waves'

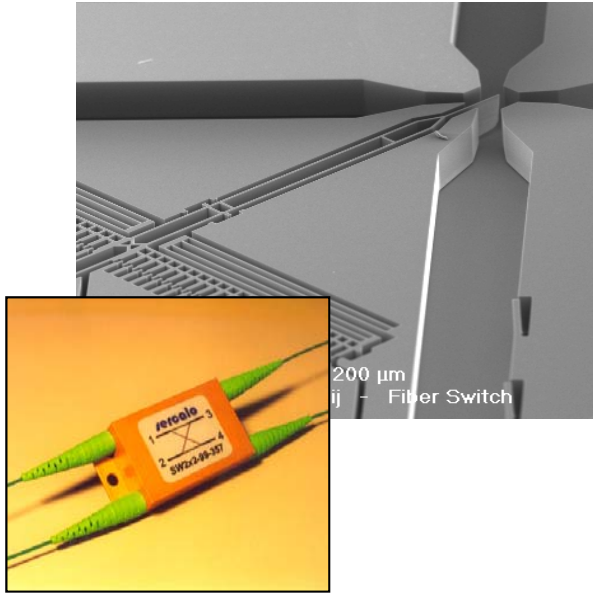


**SOI**  
3 x 50 μm  
17:1 AR

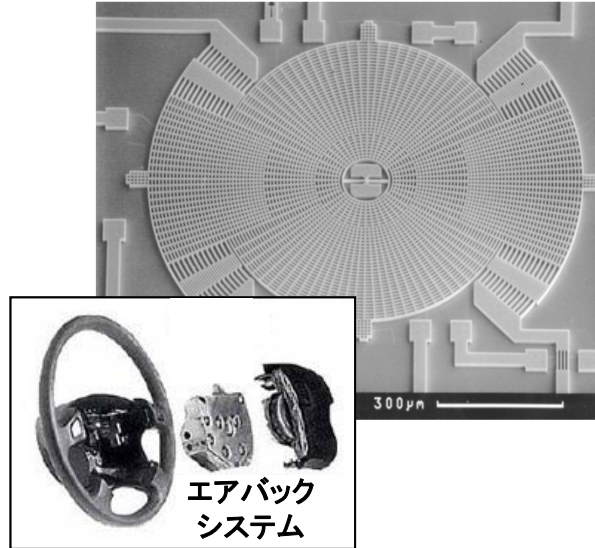




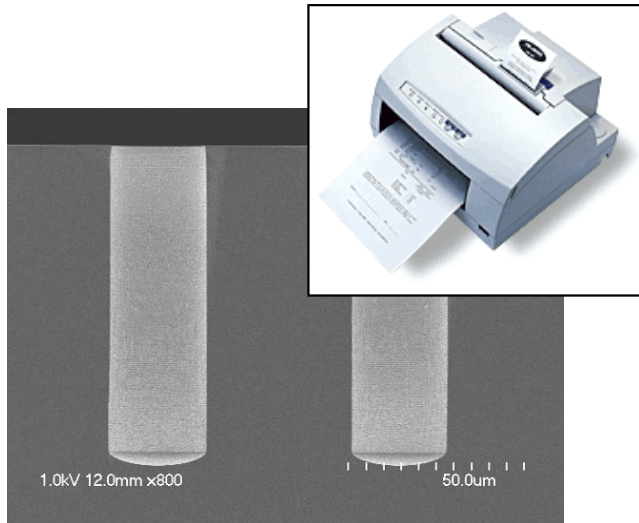
光 MEMS (IMT Neuchatel殿提供)



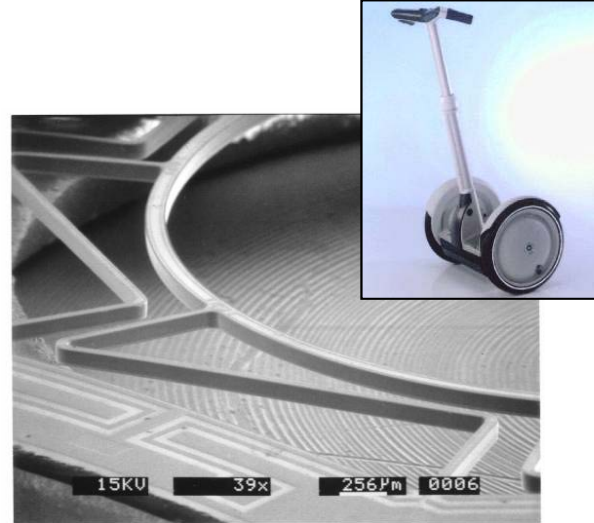
モーショセンサ (Bosch殿提供)



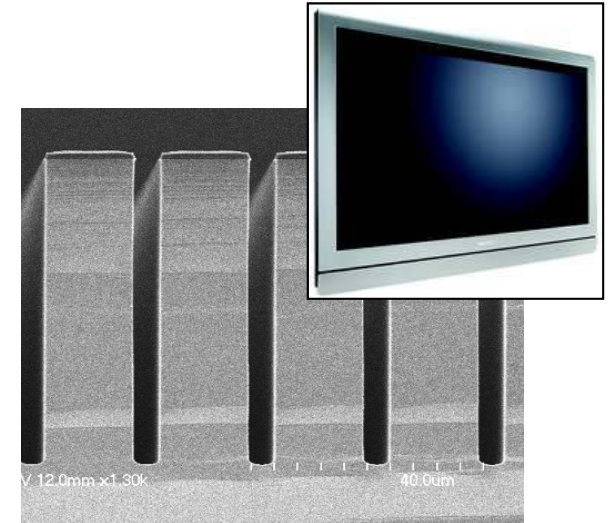
シリコンマイクロフォン



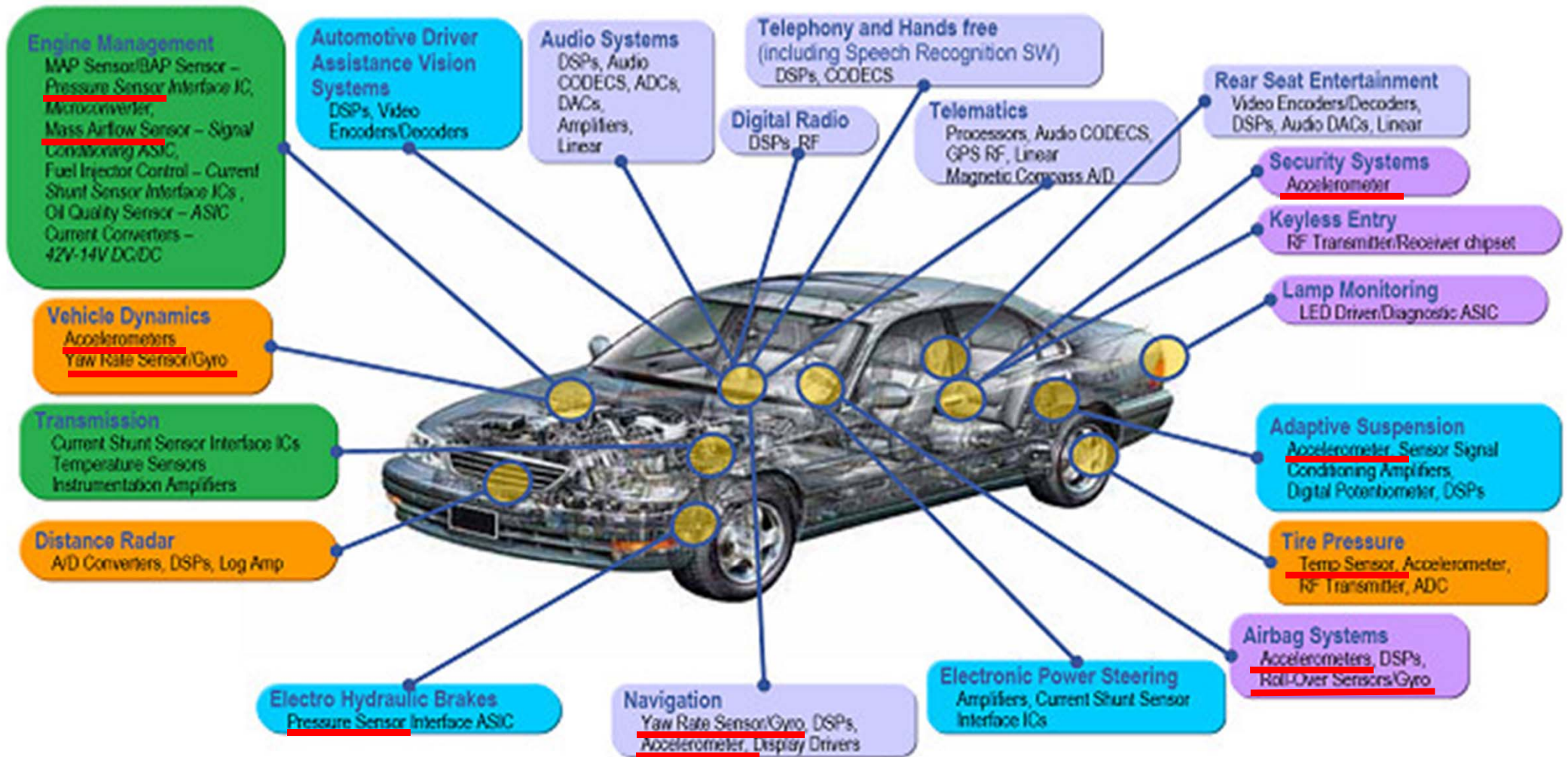
インクジェットヘッド



ジャイロセンサ (SSS殿提供)



パワーデバイス



車載センサ： 現在60~125ヶ  
MEMSセンサ： 革新的な小型化、軽量化、低消費エネルギー

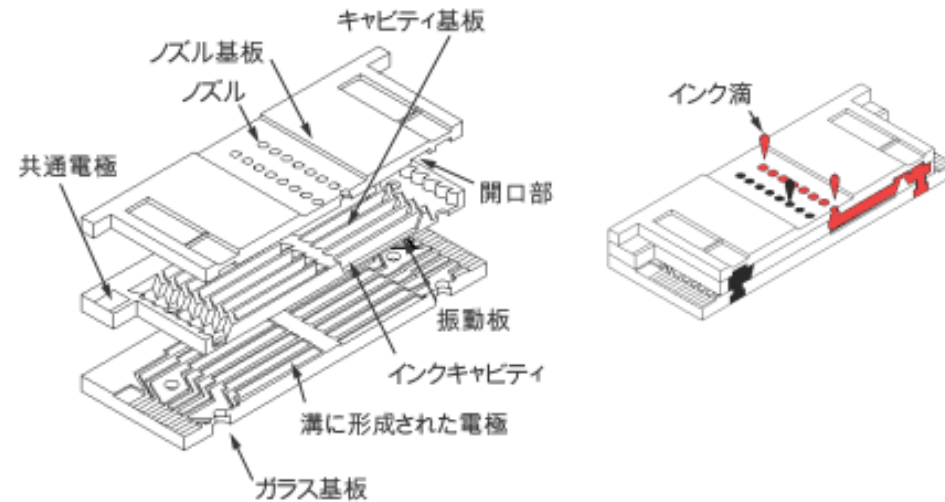




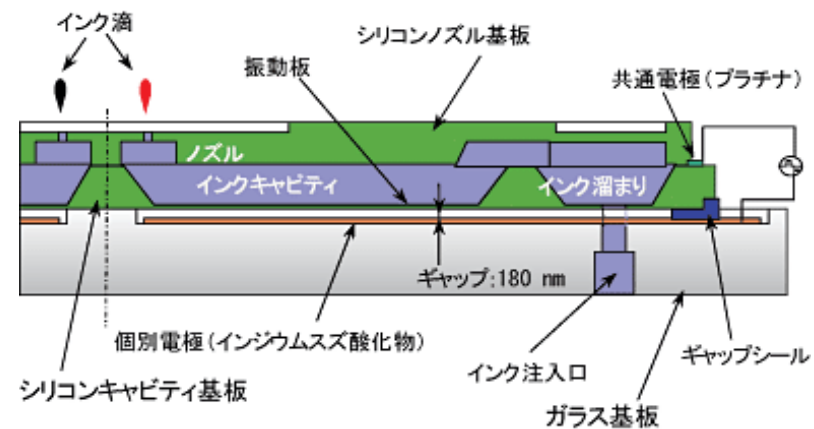


エプソンのインクジェットPOSプリンタ「TM-J7100」

SEAJetプリントヘッドの分解図



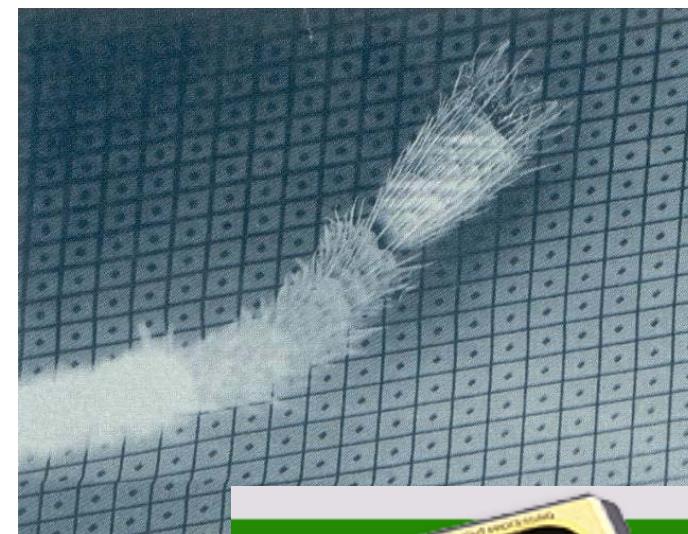
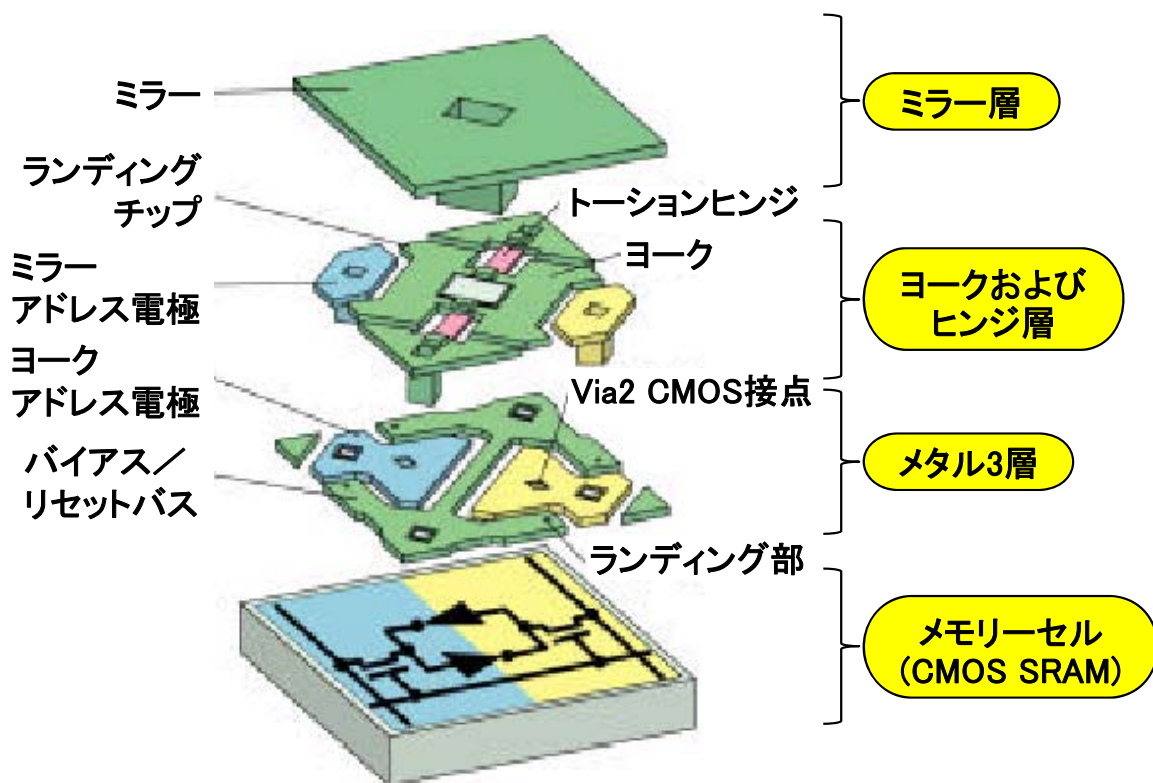
SEAJetプリントヘッドの断面図



セイコーエプソン

(<http://www.epson.jp/osirase/newsline/2003/pdf/tnl0302.pdf>)

## DMD: Digital Micromirror Device

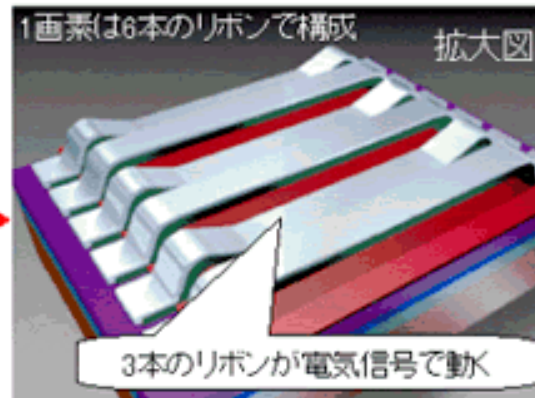
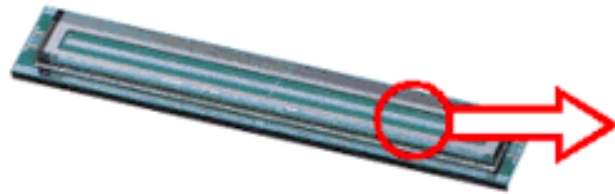


Texas Instruments

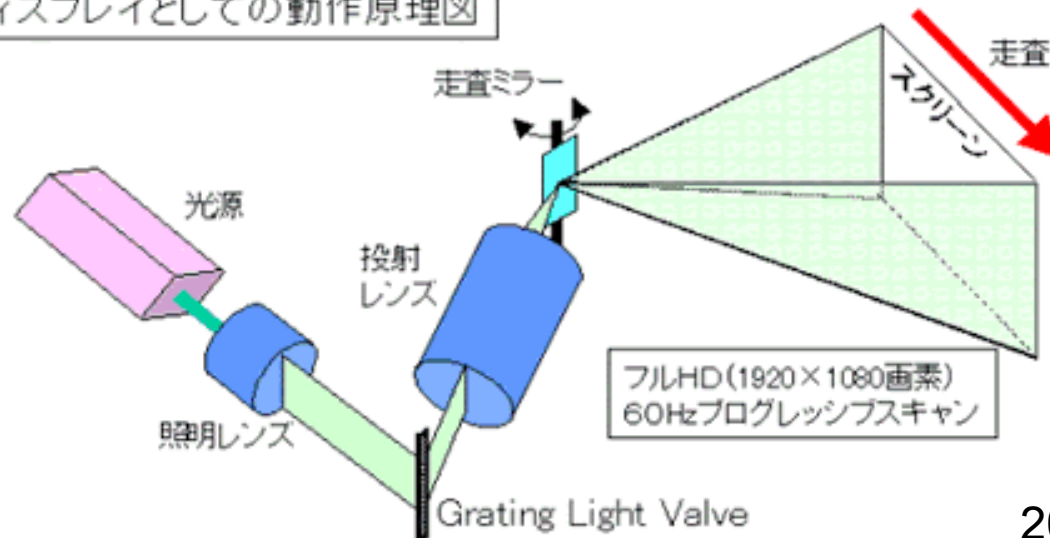
(出所: 竹内利一 「ビデオα 2000年7月号」)

## ディスプレイ(GLV)

デバイスの構造



ディスプレイとしての動作原理図



フルHD (1920×1080画素)  
60Hzプログレッシブスキャン



2005年日本国際博覧会(愛知万博)における  
2005インチ型(縦10m×横50m)スクリーン

ソニー

(<http://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/Press/200412/04-063/>)





**ゲーム機(2006年～)**  
**(任天堂Wiiコントローラー)**



**スマートフォン(2007年～)**  
**(Apple社iPhone)**



## ~ MEMS Gyroscope, Motion and Magnetic Sensor ~



Gyroscope of  
STMicroelectronics



Motion and Magnetic Sensor of  
STMicroelectronics

([http://www.st.com/internet/com/press\\_release/p3198.jsp](http://www.st.com/internet/com/press_release/p3198.jsp))

([http://www.st.com/jp/com/press\\_release/p3154.jsp](http://www.st.com/jp/com/press_release/p3154.jsp))

1 ECM  
microphone



iPhone

1 ECM  
microphone



iPhone 3GS

2 MEMS  
microphone  
+ 1 MEMS  
microphone for  
Headset



iPhone 4

3 MEMS  
microphone  
+ 1 MEMS  
microphone for  
Headset



iPhone 5

3 MEMS  
microphone  
+ 1 MEMS  
microphone for  
Headset



iPhone 6

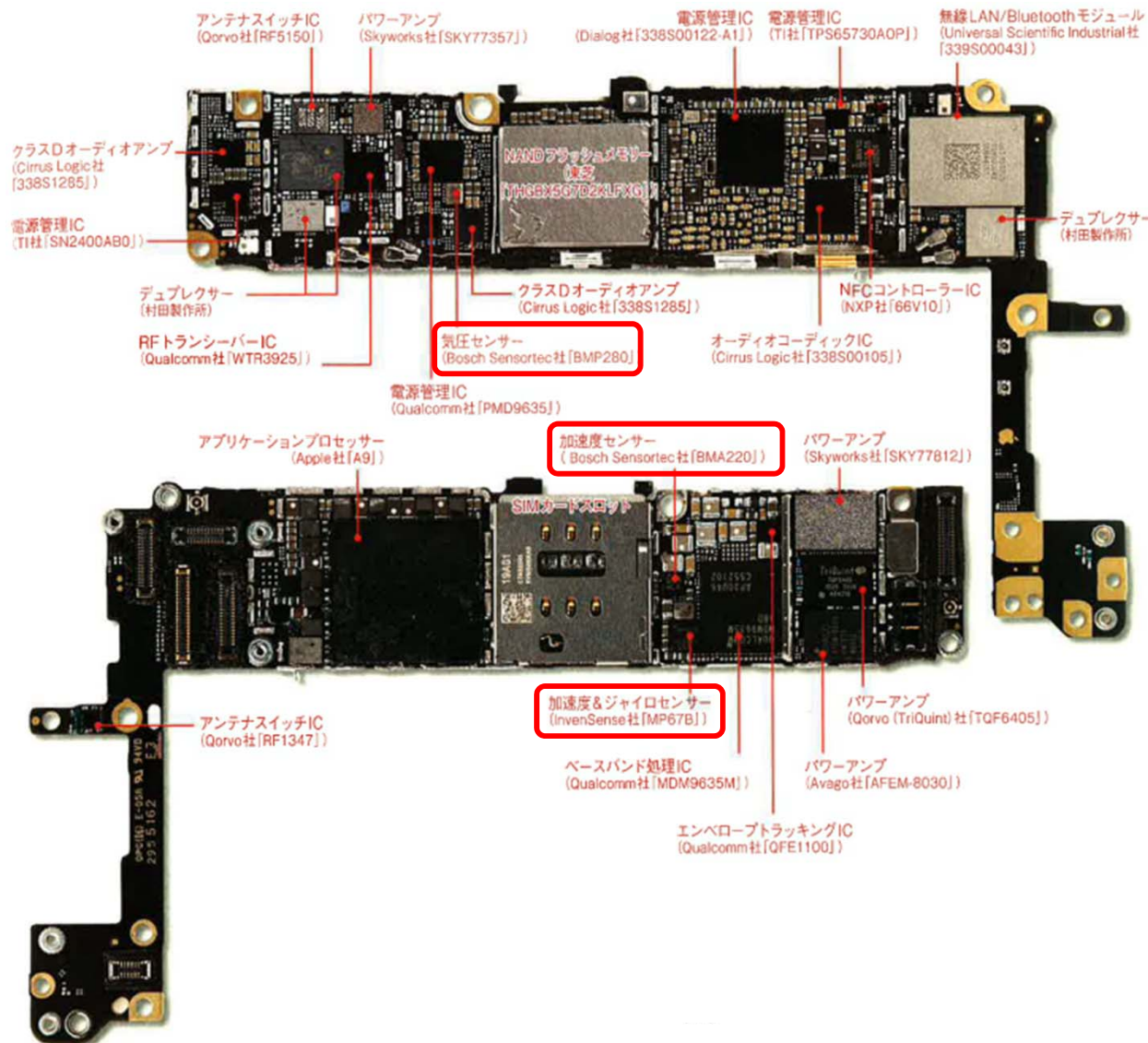
4 MEMS  
microphone  
+ 1 MEMS  
microphone for  
Headset



iPhone 6s

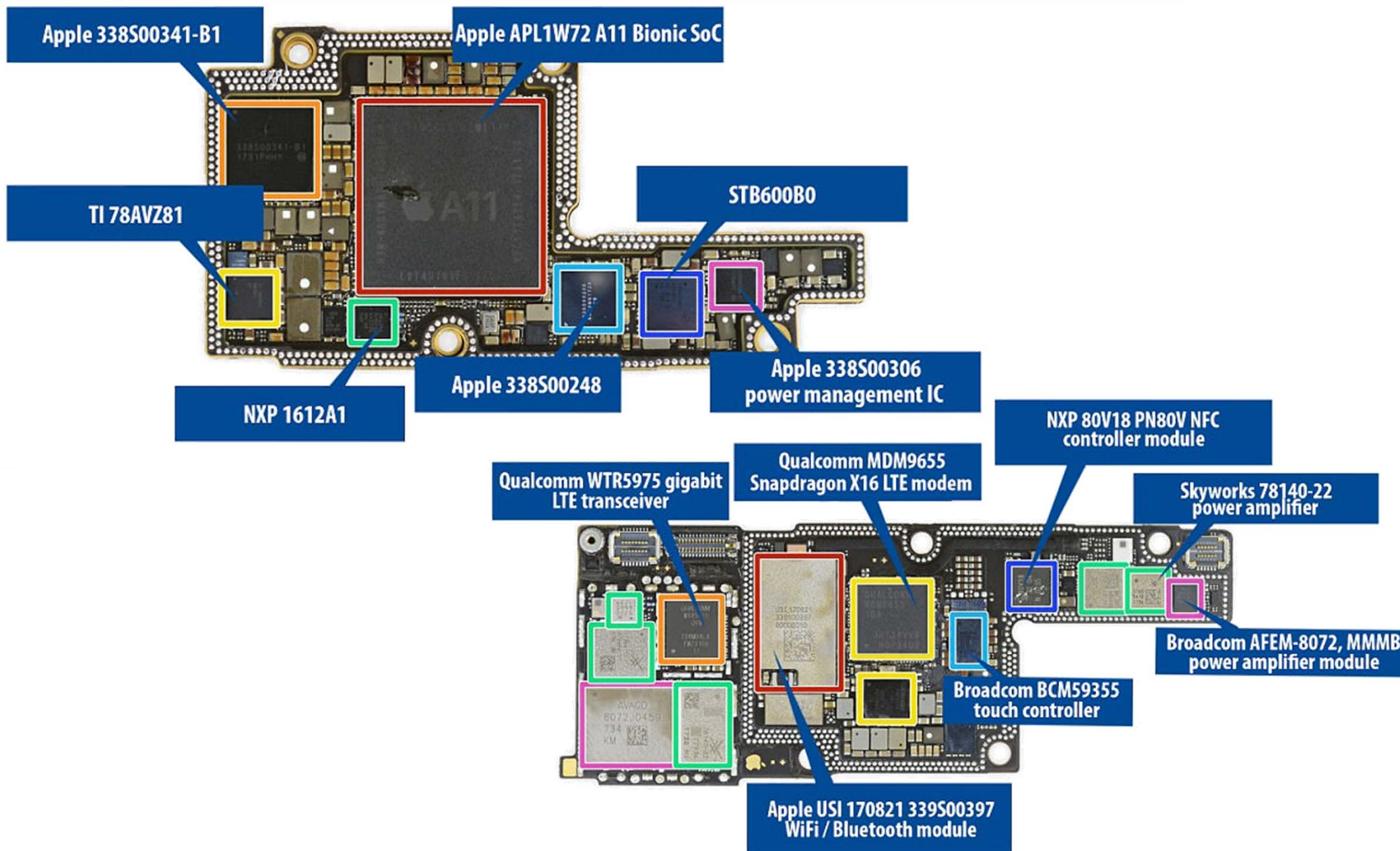
(出所: IHS iSuppli: MEMS Exec Congress 2012の資料を基に作成)

## iPhone 6sのメイン基板



(出所: 日経エレクトロニクス2015年11月号, p73)





(<http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5047657/Inside-iPhone-X-teardown-reveals-TWO-batteries.html>)





Scrolling

Gaming



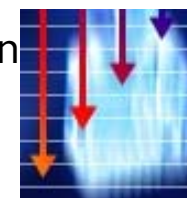
Vibration sensors

Activity monitor



Navigation

Freefall detection



Weather forecast

Context awareness



Image stabilizer

Health monitor

