

Semiconductor Manufacturing in Japan

Dataquest Conference, Phoenix, 1981

Invited Speech

解説

Dataquest が主催するこの会議は、半導体関連の会議としては当時最大規模のものであり、1981年の10月14日から16日までの3日間にわたって行われた。インテルのロバート・ノイス、AMDのジェリー・サンダース、モトローラのゲイリー・ツッカーなど、半導体分野における指導的経営者が顔を揃えていた。私にとっては、国際会合での講演としては初舞台であり、いわばデビュー戦として忘れることのできない講演であった。

1981年は日米半導体摩擦が実質的にスタートした年であるといえる。同年の3月、米国のフォーチュン誌にジーン・ピリンスキー記者が「日本半導体の挑戦」と題するセンセーショナルな記事を書いた。この時期は64KビットのDRAMが立ち上がり始めたところで、日本メーカーが優位に立っていた。ピリンスキーの記事は「64KのDRAMで米国が日本に敗れば、それは半導体のみならず、それよりはるかに規模の大きいコンピュータが危機にさらされる」というトーンで書かれていた。

この年の秋には調査会社から、64KビットDRAMで日本が7割のシェアを獲得し、なかでも日立は世界の3割のシェアを取ったと発表された。

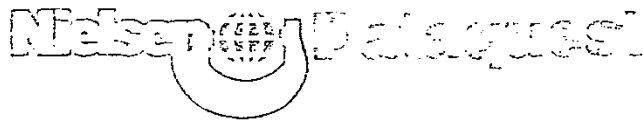
そのような中で、日本からただ一人この会議に招待され、スピーチを行うことになった。いわば四面楚歌のような状況の中で、もっともデリケートなテーマについての講演であった。このような時代の背景を踏まえて、なるべく身近な事例を引用しながら、日本における半導体製造の特質を述べたものである。

まず、日本のおかれた地理的条件から始まって、日本市場の特徴(民生分野がリード)、技術の特徴(ローパワー指向が強く、CMOSの高速化でリード)などについて触れる。日本に特有な年間行事、小集団活動を紹介し、教育の重要性を強調する。

この講演の中でのもっとも強いメッセージは、「今後の半導体の主流はNMOSからCMOSにシフトする」ということであった。技術に精通した経営者からは「性能は凄いが、量産性は大丈夫か？」などの質問を多く受けたが、全体として強い印象を与えたのではないかと思う。

結言では「米国は半導体産業において断然トップの位置にあり、特にマイコン分野に強みがある」として、エールを送った。日本では微細加工品の製造に強みを発揮しているが、小集団活動を中心としたチームワークの効果もその要因となっている。半導体の技術変遷は極めて早いので、人材教育が極めて重要であることを強調した。

本文から図面に続く



SEMICONDUCTOR MANUFACTURING IN JAPAN

Dr. Tsugio Makimoto
Deputy General Manager Musashi Works
Hitachi, Ltd.

Dr. Makimoto is a Deputy General Manager of Musashi Works, Semiconductor and IC Division, Hitachi Ltd., with responsibility for all MOS engineering departments. Since joining Hitachi in 1959, he has been engaged in semiconductor device engineering and manufacturing. In 1968 Dr. Makimoto was promoted to Senior Engineer in the Integrated Circuit Engineering Department, where he developed several MOS logic devices for calculators and watches. Dr. Makimoto received a B.S. in Applied Physics and a Ph.D. in Electrical Engineering from the University of Toyko, and an M.S. degree in Electrical Engineering from Stanford University.

DATAQUEST, Inc.
SEMICONDUCTOR INDUSTRY CONFERENCE
October 14, 15, and 16, 1981
Phoenix, Arizona

この講演はDataquest社からの依頼で「日本の半導体製造」について行ったものである。当時の私のポストは日立製作所武蔵工場の副工場長であり、MOS製品の技術部門全般を統括していた。この頃は日米半導体摩擦のさ中であり、その点にも神経を使わなければならなかった。

Tsugio Makimoto

Musashi Works, Hitachi Ltd.

1. Geographical Setting

Japan is a small, isolated country consisting of four major islands, namely, Hokkaido, Honshu, Shikoku, and Kyushu. If Japan were an American state, it would rank fifth in geographical size, following Alaska, Texas, California, and Montana.

Land space is roughly 1/30 of that of America, and population of 115 million is roughly half the size of America, making Japan the most densely populated country in the world. Population density is about 300 people per square km which is roughly 15 times that of America.

Natural resources are limited and Japan has to depend on imports for most of its raw materials and energy resources.

Typhoons, volcanic eruptions and earth-quakes are typical examples of natural catastrophes which seem to have affected the mentality of the Japanese during their long history, so it is sometimes called "typhoon mentality".

Fig.1 shows a semiconductor map of Japan indicating production facilities of Japan-based and U.S.-based companies.

2. Semiconductor Market

In the past several years, the semiconductor market structure in Japan has been gradually and steadily changing (Fig.2).

Up to the early 70's, consumer sectors such as TV's, Audio's, Calculators, and Watches shared the major portion. But the trend is shifting toward higher share of computer and industrial sectors. However, new consumer sectors such as VTR, is increasing at a rapid growth rate and is now becoming a major part of the consumer field.

Memories, Microprocessors, and Standard Logic Circuits are major components for computer and industrial sectors. Recently, however, strong demand and interest are emerging for the introduction of gate arrays for improving performances, packaging density, reliability, and cost of systems.

For new consumer sector such as VTR, bipolar linear IC's and discrete devices, are major components. There is a steady trend, however, for more and more MOS devices to be introduced for the

まず、日本のおかれた地理的状況、自然災害などの特徴について触れる。日本の国土は米国の1/30、人口は約1/2、人口密度は約15倍もある。地震、台風、火山などの災害も多く、日本人の精神性に少なからず影響を与えている。

日本の市場は民生用を中心に立ち上がったが、次第にコンピュータ・産業部門の比率が高くなっている。製品としてはメモリ、マイコン、標準ロジックなどが中心だが、近年はVTRなどの用途にリニアICが増えている。しかし、これからの大きなトレンドはMOSの増加である。

sophistication of equipment.

Fig.3 compares the market structure of Japan and America.

3. Semiconductor Technology

Technology development has a strong relationship with market structure.

In other words, the market is a strong pulling force for technology.

Up to the early 70's, the pulling forces or locomotives were calculators and watches for MOS LSI's, and TV's and Audio's for Bipolar IC's.

In the case of calculators, for example, essential requirements by calculator manufacturers were for high volume, low cost, high reliability production techniques because of the very competitive nature of the products. Also, in relation to product development, high density and low power circuits were permanent requirements from customers.

This led to the development of high density C-MOS circuits which are now applied to memories and microprocessors (Fig.4).

Fig.5 shows the trend of the evolution of fine pattern technology.

Fig.6 is the classification of MOS device technology with typical vehicles of technological development. The next target of development will be 2 μ m technology with vehicles of 256K Dynamic RAM and 64K Static RAM.

Fig.7 shows evolution of MOS device technology, and it's dramatic changes in the past five years.

4. Annual Events

A New Year in Japan starts with "Hatsumode" which is literally the first celebration of the year at a shrine (Fig.8). It is not unusual for a factory of a company to have its own shrine on its premises. People wish for longevity, prosperity, safety, and sometimes, for passing examinations (Fig.9).

The fiscal year as well as the school year starts in April. Prior to the start of the new fiscal year, a new budget has to be fixed. Budget making is a fairly lengthy procedure, occupying a couple of months. Challenging targets are set for the activities of the next six months. The first budget period, which is called "KAMI", ends in September, and the next period of "SHIMO" starts in October.

The month of December is for "Bonenkai" which literally means Forgetting-the-last-year party. The highlight of the year is the ceremony of awarding prizes for outstanding performances by staff members during the past year.

技術開発と市場の構造とは密接な関係がある。70年代前半で牽引役を果たしたのは、MOSでは時計と電卓であり、バイポーラではテレビとVTRであった。時計や電卓では低コスト、ローパワー、高信頼が要求され、これは高集積CMOSの開発につながり、メモリ・マイコン分野にも波及している。続いて日本の企業活動における主な年間行事について触れる。1月の初詣から12月の忘年会に至る行事が紹介される。

5. Circle Activities

Circle Activities in Japan date back to the early 60's when Nippon-Kokan started a so-called "QC circle" in 1961, followed by NEC with their "Zero Defect Movement" in 1965 (Fig.10). This kind of movement was first initiated by American industries rather than by Japanese. QC Movement in American industry dates back to 1951 which was 10 years earlier than the first Japanese movement.

Today, however, the circle activities have become established in Japan and are regarded as important factors for quality and productivity improvements. The wide spread distribution of the movement can be attributed to many factors including homogeneity of society, uniformity of education level, life-time employment, and loyalty to the company.

Hitachi has the largest number of suggested improvements from employees with 4,220 thousand suggestions in 1980 (Fig.11). Hitachi-Koki, a subsidiary company of Hitachi, achieved the highest suggestions per person, with 157 in 1980.

The highest number of suggestions made by a single person in 1980 is reported to be 6,919 by Mr. Ueda of Matsushita Electric Industrial Co, Ltd.. This is a tremendous number taking into account the days in a year.

The purpose of Activities is summarized in Fig.12. For promoting these activities, slogans or mottos are selected and displayed on posters or badges. A couple of examples of suggestions made by workers at Hitachi Musashi are shown in Fig.13.

6. Education

The importance of education can never be over-stated for those who are engaged in semiconductor manufacturing.

The reasons include ;

- 1) One of limiting factors of growth is the availability of trained engineers.
- 2) College education is oriented toward basic principles, so industries have to prepare education programs for their own special needs.
- 3) Technology is in a state of "revolution" which means that new technology at any one time becomes obsolete in a very short period.

Fig.14 shows trains of "technology waves", intervals of which is about five to ten years.

日本の企業活動の特徴となっている小集団活動について説明する。もともとは米国で1950年代にスタートしたのだが、日本において定着し、効果を上げている。その背景に触れ、いくつかの実例を紹介している。教育の重要性は、特に半導体分野において、強調しすぎるということはない。その実例を示す。

The school system in Japan is very similar to that of America. About 90 percent of people go to highschool which contributes to a high level of education for the direct workers. It is estimated that 35 to 40 percent of high-school graduates go to colleges.

Education programs in industry are very important from practical view-points. Fig.15 shows an example of the program in a company. Two years after joining the company are considered to be a "training period" and all freshmen have to go through the following program ;

- 1) Direct line work for 9 months.
- 2) Fire fighting training, a total of 40 hours.
- 3) Computer programming, a total of 200 hours.
- 4) Introductory Engineering course, including semiconductor physics, device theory, design, manufacturing and application, a total of 130 hours.
- 5) An English conversation program is provided as an option, but a qualification test has to be taken by all.
- 6) The highlight of the program is the paper preparation and presentation which will be critically reviewed by several managers from various view-points.

After the two year training period, many programs are prepared for engineers and managers depending on their needs. Although some programs are provided at each factory, corporate level education is also active. Hitachi has several institutions dedicated to education in various specialized fields.

7. Concluding Remarks

One of the significant differences between Japan and America is the geographical settings which have effects on shaping Japanese and Americans. It is sometimes argued that Japanese are good at thinking small, and Americans are good at thinking big.

Today, America is definitely at the position of No. 1 in semiconductor industries. Especially in the case of "big" items such as 16 bit or 32 bit microprocessors, Americans have demonstrated their strength in product definition and system engineering.

Recently, Japan has demonstrated its strength in productivity and quality of "small"-geometry products, such as memories. This is related to various factors such as market background, historical trend of technology, and employee movement such as circle activities.

日立の半導体部門を例として、大学卒の導入教育について紹介する。ライン実習、消防訓練、コンピュータ・プログラムなど6項目。

結論として言っていることは、地理的な条件が日米の思考の違いに影響していることを指摘。「米国は半導体産業において断然No.1だ」として、とくにマイコン分野の強みを上げた。日本の強みは微細化製品にあり、それは市場の背景、技術発展のトレンド、小集団活動などによるものであるとした。以下、個々の図面の説明に続く。

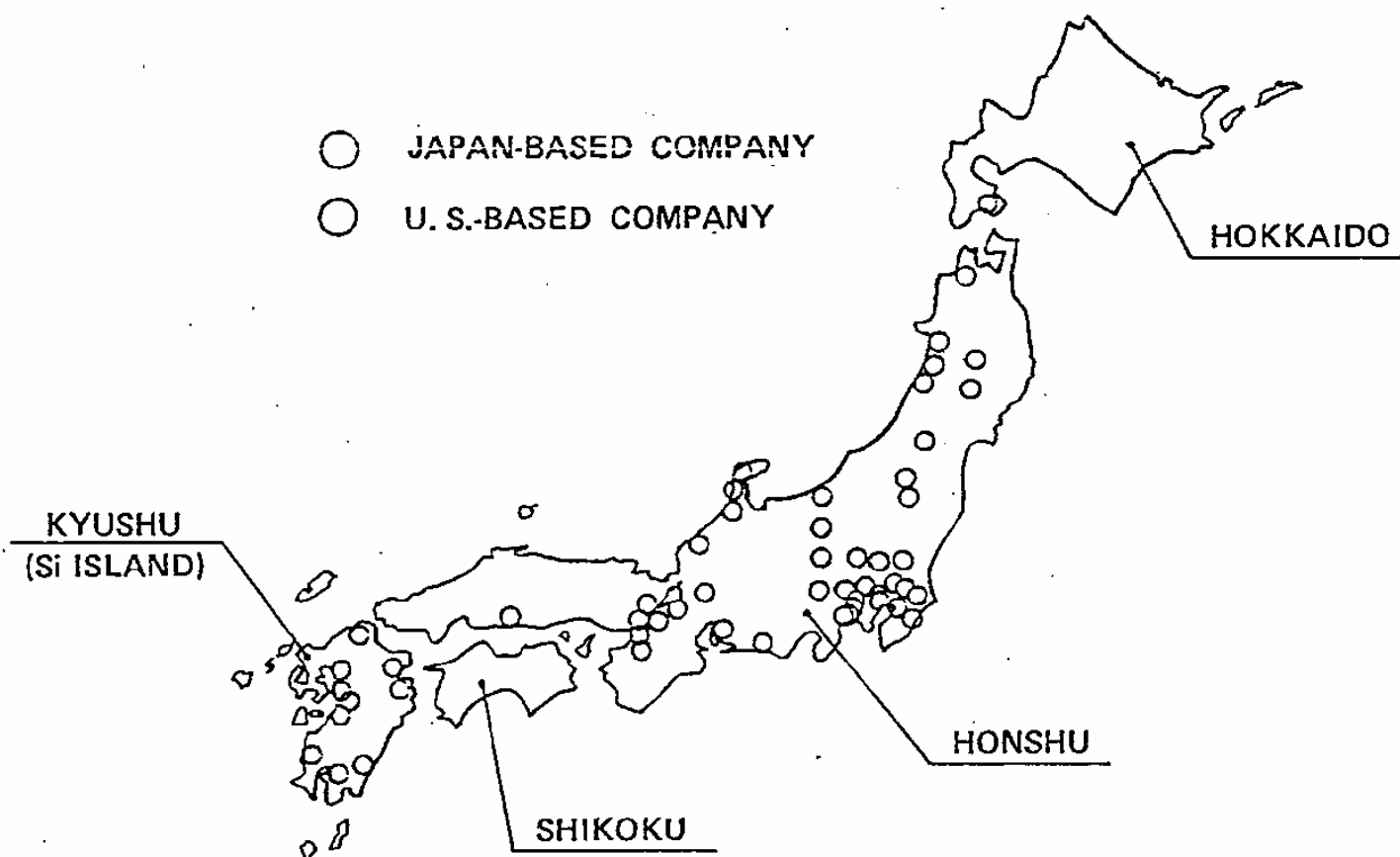


Fig. 1 SEMICONDUCTOR MAP OF JAPAN

日本の地理の概要と半導体工場の配置を示す。

特に九州には半導体工場が集中しており、「シリコン・アイランド」の異名をもつ。その背景の一つとして、九州はきれいな水が欠かせない焼酎の名産地でもあるが、このような水資源が豊富であることを挙げた。

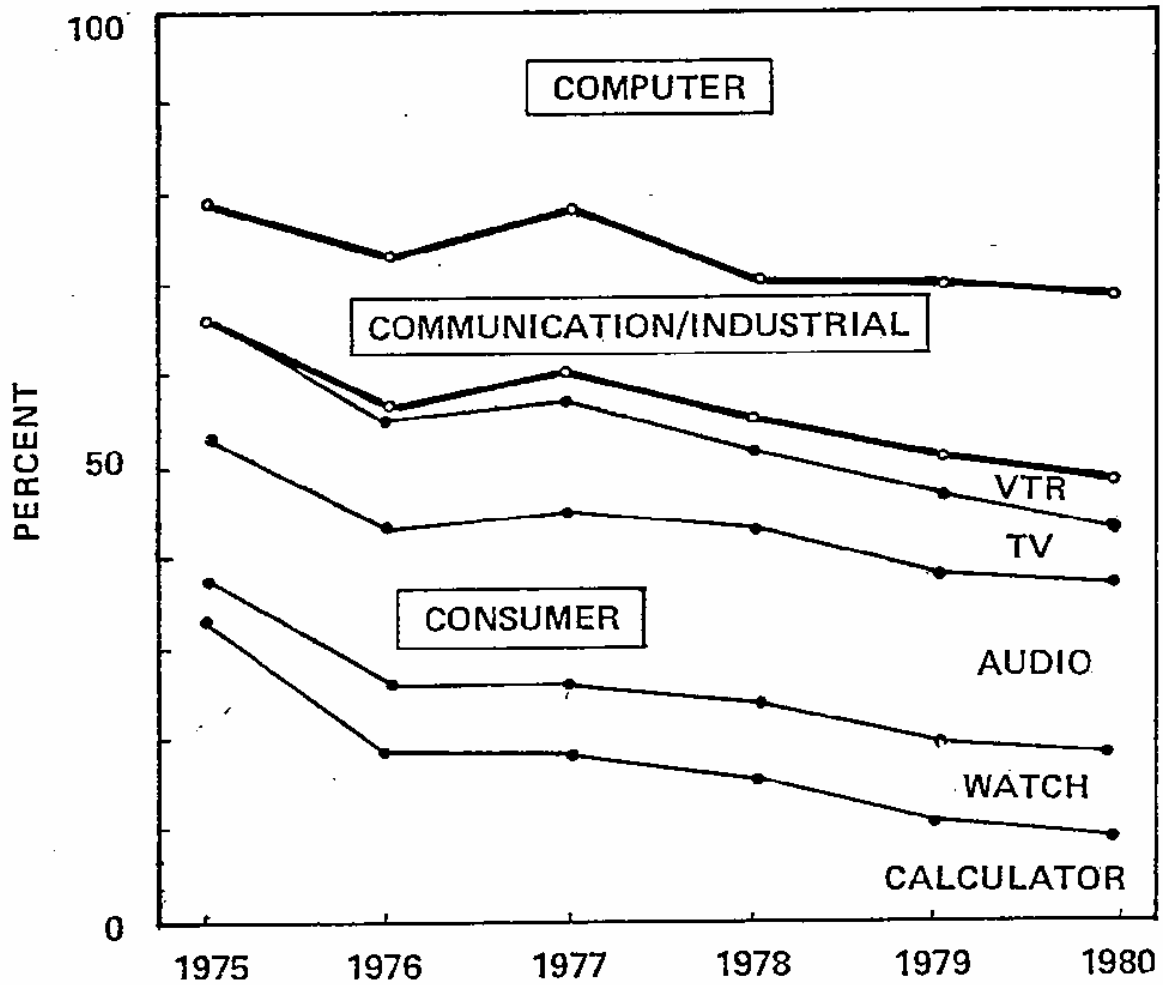
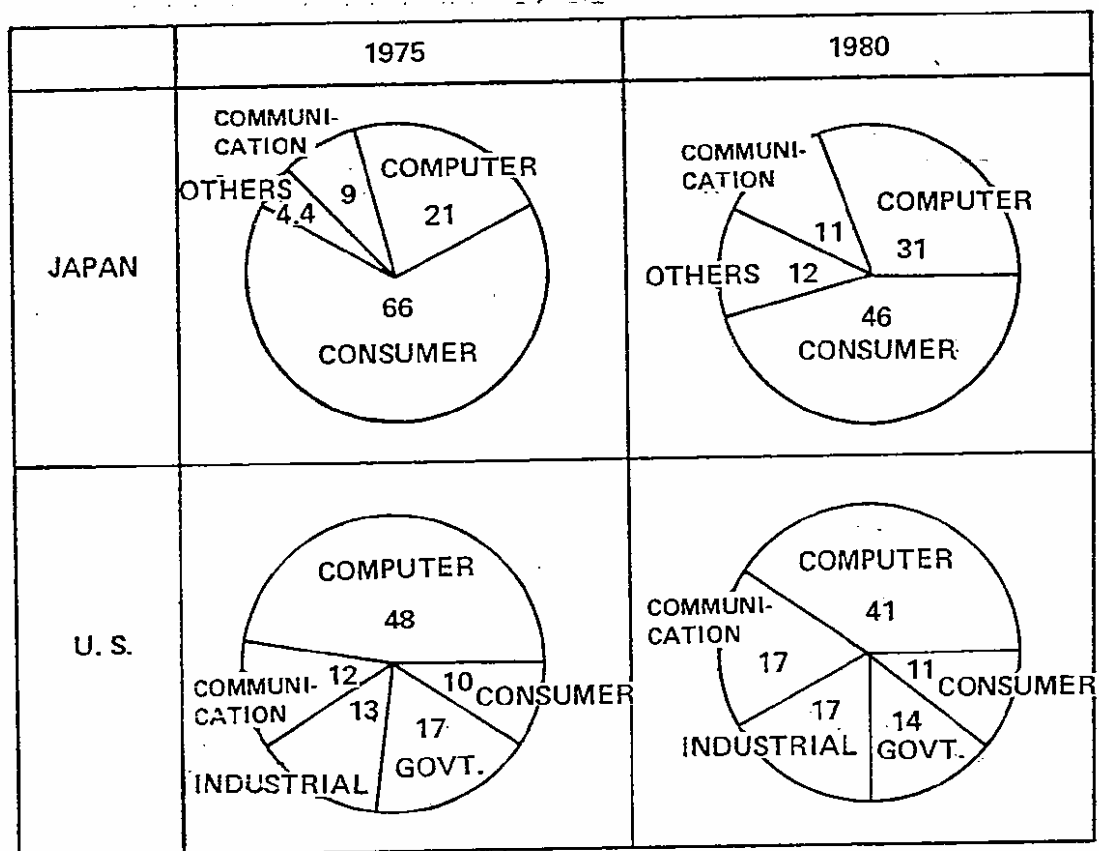


Fig. 2 TREND OF IC MARKET IN JAPAN

日本の半導体市場の推移を示す。1975年当時は電卓や民生分野の比率が大きかったが、1980年になると、コンピュータ・通信・産業用の比率が増していることを示す。民生分野ではTV関連が縮小し、VTR関連が伸びている。



F COMPARISON OF IC MARKET BETWEEN JAPAN AND U. S.

日米の市場構造を1975年と1980年について比較したものである。75年時点において、日本の最大の市場は民生分野であり、米国においてはコンピュータであった。1980年になっても両国の最大市場は変わらないものの、その比率は減少している。日本ではコンピュータの比率が上がり、米国では通信分野の躍進が顕著である。

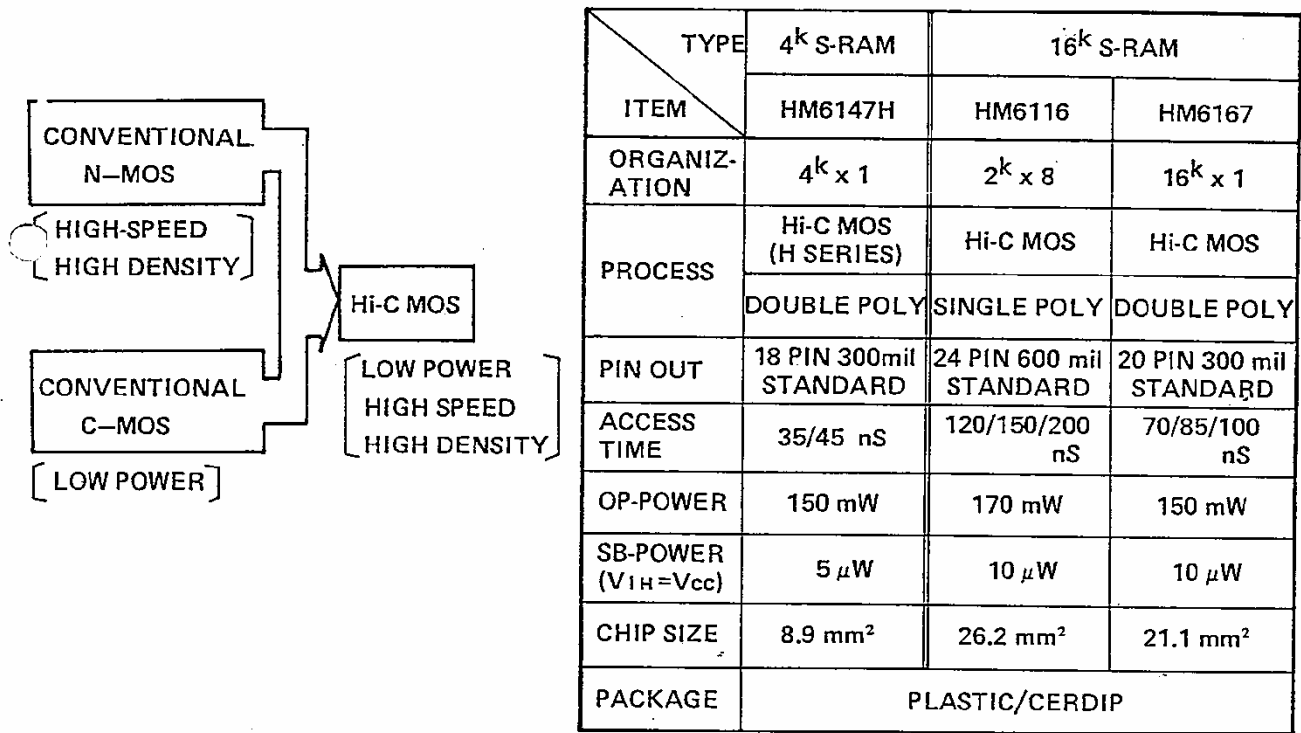


Fig. 4 Hi-C MOS TECHNOLOGY

日立が開発した高速CMOS技術(Hi-CMOS)の紹介。今回の講演のハイライトであった。この時点における業界常識は「CMOSはローパワー向けのニッチ製品」というものであったが、日立はこの常識に挑戦し、高速CMOS技術を開発。4Kおよび16KビットSRAMに適用した。NMOSが主流を占めていたこの分野に初めてCMOS版が登場したのである。学会での発表は78年が最初であったが、経営者レベルでは今回が初めてであり、講演後の質問も多く、強い印象を与えることになった。

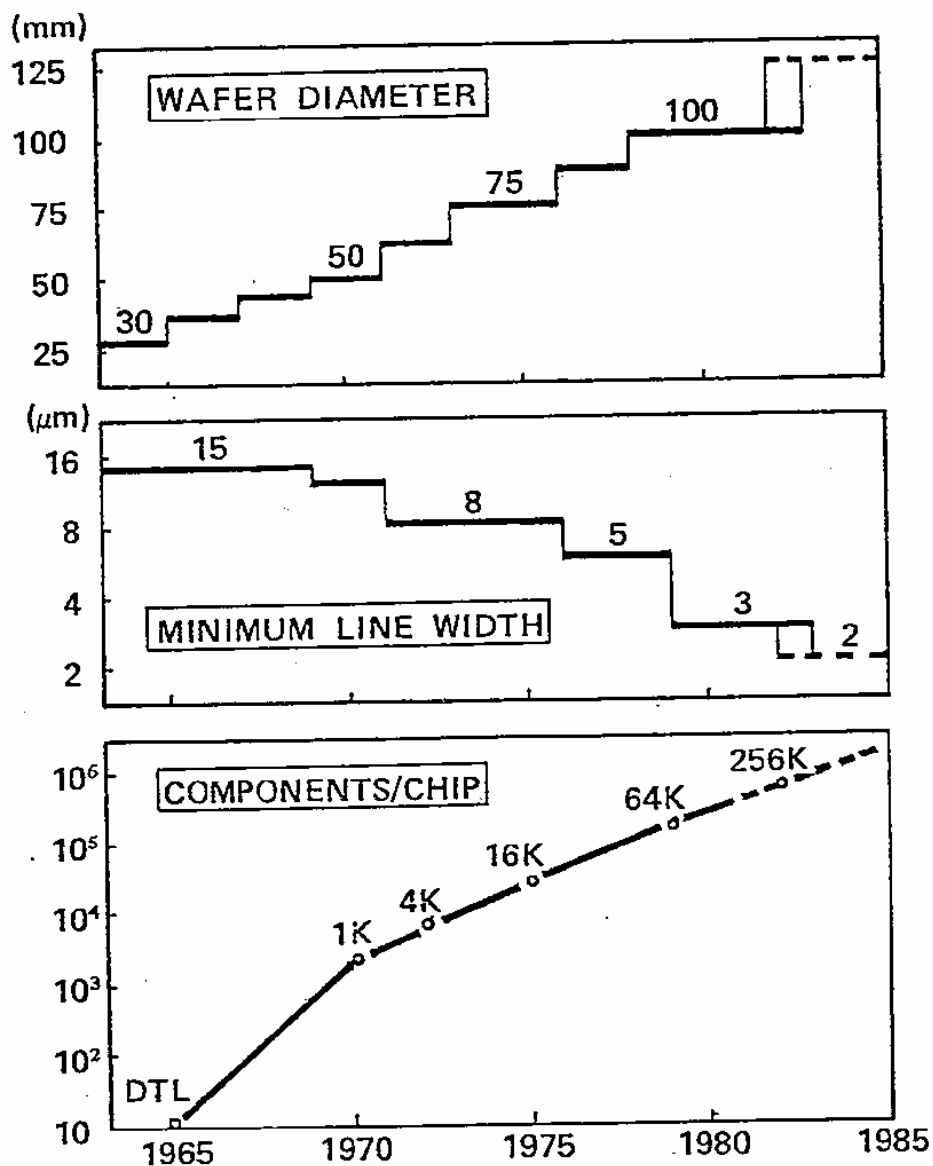


Fig. 5 TREND OF SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY

半導体技術のトレンドを示す。当時の最先端は、ウエーハ径100mm、加工レベル3 μ 、DRAMの集積度が64Kビットであった。85年時点の予測としてはウエーハ径125mm、加工レベル2 μ 、DRAM集積度256Kビットとなっている。

| TIME BASIC DIMENSION CHANNEL TYPE | PAST | PRESENT | | FUTURE |
|---|--------------------------|--|--|--|
| | 8 μm | 5 μm | 3 μm | 2 μm |
| P-MOS | CALCULATORS | CALCULATORS 4 BIT MPU'S | MEMORIES (64k DYNAMIC) 16 BIT MPU'S | MEMORIES (256k DYNAMIC) |
| N-MOS | MEMORIES (4k DYNAMIC) | MEMORIES (16k DYNAMIC) 4k STATIC 8 BIT MPU'S | MEMORIES (64k DYNAMIC) 16 BIT MPU'S | MEMORIES (256k DYNAMIC) |
| C-MOS | WATCHES | CALCULATORS WATCHES MEMORIES (4k STATIC) 4 BIT MPU'S | MEMORIES (4k STATIC) 16k STATIC 8 BIT MPU'S | MEMORIES (64k STATIC) |

Fig. 6 MOS DEVICE TECHNOLOGY

この表はMOSの三つのデバイスタイプ(PMOS、NMOS、CMOS)の過去から現在、そして将来の見通しを示している。PMOSは5 μ の時代で終焉。NMOSは2 μ のDRAM(256K)につながる。CMOSは過去に時計、電卓に使われたが、3ミクロン時代からSRAMに使われ、2 μ では64KビットSRAMに使われる。

今後、高速デバイスもNMOSからCMOSへシフトするという、当時としては大変斬新な主張であった。

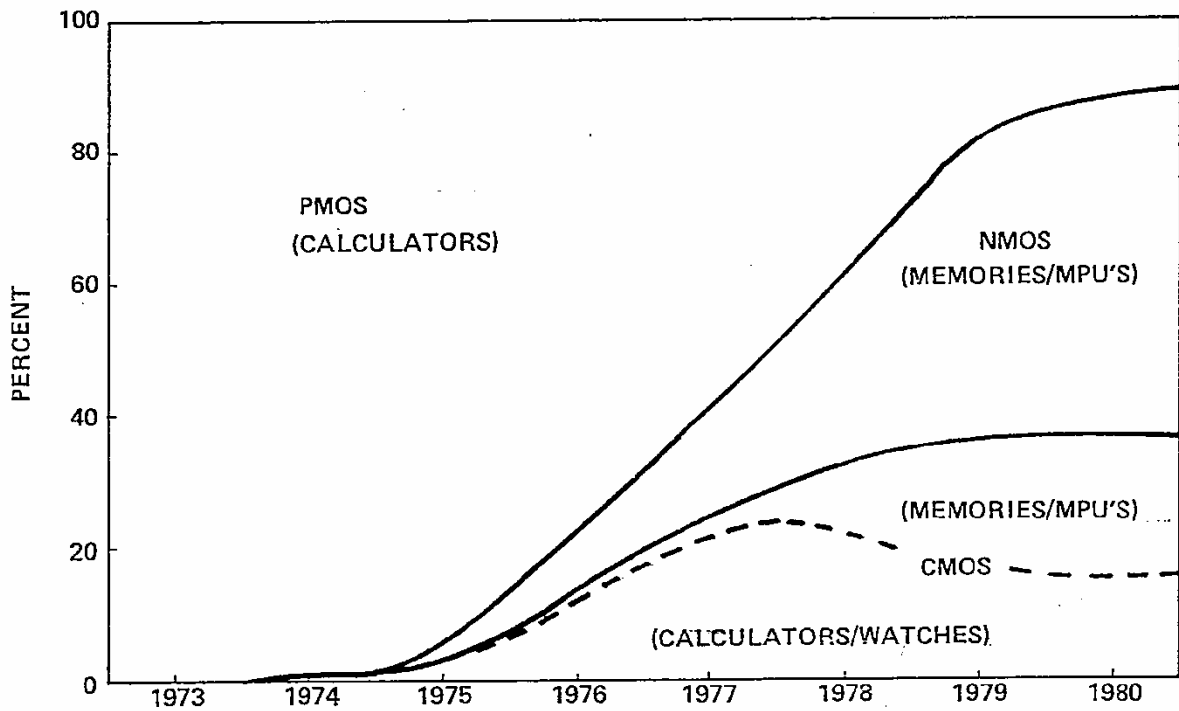


Fig. 7 EVOLUTION OF MOS DEVICE TECHNOLOGY

MOSのデバイスタイプの盛衰を示したものである。1975年まで、電卓用のPMOSが圧倒的なシェアを占めていたが、そのシェアは漸減し、NMOSとCMOSが伸びた。CMOSの中ではこれまで主流の電卓・時計に代わってメモリやマイコンの比率が伸びてきている。

| MONTH | | GENERAL | SHOW & CONFERENCE | INTERNAL |
|-------|-------|--|---|---|
| SHIMO | JAN. | • NEW YEAR'S DAY | <input type="checkbox"/> INTERNEPCON/JAPAN | <input type="checkbox"/> NEW YEAR PARTY |
| | FEB. | • DOLL FEAST | | <input type="checkbox"/> BUDGET PLANNING |
| KAMI | MAR. | • COMMENCEMENT <input type="checkbox"/> ENTRANCE CEREMONY | <input type="checkbox"/> INFORMATION PROCESSING SOCIETY CONF. | <input type="checkbox"/> ← ORGANIZATION CHANGE |
| | APR. | <input type="checkbox"/> CHERRY BLOSSOM | <input type="checkbox"/> IECEJ* CONF. | <input type="checkbox"/> ← FRESHMEN JOIN "SHUNTO" |
| | MAY | • CHILDREN'S DAY | <input type="checkbox"/> MICROCOMPUTER SHOW | <input type="checkbox"/> MMM PICNIC |
| | JUNE | <input type="checkbox"/> RAINY SEASON | | |
| | JULY | • FIRE WORKS FESTIVAL | | <input type="checkbox"/> BUDGET PLANNING |
| | AUG. | <input type="checkbox"/> "OBON" | <input type="checkbox"/> SOLID-STATE DEVICE CONF. | <input type="checkbox"/> ← ORGANIZATION CHANGE |
| | SEP. | <input type="checkbox"/> TYPHOON SEASON | | |
| | SHIMO | OCT. | <input type="checkbox"/> CHRYSANTHEMUM FESTIVAL | <input type="checkbox"/> ELECTRONICS SHOW <input type="checkbox"/> DATA SHOW |
| | NOV. | | | |
| | DEC. | • X'MAS | | <input type="checkbox"/> • ANNUAL AWARD YEAR-END PARTY |

* IECEJ: INSTITUTE OF ELECTRONICS AND COMMUNICATION ENGINEERS OF JAPAN

Fig. 8 TYPICAL SEMICONDUCTOR CALENDAR OF A YEAR

日本における年間行事を示している。左端は国全体、中央は半導体関連のショーや会合（インターネプコン、マイコンショー、エレクトロニクス・ショーなど）、右端は半導体関連（新年会、予算会議、MMMピクニック、運動会、忘年会など）。MMMはムリ、ムダ、ムラをなくそうの意であり、日立における小集活動の名称。

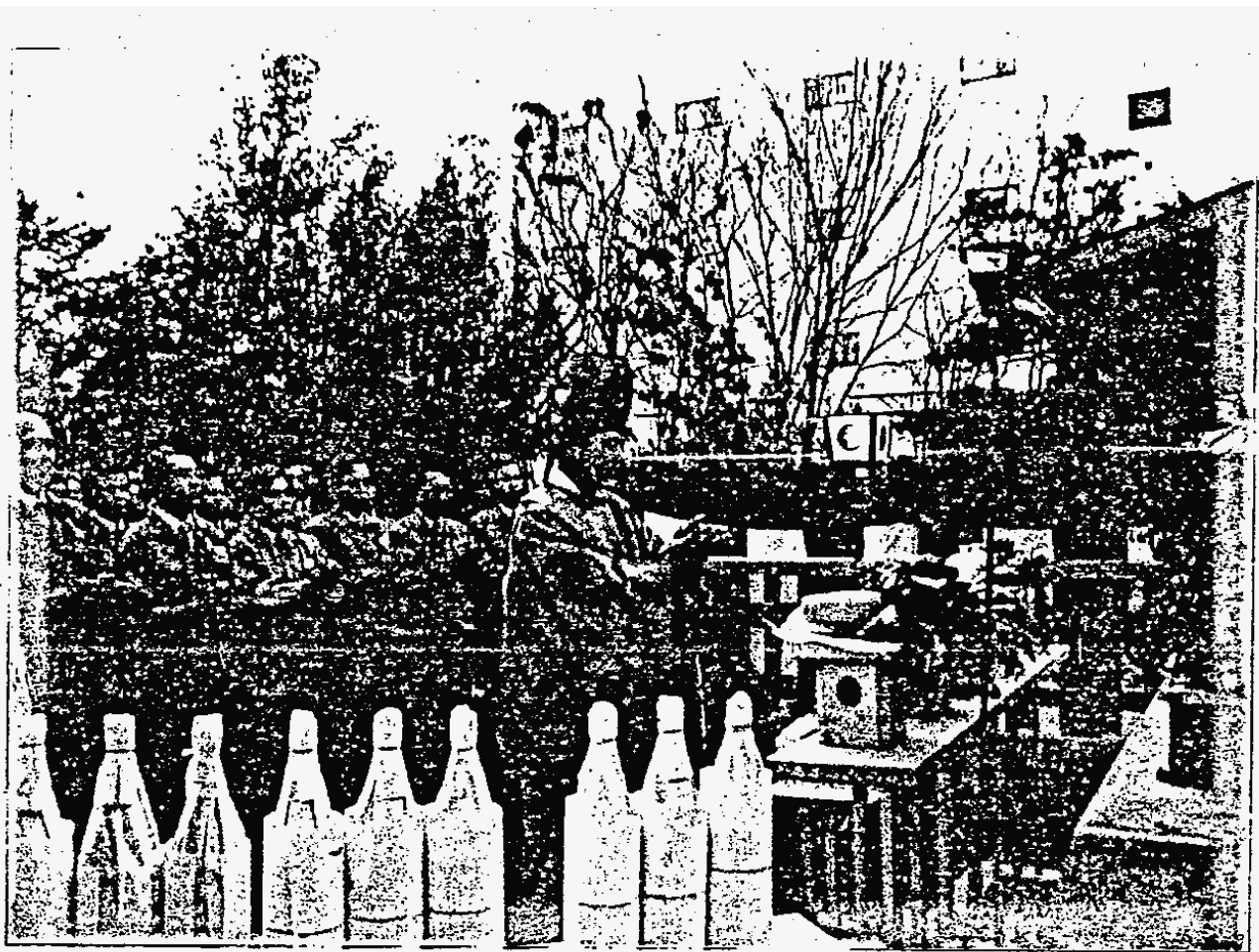


Fig. 9 "HATSUMODE" AT A SHRINE ON
THE FIRST DAY OF THE YEAR

毎年元日に行われる「初詣」の儀式。身を清めて神に参拝し、一年の無事と会社の発展を祈る。極めて、日本的な行事として紹介したが、果たして話が通じたかどうかは不明。奇異に感じた向きも多かったのではないかと思う。

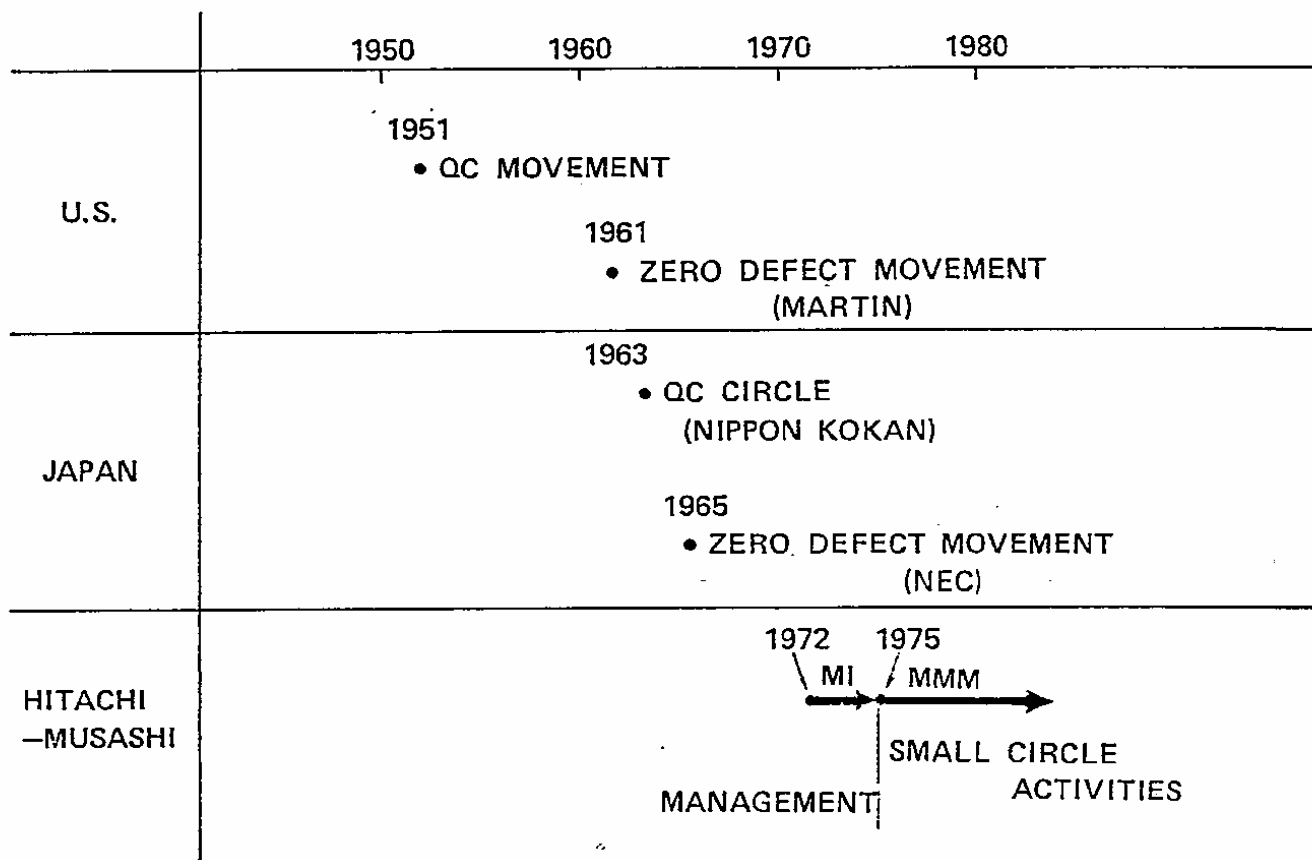


Fig. 10 HISTORY OF CIRCLE ACTIVITIES

小集団活動の歴史を示す。1950年代に米国で始まったのであるが、60年代に日本に伝わり定着した。

日立の半導体分野では72年からスタートした。最初はMI(マネジメント・インプルーブメント)運動、続いてMMM(ムリ、ムダ、ムラをなくそう)運動として続けられた。

A. TOTAL SUGGESTIONS (UNIT: THOUSANDS/YEAR)

| | | |
|----|------------|-------|
| 1. | HITACHI | 4,220 |
| 2. | MATSUSHITA | 2,610 |
| 3. | FUJI-DENKI | 1,680 |
| 4. | TOYO-KOGYO | 1,350 |
| 5. | NISSAN | 1,270 |

B. SUGGESTIONS PER PERSON (UNIT: NUMBER/YEAR)

| | | |
|----|-----------------|-----|
| 1. | HITACHI-KOKI | 157 |
| 2. | FUJI-DENKI | 154 |
| 3. | ENZAN-FUJI | 138 |
| 4. | SUMITOMO RUBBER | 95 |
| 5. | AISHIN WARNER | 81 |
| 6. | HITACHI | 75 |

Fig. 11 NUMBER OF SUGGESTIONS IN 1980

上のリストは会社全体としての年間提案件数(単位 千件)、下のリストは従業員一人当たりの年間提案件数。日立では年間で420万件、松下(現、パナソニック)では261万件の提案がなされた。このような数の大きさには驚きの声が聞かれたが、今日の我々でもその感は否めない。

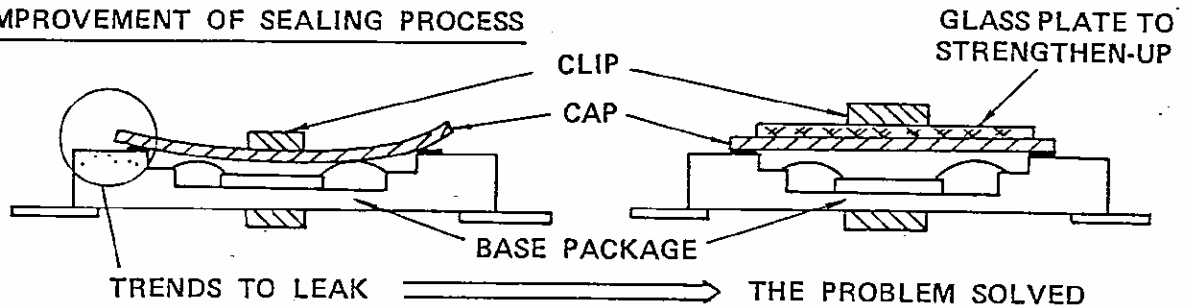
- 1) TO ATTACK ANY PROBLEMS PRESENT AT WORK SHOPS BY PARTICIPATION OF ALL MEMBERS CONCERNED
- 2) TO CONTRIBUTE TO QUALITY IMPROVEMENT, COST REDUCTION, OVERALL EFFECTIVENESS, SHORTER LEAD-TIME, AND SAFETY
- 3) TO BE INTENDED TO BRUSH-UP ONE'S ABILITY AND PERSONALITY THROUGH THE ACTIVITIES

Fig. 12 PURPOSE OF SMALL CIRCLE ACTIVITIES

小集団活動の目的を3か条にまとめる。

- 1) 全員の参加によって職場のあらゆる問題に取り組む。
- 2) 品質向上、コスト削減、効率向上、納期短縮、および安全に、貢献する。
- 3) この活動を通じてそれぞれの能力と個性を磨く。

(A) IMPROVEMENT OF SEALING PROCESS



(B) IMPROVEMENT OF DISPENSER NOZZLE

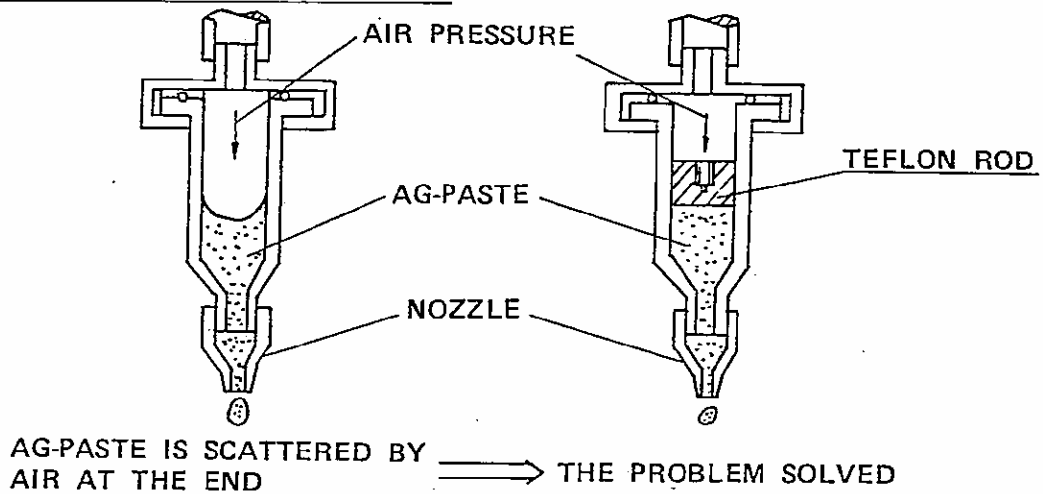


Fig. 13 EXAMPLES OF SUGGESTIONS

半導体関連の提案事例を2件示す。これはいずれも実効果を上げた事例。

A) 封止部のリークをなくすために、ガラス板を当てて平坦化を図る。

B) 銀ペーストが最後の部分で噴出して飛散するのを防ぐためにテフロン棒はさんで緩やかに押し出す。

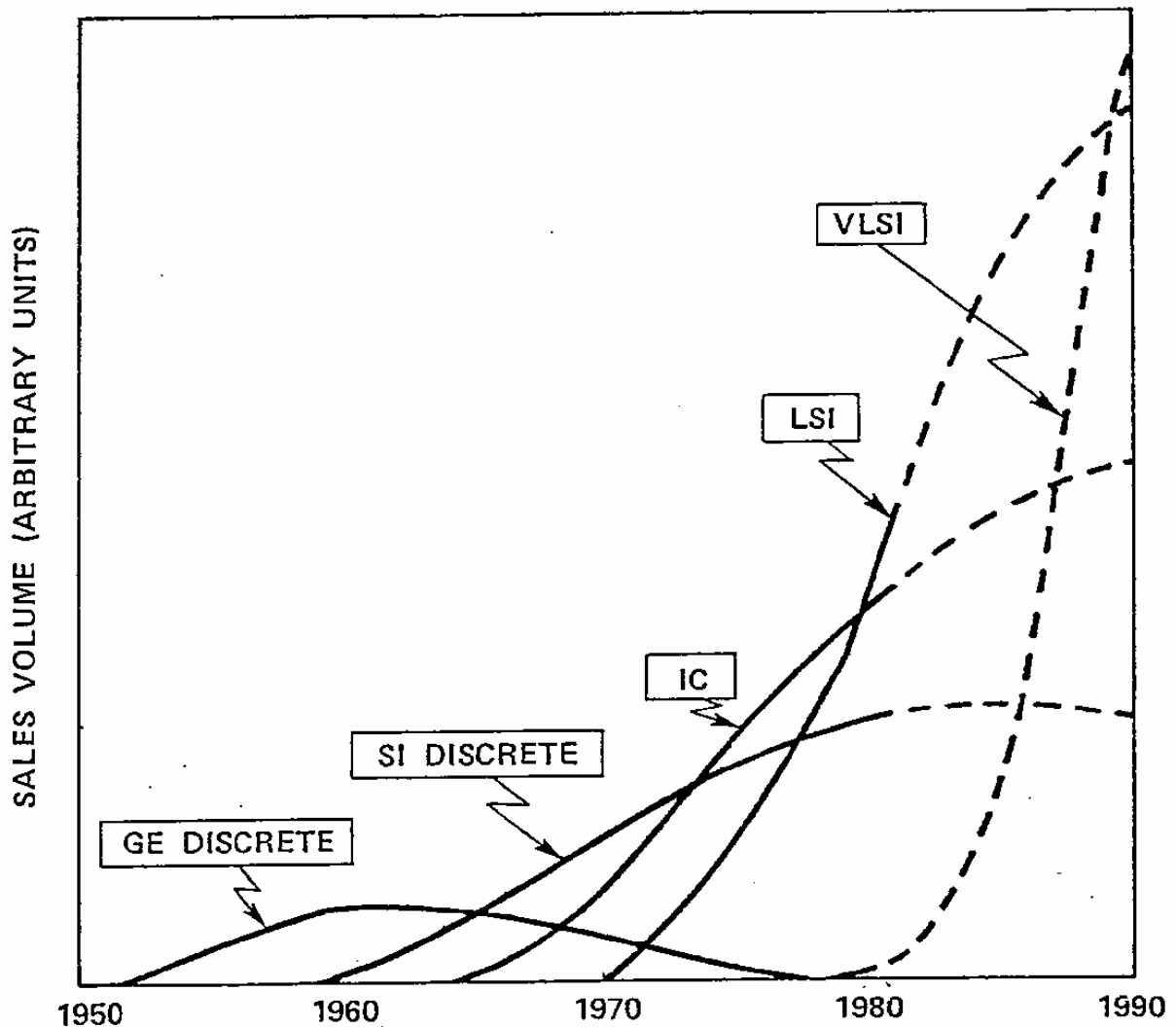


Fig. 14 TRAINS OF "TECHNOLOGY WAVES"

波状に移り変わる半導体技術。技術革新が如何に激しく起こるかを示している。5年から10年ごとに新しい波が立ち上がって、前の波を追い越していく。即ち半導体分野においては、そのようなペースで技術の陳腐化がすすむ。10年後の1990年にはVLSIが最大のセグメントになっているだろうと予測。

このコンセプトは、この後の講演(例えば、82年のIEDMにおける基調講演など)でも繰り返し紹介した。

| YEARS AFTER ENTRANCE | EDUCATION PROGRAMS | DURATION | COMMENTS |
|----------------------|---|-------------------------------------|---|
| 0~1 | <ul style="list-style-type: none"> • LINE WORK EXPERIENCE • FIRE FIGHTING TRAINING | 9 MONTHS 40 HRS | ALL ALL |
| 1~2 | <ul style="list-style-type: none"> • INTRODUCTORY ENGINEERING COURSE • COMPUTER PROGRAMMING • IN-COMPANY EXAM FOR ENGLISH • RESEARCH REPORT AND PRESENTATION | 130 HRS 200 HRS — — | ALL ALL ALL ALL |
| 3~10 | <ul style="list-style-type: none"> • ADVANCED ENGINEERING COURSE (10 PROGRAMS) • INTEGRATED ENGINEERING DEVELOPMENT PROGRAM (CORPORATE PROGRAM) • FOREIGN LANGUAGE COURSE (ENGLISH, FRENCH, GERMAN ETC.) • INTEGRATED MANAGEMENT COURSE | 30~50 HRS 600 HRS 90 HRS — | OPTION RECOMMENDATION RECOMMENDATION ALL |
| 10~ | <ul style="list-style-type: none"> • MANAGEMENT TRAINING PROGRAM (MTP) • SECTION MANAGER COURSE • DEPARTMENT MANAGER COURSE | 40 HRS 30 HRS 20 HRS | ALL ALL SEC. MGR ALL DEPT. MGR |

Fig. 15 EDUCATION PROGRAM FOR ENGINEERS AND MANAGERS

日立の半導体分野を例として、技術者・管理者向け教育プログラムを紹介したものである。前の図面(No. 14)で半導体分野においては、5年から10年で技術の陳腐化が進むことを踏まえて教育の重要性を強調したものである。

「人材こそ半導体事業の要なり」として締めくくった。