

図解

半導体製造装置開発の極意と実践

—開発型企业で生き抜くための手引書—

「半導体ウェットプロセス最前線」姉妹編

J O Y

じょうしきを やぶろう

5つのルール

ゴッドハンド神

Share God

超特急神

必要は発明の母

要求は技術革命の父

めたぼ神

5大神現わる

バイオレント神

はりねずみ神

→ Something New 常に何か新しいことを含むこと
→ あればBetterでなく、なければNGを目差す
→ 開発はコストと心得て下さい。回収を考えること
→ 保有技術から出発(自分の得意分野で勝負)
→ あとはとにかく考えろ!! げろを吐くまで考えろ!!

辻村 学 著

精密・電子カンパニーは1985年のCorporation Projectとして発足し、その後事業部、カンパニーへと昇格し、今日に至っております。
今年2025年の40周年記念を祝して拙著をお世話になった皆様にお届けします。
お役に立てれば幸いです。

2025年5月1日 (株)荏原製作所 フェロー 辻村学

「これらの著作物の著作権は著者に帰属します。ファイルのダウンロードは自由ですが、著作権内容の転載は著者の許可が必要です。」

著者紹介

辻村 学 (つじむら・まなぶ)



(株)荏原製作所 精密・電子事業カンパニー 常務執行役員 装置事業部長
工学博士 日本機械学会 フェロー

1974年(株)荏原製作所入社。同社にて水力発電所建設を10年経験後、同社精密・電子事業カンパニーにて半導体製造用装置の開発及び事業を担当し現在に至る。現在同社の常務執行役員。諸団体・学会活動として、現在プラナリゼーション加工/CMP 応用技術専門委員会委員の他、MRS・CAMPなどの国際学会ではCMP部門でのCo-Chairを勤め、SEMIではSTSやITPCの委員長、ADMETA多層学会でも2005年委員長、機械学会では2005年度東京ブロック長、STRJロードマップ委員会は2004年多層配線部門の主査などを務め諸団体に貢献している。現在は首都大学東京・クラークソン大学・漢陽大学、日米韓で客員教授として活躍中。

はじめに

2007年12月3日、私の初めての本が出版されました。

題して「図解：半導体ウェットプロセス最前線—めっき・CMP・洗浄、そしてデバイスへの応用」、工業調査会からの出版です。この本はもともと首都大学東京(日本国)・クラークソン大学(米国)・漢陽大学(韓国)で使用していた教科書を出版用に書き直したものです。幸い、売れ行きは良く某有名書店での週間ランキング18位にも入ったほどです。

一度出版すると‘やみつき’になりました。

もともと私の勤める企業内でもテクニカルノートと称して月に2度技術紹介をしているのですが、そのノートも既に400回を超えました。このノートと大学の客員講義を合わせて、懲りずに第二回目出版に挑戦しました。それがこの「開発の極意と実践—開発型企業で生き抜く手引書—JOY(常識を破ろう)」です。「半導体ウェットプロセス最前線」の姉妹編として読んで下さい。

私は企業人ですので、まずは当社のエンジニアを対象にテクニカルノートを書いています。その中には一般公開できるものと、できにくいものがあります。それでもなるべく一般公開できるよう苦心して、次に大学向け教科書を作りました。そして、幸い私はSEMI主催のハイテクユニバーシティの講師も担当していますので、高校生向きにもアレンジして見ました。最後に、前回の出版と同じく82歳の私の母に読んでもらい、興味を持たかか聞いて修正しました。これで一流企業のエンジニアから、大学生・高校生、果ては82歳の主婦にまで読んでもらおうという正に‘神をも恐れぬ’技術本が出来上がりました。安心してお手にとってみてください。

開発5ヶ条として当社に君臨した(?)「第1章 5つのルール」と、30年間の私の開発の歴史の中で実施した「第VI章 5つの革命技術」は圧巻ですよ。タイトルも「半導体製造装置開発の極意と実践」というのはエンジニア向け、「開発型企業で生き抜くための手引書」は企業へ飛び立つ前の大学生もしくは新入社員向け、そして「JOY(常識を破ろう)」は高校生もしくは私の母を意識して付けました。どうでしょうか？

これは私の信念ですが、科学(Science)と技術(Technology)は「**99%の模倣と1%のSomething New**」で進化してきたと信じています。単なる模倣は卑しいものとされますが、先人の苦労の上に進化(Evolution)、革新(Innovation)そして革命(Revolution)があるのであれば、まずは素直に模倣から入るのも良いと考えます。模倣を終えたらエンジニアの誇りに賭けて新しい技術を世に生み出しましょう。本書も99%は先人の苦労の焼き直しではありますが、1%の Something Newを紹介できたと思っています。読み終えた方は是非その評価点をお知らせ戴きたくお願い申し上げます。

この本を作成するに当り、2002年に学位を指導して下さった首都大学の太田教授、

客員教授に初めて任命して下さったクラークソン大学のバブ教授、そして日韓の架け橋となり日韓のインターンシップを実現して下さった漢陽大学のバク教授には、常日頃のご指導に深く感謝申し上げます。そして何度も申し上げていますが、私の夢は5カ国で客員教授をこなし、めでたく(株)荏原製作所を定年退職したら、私の(少ないながらも退職金で)ファンドを設立し、年に1回学生を日本に呼び「Wet Revolution(革命)のEvolution(進化)」と題した大会を開催することです。その夢にもご協力下さい。(ずうずうしいようですが・・・)

今回も、この本がここまで‘おもしろく’(と私も思っていますが)完成したのは、やっぱり学生のおかげです。いろいろな学生がいろいろな疑問をぶつけてくれました。それらは全て私という消化器官を通して、教育用資料として本編に登場します。学生各位に感謝します。

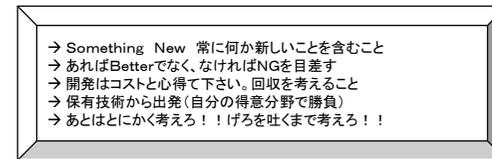
もちろん当社のエンジニアには日夜お世話になっていますので、感謝すべきは当然ですが、なにより私の開発力を指導して下さった師匠、このような私にお付き合い戴いたセット・デバイスメーカーの方々、材料メーカーの皆様、投資家アナリストの皆様・・・と言い出したらきりがなくお世話になり本書ができました。

そして本書の出版にご尽力戴いた工業調査会の方々に厚く御礼申し上げます。

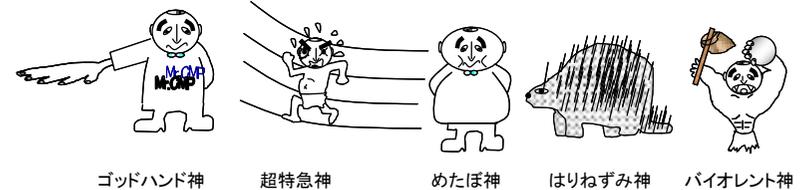
あっ！ いけない。今回も一番迷惑をかけて、お世話になった我が愛妻‘久美子’(本書にも出てきます)にも・・・

2008年10月1日

5つのルール



5大神現わる



ゴッドハンド神

超特急神

めたぼ神

はりねずみ神

バイオレント神

— 目次 —

はじめに

第 I 編 5つのルール

- ・ 教義とお題目
 1. あなたにも開発ができる！
 2. 開発のドクトリン
 3. 組織のドクトリン
 4. 5つのルール
- ・ Something New
 5. 開発はSomething New
 6. クリーンバキュームシステム
 7. それではあなたは？
- ・ あればBetterではなく、なければNG
 8. CMPこそOnly Oneテクノロジー
 9. めっきと研磨の競争戦略
 10. それぞれのBetter or NG
- ・ 開発はコストと心得よ
 11. 息をしているだけで・・・
 12. どうせ息をするなら大きく吸って
 13. IT／BT／NTそしてPL／BS／CF
- ・ 保有技術から出発
 14. できることから、で伸びはしてね
 15. 半導体製造装置勢ぞろい
- ・ 考えろ、考えろ、ゲロを吐くまで
 16. ゲロを吐くまで

第 II 編 JOY 常識を破ろう

- ・ JOY 常識を破ろう 楽しみながら
 17. 不要なら止めなさい、もったいない
 18. パルプをなくせ
 19. 必要なものを必要なだけ
 20. CMP だって

- ・ CMP開発プロジェクト
 21. CMP開発プロジェクトが始まった
 22. ドライからウェットへ、そしてCMP
 23. 障壁があればあるほど
 24. プロジェクトマネージメント
 25. めっきチームから
 26. 研磨チームから
 27. 洗浄チームから

第 III 編 開発で企業を生き抜く方法教えます

- ・ 開発型企业とは
 28. 世界トップとは？
 29. 開発型企业とは？
 30. TKO テクニカルノックアウト？
- ・ 誰でも開発型人間に
 31. 秘書久美子さんの場合
 32. 人事新入社員山田君の場合
- ・ 会社のことも知りましょう
 33. 会社は誰のもの？
 34. 特許も法律です
 35. 事故は必ず起きるもの
 36. 安全安心を子々孫々まで

第 IV 編 開発は教育から

- ・ 学位を取っちゃった
 37. 先生、学位ってどうすれば？
 38. 開発と学位の求める道は同じ
 39. 艱難辛苦努力の末に
- ・ 大学編
 40. クラークソン大学で(米国) 理論と実践の融合
 41. クラークソン大学で(米国) アルマナイ？
 42. 首都大学東京で(日本国)
 43. 漢陽大学で(韓国)
 44. 世界の言葉で

- ・ 高校編
 - 45. ハイテクユニバーシティで 撃沈！
 - 46. ハイテクユニバーシティで JOY

第 V 編 特許と論文の書き方教えます

- ・ 先ずは特許から
 - 47. 特許は会社のため、論文は社会のため
 - 48. 荒れ野原をどれだけ持っていて
 - 49. 特許の書き方教えます
 - 50. 大きさを変えて見たら？
 - 51. 分野を変えて見たら？
- ・ さあ論文だ
 - 52. 論文の書き方教えます
 - 53. ACEを始めよう

第 VI 編 5つの革命技術

- ・ 5大神現わる
 - 54. この世の終わりか、救世主か？
 - 55. 5大神現わる
- ・ 世界の果て(End of the world)
 - 56. パラダイムシフト45 鬼門の問題提起
 - 57. パラダイムシフト45 その後はパラダイス？
 - 58. もっと高く、もっと高く
 - 59. 世界の果てまで
- ・ 超技術降臨
 - 60. ゴッドハンド神 登場
 - 61. ゴッドハンド神 天下統一
 - 62. 超特急神 早く廻せば
 - 63. 超特急神 過ぎたるは..
 - 64. めたぼ神 物理限界を超えて
 - 65. めたぼ神 ダミーに隠されて
 - 66. はりねずみ神 無駄を省け
 - 67. はりねずみ神 ふさいでしまえ
 - 68. バイオレント神 兆し

- 69. バイオレント神 これがキャビテーションジェットだ

第 VII 編 いろいろな開発の森を俯瞰してみよう

- ・ 開発の森
 - 70. 開発は因果応報
 - 71. 開発はセレンティビティ
 - 72. 開発は10年先を見通して
- ・ 太陽電池だって
 - 73. 太陽電池はブームですか？
 - 74. IT-FPD-PVの森を俯瞰しよう
 - 75. ニューヨーク大停電
- ・ TSVだって
 - 76. パラダイムシフト45 μ から
 - 77. めっき技術から
- ・ MEMSだって
 - 78. MEMSが流行っています
 - 79. DNAチップもMEMSから
- ・ 最後に予言です
 - 80. 開発では見通せないこと
 - 81. それでもあなたが地球を救う

参考文献

索引

コラム

- ・100/20/2と3/4/5/1
- ・JOY
- ・エレベーターク
- ・インドネシアのおばあちゃん
- ・ぱてんととろーる
- ・セカンドライフとリアルライフ
- ・開発の森の住人から

第 I 編

5つのルール

Five Rules

- **Something New** 常に何か新しいことを含むこと
- あればBetterでなく、なければNGを目指す
- 開発はコストと心得て下さい。回収を考えること
- 保有技術から出発(自分の得意分野で勝負)
- あとはとにかく考える!! げろを吐くまで考える!!



あなたにも開発ができる！

あなたにも開発ができる！（図1）

などと「この本を手にとって載っている‘あなた’がどのような方を全く知らずにいい加減なことを言って」とお叱りを受けるかも知れませんが、本当です。まずは騙されたと思って読み通して下さい。この本を読み終えた頃には、きっと‘あなた’は「よし、こんな開発をして見せるぞ」とか、「それなら私も世界一」とか、「特許を取ってお金を稼ごぞ」という生々しい話も、「学位と取って教授になるんだ」と思ってお下さるかたも、などなどいろいろな思いを抱いて下さること請け合いです。

開発は暗中模索（図2）

と言いながら、いきなり暗中模索です。

誰でもできるとは言いましたが、‘できるチャンスがある’ということです。努力無しには何も得られません。ただし無駄な努力をするよりも、先人の苦勞を良く理解してなるべく正しい道を行った方が良いでしょう。そこで、最初に一番大事なことを忘れないために、開発やそのための組織の教義(ドクトリン)を示します。そしてそのドクトリンを守るための5つのルールを示します。最初に‘教義’などと硬い話で恐縮ですが、開発とは厳しいものです。市場開発では技術とは無関係に失敗に終わるかも知れません。技術開発ではもしかしたら正解が無いのかも知れません。正に暗中模索の中を突き進まなければなりません。撤退ルールだって必要です。でも誰もがリーダの言葉に従うとは限りません。そして地獄の行進へと導いていることだってあるんです。

リーダは孤独です。

そんな時頼れるのがこの開発のドクトリンです。組織のドクトリンです。開発の5つのルールです。私は企業生活30年を超えましたが、その30年の開発経験から自然に生まれたのが、この2つの教義(ドクトリン)と5つのルールです。

開発の森を俯瞰して（図3）

そうして自分の進むべき開発の森を俯瞰して見ましょう。何が見えますか？ あちこちに道しるべがあるはずですが。そして開発の神様が隠れ住んでいます。正しい道を歩み、あなたの開発の神様に会えることを祈っています。

図1 あなたにも開発ができる



図2 開発は暗中模索

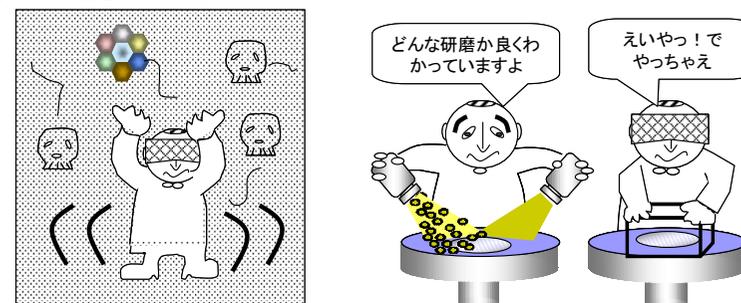


図3 開発の森を俯瞰して



開発のドクトリン

開発のドクトリン (図1)

それでは最初のドクトリンを示しましょう。

企業活動には S(Strategy:戦略)、R(Research:研究)、D(Development:開発)、M(Manufacturing:生産)、S(Sales:営業)のほどよい循環が重要です。この全ての流れが広義の意味での開発です。

まず開発には開発コンセプトが一番重要ですが、そのコンセプトを作製するに当たっては、あらん限りの市場情報と技術情報を集めて協議します。開発コンセプトが決定したら、直ぐにクーポンテスト(簡単なテスト)を実施して、プロセス POR(標準条件)を作製します。このクーポンテストは重要です。これでその後の開発が全て決定してしまうからです。プロセスが決定したら、いよいよ社内開発機(α機)段階に移り、その後は客先評価機(β機)から量産機(γ機)と進みます。

どの場面でもあなたが迷ったら、一番最初に戻って考え直すことが重要です。これが SRDMS の正しい循環です。この循環がうまくいっていれば、どのような艱難辛苦、厳しい問題が発生しても大丈夫です。自信を持って進みましょう。

M&A 型 対 自社開発型 (図2)

ところで良く言われることですが、欧米では M&A で開発技術を素早く入手し、日本では自社開発が多いと言われています。最近では NIH(Not Invented Here)、つまり開発は自前で無いとだめという考え方から、Open Innovation の考え方に変貌している日本企業も増えましたが、まだまだ自社開発型が多いと思います。

ここで M&A 型と自社開発型の開発のやり方の違いを見ておきましょう。

自社開発型の場合、開発リーダーは開発コンセプトを決定する際の目利きが重要な能力になります。始まってしまいますと、お金がかかりますし、撤退はなかなかできませんので。

M&A 型の場合には、通常エンジェルと言われた団体やベンチャーキャピタルの資金のもとで、各ベンチャー企業が種々の情報を元に開発を進め α 機まで完成させます。従って、このほぼ完成した次点での目利きが重要になります。

M&A 型か自社開発型かは一長一短です。その企業のあったやり方を選択すればよろしいでしょう。

図1 開発のドクトリン SRDMSの循環

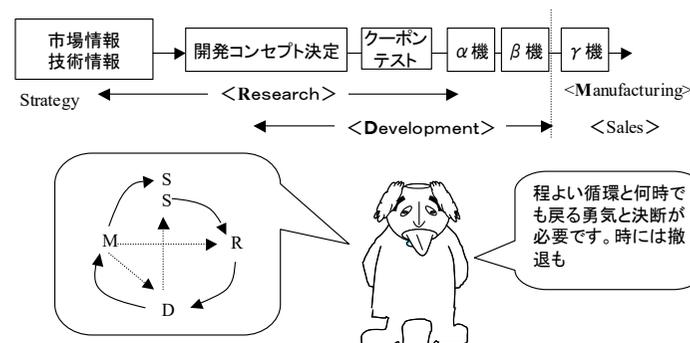
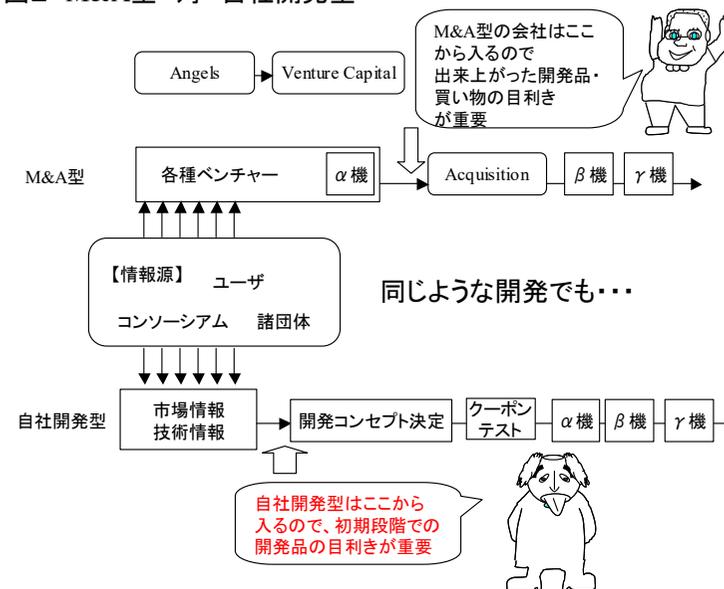


図2 M&A型 対 自社開発型



組織のドクトリン

Mission & Commit (図1)

その開発を成功に導くのは人です、組織です。

その組織運営の一例を紹介しましょう。

図1に示した組織は一般的な企業の事業部です。事業部長がいて、部長がいて、課長がいて、部下がいるというヒエラルキです。

この事業部のミッション(Mission)がどのように下流組織に伝達され、下流組織からどのようなコミット(Commit)がなされて行くのかを示したものです。

事業部長のミッション(達成すべき使命)は、同時に上司である社長へのコミット(必達を約束)です。では部長はそのミッションを受けて、やっぱり事業部長へコミットします。そのコミットは課長へのミッションとなり・・・

という具合にミッションとコミットが繋がって降りていきます。

これが組織の Mission & Commit です。

従って社長の作るミッションは大事です。これによって下流全てにミッションとコミットが作られるからです。でも、こうしておきますと組織の一体感はいやがうえにも増します。さらに似たような伝達文書の重複も避けられ、一石二鳥も三鳥もご利益があります。

何でも報告? (図2)

企業活動の大半は決められたこと、もしくは最初に決めたことを実行するルーチンワークです。そして、しばしばこのルーチンワークから外れた問題が発生します。この Mission & Commit 組織はこのルーチン及び非ルーチンワークの伝達としても力を発揮します。

Mission & Commitには自分が執行すべき業務とその責任範囲を示しておきます。その責任範囲と判断できればそれはルーチンワークとして上部に報告の必要はありません。その責任範囲外と判断したら即座に Escalation(上部に伝達)というルールも作っておきます。でも、なんでもかんでも Escalation されても困ります。大体80%がルーチンワークで20%くらいが相談事項、という程度が適当と感じています。

この方法は軍隊型もしくは(良い意味での)官僚型ですが¹⁾、開発を組織としてまとめるにはこのくらいのルールを持っていないと成功にはおぼつきません。

図1 Mission & Commit

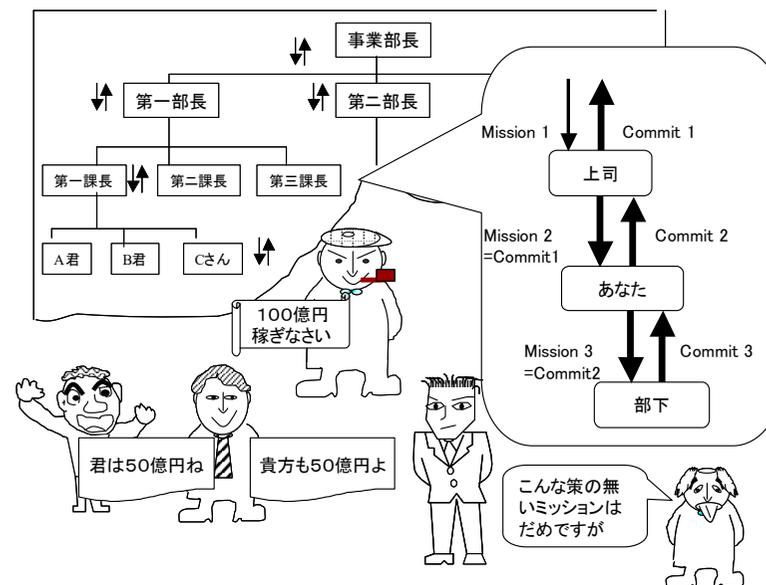
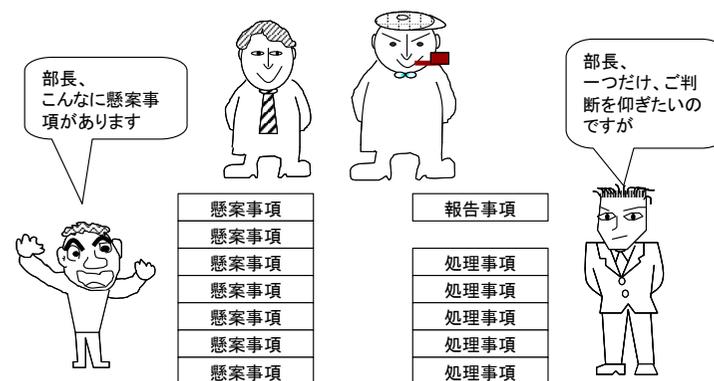


図2 ルーチンと非ルーチン



5つのルール

さて、最後はお題目です。

開発は本当に孤独で辛いものです。前述のように暗中模索、解が無いかもしれないところをうろろ、ちょっと解に近づいたかと思うと直ぐに裏切られること数知れず、です。こんな時にはどうしても神頼みしたくなります。それが、このお題目5つのルールです。私は会社の ID カードの裏にこのお題目を貼り付けて、苦しいとき、辛いときにはいつもじっと見ることにしています。不思議なことに、必ず良いアイデアを授かりました。皆さんもお試し下さい。

実際、これは Research ,Development & Manufacturing までを含む(ありがたい)お言葉です。

① Something New 常に何か新しいことを含むこと:

これは理念です。あなた(の企業)が開発型企業を目指しましょうということです。

② あればBetterでなく、なければNGを目差す:

これは正に事業の競争戦略の基本です。Better とはオペレーション効率を上げる従来の方法です。これに対して他との差別化を図り、競争優位に立つ‘無ければNG’という製品を目指すということです。それ以外はトレードオフとして捨てる覚悟も必要です。

③ 開発はコストと心得て下さい。回収を考えること:

これは収益性(ROA、ROE、ROI)です。少し言い換えます。実際には研究(Research)はコスト、開発(Development)はプロフィットセンタとして経営数字が必要です。収益性を考えましょう。

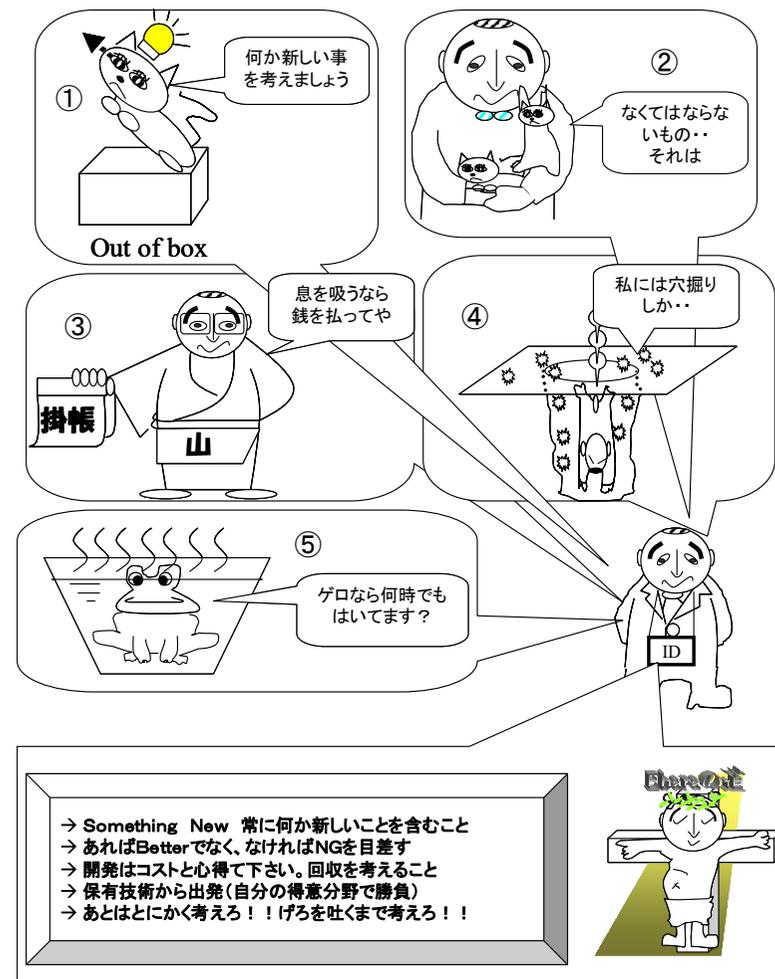
④ 保有技術から出発(できないことを言わない。自分の得意分野で勝負)

これはむやみな多角化を戒めたものです。日本企業では M&A による開発促進はあまりやりませんので自社技術に基づいた多角化&グローバル化に邁進するのが普通です。その際に必要な特許は買えば良いし、種々の会社・団体と共同開発も実施し、開発・事業のクラスタ戦略も構築すべきです。これこそ(M&A に頼らない)日本型の Open Innovation の有り方だと思います。

⑤ あとはとにかく考えろ!! げろを吐くまで考えろ!!

これは開発企業を標榜するなら一度は経験して欲しいという精神論です。

図1 そしてお題目



開発は Something New

Something New

これは開発型企業の理念であり、企業が開発企業を目指しましょうということです。

開発会議の席で (図1)

ある日の午後、開発会議での出来事です。

春爛漫、暖かく眠くなってきます。そんな中、

「今回の平坦化装置は平坦化性能が・・・」と若きエンジニアの発表が続きます。

そこで私の質問です。

「ところで、それは何が新しいのでしょうか？ 発表の資料に、世の中では実施されていない新規のところだけ色分けして戴けますか？」

発表者「・・・」絶句。

という経験がありました。

世の中に既に進んでいることと、自分で新しく考え出したことをはっきり分けて説明させることが重要です。

開発は99%の模倣と1%の Something New が私の信条です。

1%でも Something New があれば OK です。

開発は Something New (図2)

何が新しいかに対する答を聞いたら、その次は

「それは本当ですか？」と聞き返します。そして

「それは何故ですか？」と突っ込みます。そして、さらに

「そのメカニズムはどうなっていますか？」と進めます。

まるでおばあちゃんに散歩の途中で聞きまくっている子供のようなのですが、それが開発だと思えます。

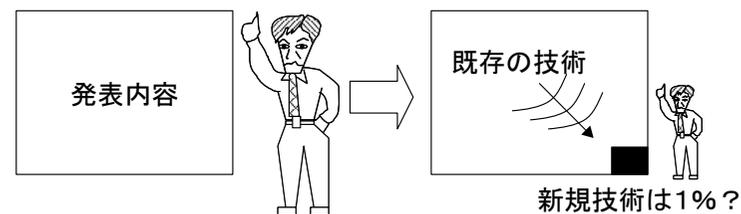
絵に描いてみよう (図3)

これだけでも部下の方々に嫌がられること請け合いますが、ものはついでです。もっと嫌われて見ましょう。

上記の(1)本当?(2)何故?(3)メカニズムを聞く際に、必ず黒板で絵を書かせてみて下さい。思ったことを絵に描けるかどうかは重要な開発センスです。

「パラメータは A は明らかにパラメータ B よりも変化が大きいです」と言っているのに？

図1 どこが新しいの？色分けして下さい



開発は99%の模倣と1%のSomething New

図2 本当？ 何故？ メカニズムは？

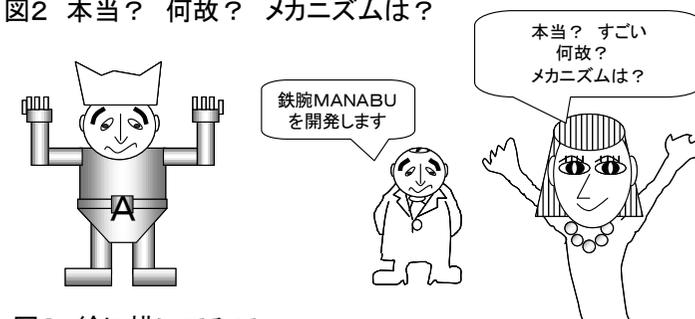
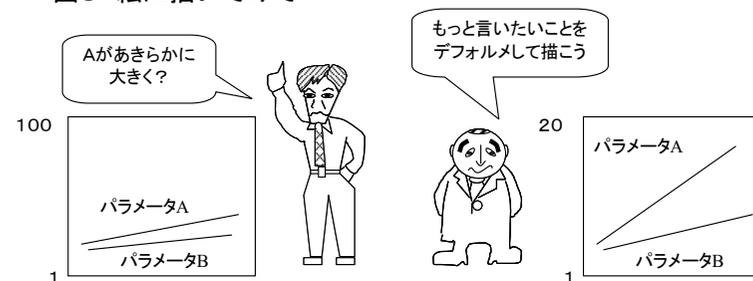


図3 絵に描いてみて



クリーンバキュームシステム

油回転ポンプから始まった (図1)

1985年のことです。

半導体製造装置では油回転ポンプを使っていました。

この油回転ポンプは使ったことがある人は良〜く理解できると思いますが、本当に大変なポンプです。ケーシングの中に油を貯め、回転ペーンでかき回すんです。簡単に性能の良いポンプですが、とにかく油だらけです。

でも油を使うことが常識だったんです。

常識なら、その油を取ってみよう (図2)

幸い油を使用しない真空ポンプを開発できました。

ところが使ってみるとさあ大変！

真空ポンプの下流には油こそ出ていませんが、反応生成物がど〜んと出てきてしまいました。

油は実は真空シールの役目だけではなく、反応生成物のトラップにもなっていたんです。

ガス処理も開発しよう (図3)

それならその反応生成物も処理する装置も開発しましょう。

ということで、当時油を使用しない真空ポンプということでドライポンプ。

油や湿分を使用しない乾式のガス処理装置ということでドライガストラップ。

この二つのドライ式をシステムとして供給しよう。

名づけて「クリーンバキュームシステム」の完成です。

当時、ドライビールが流行っており、ドライブームです。

だから売れたとは言いませんが、ビールのドライ並みに評判になりました。

油が常識なら取ってみよう

取ったら別の問題が発生

それならその問題も開発のネタに

というひとつの開発形式が出来上がりました。

以降、何が常識か？それならその常識を無くしたら何が起ころの？

と考えるようになりました。これが後述する JOY です。

常識(J)を(O)破ろう(Y)です。

油が常識→油無しポンプ開発+排ガス処理

図1 従来の

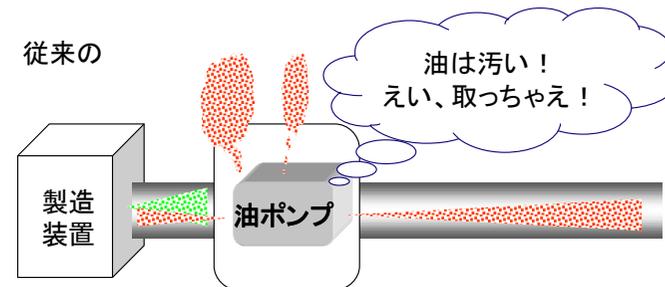


図2 油なし

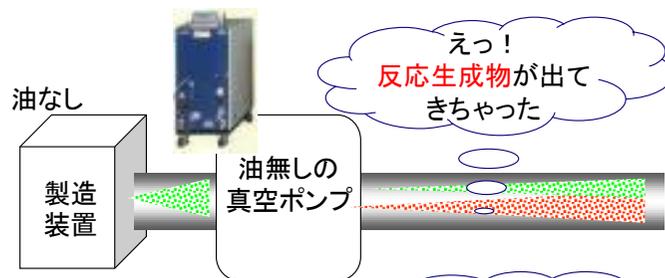
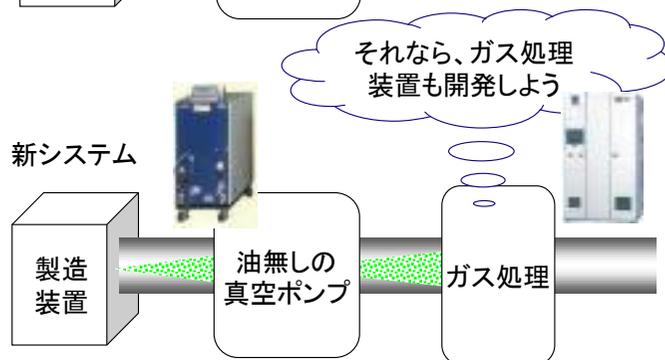


図3 新システム



それではあなたは？

以上が第一のルール、Something New です。

結果として私は現在100件以上のパテントを保有し、100以上の論文を書くことが出来ました。

後述しますが「パテントは会社のため、論文は社会のため」と考えています。

そして、良いパテントを書けば、良い論文が書けます。

このSomething New は決して研究畑だけに使えるものではありません。全ての方に使えます。

さあ、皆様に質問です。自問自答してみてください。

あなたは今何かを**研究**していますか？

それは何が新しいのですか？

Something New？

あなたは今**設計**しているその製品に新しい機能を付加できますか？

それは何が新しいのですか？

Something New？

あなたは今**製造**しているその部品をより信頼性を高くすることができますか？

それは何が新しいのですか？

Something New？

あなたは今**販売**しているその製品の売り方に新しい変化を与えられますか？

それは何が新しいのですか？

Something New？

あなたは今作成している**財務**3表を見て、新しい発見はありますか？

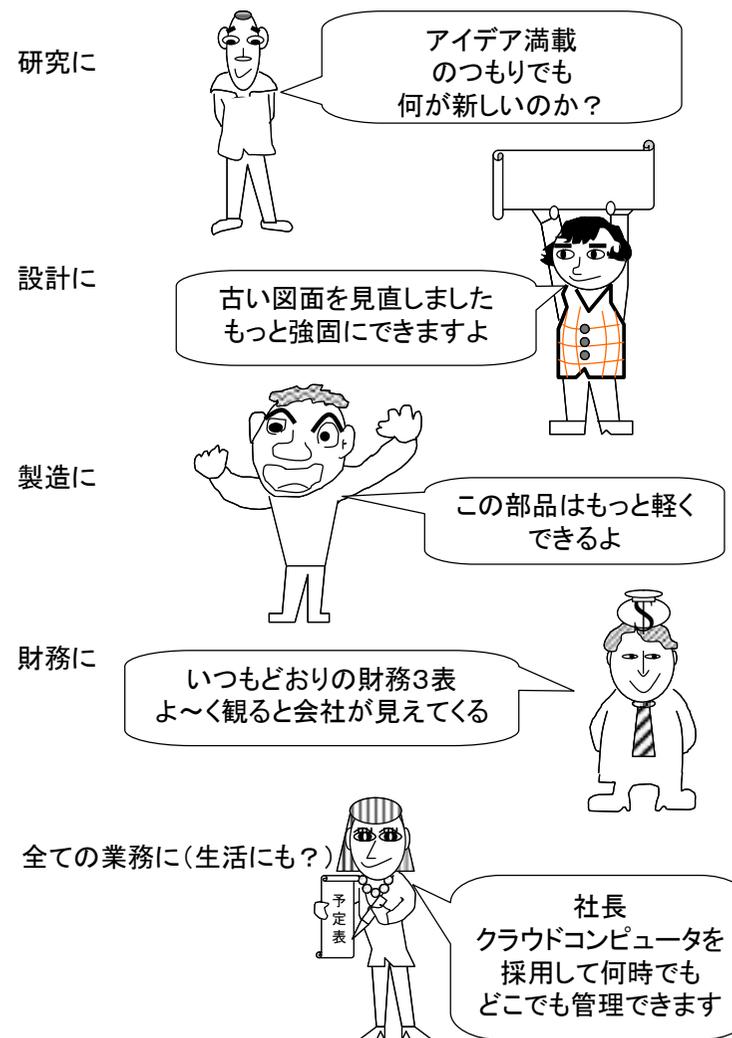
それは何が新しいのですか？

Something New？

あなたは今自分の仕事に行き詰っていませんか？

通常の**ルーチンワーク**の中に何か新しいことを見つけて下さい

Something New？



— あればBetterでなく、なければNG —

CMPこそ Only One テクノロジー

「あればBetter(より良い)でなく、なければNG(成り立たない)を目差す」

これは正に事業の競争戦略の基本です。Better とはオペレーション効率を上げる従来の方法です。これに対して他との差別化を図り、競争優位に立つ‘無ければ NG品’を目指すということ、それが Only One を目指すことです。それ以外はトレードオフとして捨てる覚悟も必要です。

CMP が他の平坦化技術を凌駕 (図1)

CMP が1980年代に登場するまではこれほどの平坦化はできませんでした²⁾。図1でCMPの有無を見て下さい。左図はCMPを実施していない場合の断面図です。どうです、凸凹でしょう。右図はCMPを実施した場合のイメージ図です。どの階層もしっかりと平坦化されているので、上層に行っても問題がありません。こんなことからCMPを一旦使ったエンジニアは

「CMPは麻薬みたいだ。一度使ったら止められない」などと物騒なことを言います。これこそが、あればBetterではなく、これしかないという Only One テクノロジーです。

汚い・きつい・経験依存の3K装置 (図2)

そんなCMP装置も初めから順風満帆だったわけではありません。なにしろ研磨です。研磨といえばそれまでは「汚い・きつい・経験依存」のいわゆる3K装置として悪評が高い装置です。誰もが嫌がりました。

しかも研磨後はウェーハがぬれています。これを洗浄・乾燥しないとクリーンルーム内装置としては使えません。研磨は世界一汚い、洗浄は世界一きれい。世界一汚い装置ときれいな装置の合体です。一体化など誰も考えませんでした。だから研磨は半導体には使えない？ 誰もが嫌がっても当然ですね。

それではどうなったのでしょうか？

CMPは前述したように、使ってみると平坦化性能が抜群。どうにか使いたいという欲求が勝りました。欲求は革命技術の父です。果敢に挑戦したエンジニアがいました。結果としてドライン・ドライアウトというコンセプトの装置が出来上がり、今では当たり前のようにCMPをクリーンルーム内で用いています。

CMPは「あればBetterでなく、なければNG」という信念から生まれた Only One テクノロジーです。

図1 CMPを使用した場合としない場合

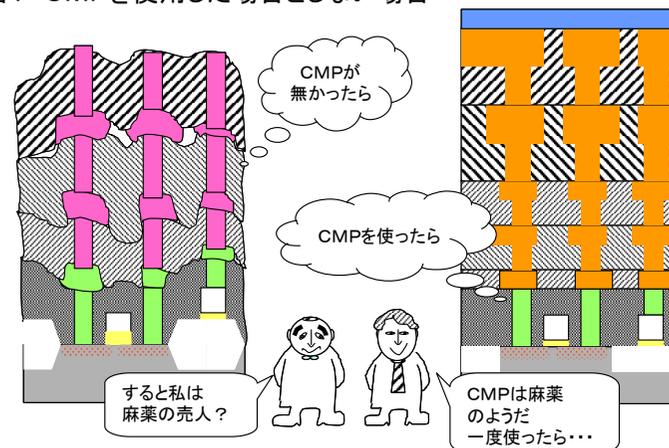
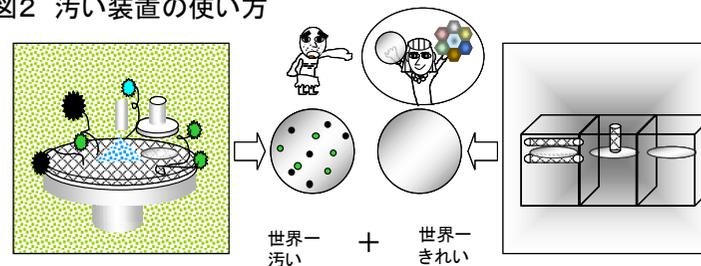
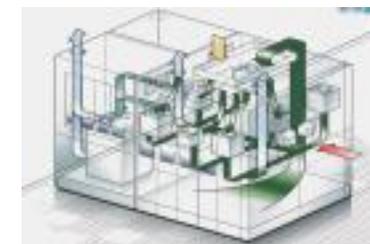


図2 汚い装置の使い方



ドライン・ドライアウト
技術で解決
気流設計を駆使



めっきと研磨の競争戦略

CMP装置と同じ時期に参入しためっき装置はどうなのでしょう？

めっき装置とCMP装置を比較する良い方法があります。マイケル・ポーター博士の競争戦略です³⁾。

CMPの競争戦略（図1）

- 1 顧客（デバイスメーカ）の交渉力は歴史的にかなり強いので‘不利な業界’ですが、寡占状態なので徐々に好転するはずです。
 - 2 供給業者（スラリーメーカなど）の交渉力は現在弱いように見えます‘有利な業界’が、段々と強くなって来るはずです。
 - 3 代替製品は今のところありませんので、相当‘有利な業界’
 - 4 新規参入は現在のところありません。この理由はパテントです。
 - 5 結果として業界は1位と2位の寡占状態です。
- 1～5から CMP の産業構造は十分魅力的と判断できます。

めっきの競争戦略（図2）

- 1 ここでも顧客（デバイスメーカ）の交渉力は歴史的にかなり強いので‘不利な業界’ですが、寡占状態なので徐々に逆転するはずです。
 - 2 供給業者（めっき液メーカなど）の交渉力は現在強いのですが、段々弱まり、‘有利な業界’になるはずです。
 - 3 代替製品はいろいろあります（CVD や印刷）ので、‘不利な業界’です
 - 4 CMP ほどのパテントが無いので、本来新規参入の脅威はあります。
 - 5 結果として業界はメーカが乱立しています。
- 1～5からめっきの産業構造は魅力的とは言えません。
- このように一見同じような生まれに見えためっきと研磨ですが、実は競争戦略で評価しますと実態が見えてきます。
- これもCMPはOnly Oneテクノロジーですが、めっきはそうでは無いということに原因がありそうです。

図1 CMP装置の競争戦略

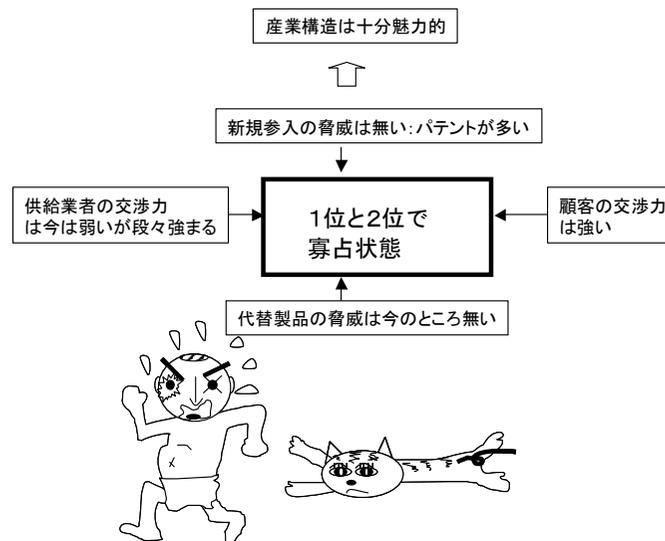
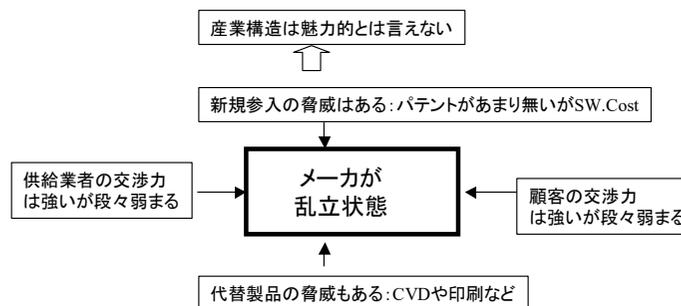


図2 めっき装置の競争戦略



— あればBetterでなく、なければNG —

それぞれの Better or NG

以上が第二のルール「あればBetterでなく、なければNG」です。
結果として私は半導体製造装置に無くてはならないドライポンプやCMPの開発に参加し成功を収めることができました。このおかげで半導体デバイス性能が向上し、会社にも社会にも貢献できたと思っています。
この第二のルールも決して研究畑だけに使えるものではありません。全ての方に使えます。
さあ、皆様に質問です。自問自答してみてください。

あなたは今何を**研究**していますか？
それが無いと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

あなたは今何を**設計**していますか？
それが無いと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

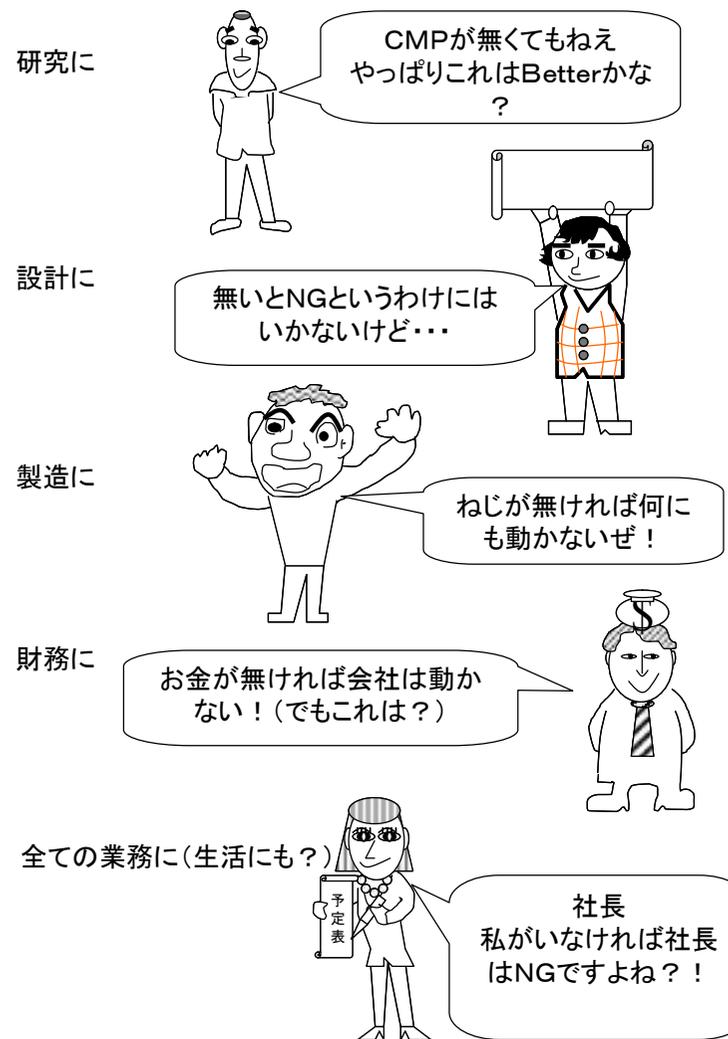
あなたは今何を**製造**していますか？
それが無いと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

あなたは今何を**販売**していますか？
それが無いと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

あなたは今どのような**財務経営**をしていますか？
それをやらないと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

あなたは今自分の仕事(**ルーチンワーク**)に行き詰っていませんか？
それが無いと、どうなりますか？
あればBetterでなく、なければNG？

でも正直に告白します。この第二ルールが一番達成困難です。



息をしているだけで・・・

「開発はコストと心得て下さい。回収を考えること」(図1)

これは収益性(ROA、ROE、ROI)を考えようということです。開発も経営数字が必要です。収益性を考えましょう。私は息をしているだけでお金がかかると言われ続けました(笑)。

そんな開発はどのように始まるのでしょうか？(図2)

一例を紹介しましょう。80年代に流行った方法ですが、何時の世も使える考え方です。企業で開発をしようしますとまずは事業の採算性を考えてしまいます。そうすると？ そうです。つつい冒険をしない方を選んでしまいますので、大きなビジネスチャンスを失ってしまいがちです。

これを解消しようとしたのがコーポレートプロジェクト制です。費用は一切本社で見るので挑戦しなさいということです。ポイントは

- ・ ビジネスチャンスを失うな
- ・ 本社費用で運営
- ・ 開発リーダーに全て一任

です。これでは、開発者にとっては逃げ道無し！！

身の丈にあった計画を(図3)

では会社が費用を見ってくれるならと、どんなプロジェクトでも始めて良いのでしょうか？ もちろんそんな計画書が承認されるはずありませんよね。まずは身の丈にあった計画が重要です。でも少しは背伸びを。

例えばあなたの会社の売上が1000億円だったとしましょう。であれば、こんな3ヶ条もよろしいのでは？

- ・ 市場は If 開発できたら100億円規模(1割くらいを狙う)
- ・ 製品は開発型で「簡単では無いこと」
- ・ 当社保有技術で対応可能なこと

あなたの考えたプロジェクトが全てに合致したら Go ！です

図1 回収を考えること
息をしているだけでお金はかかる

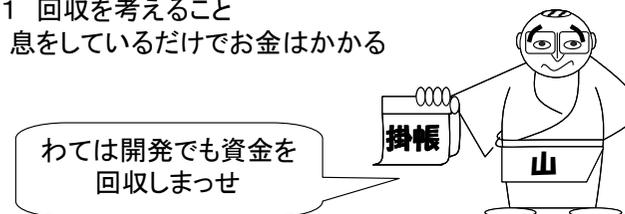


図2 コーポレートプロジェクト

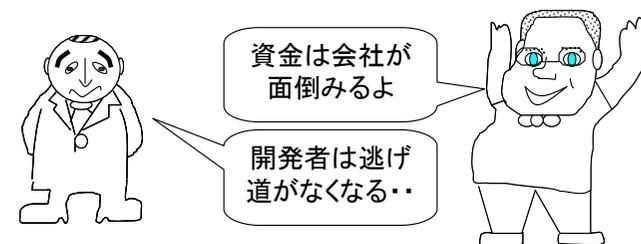
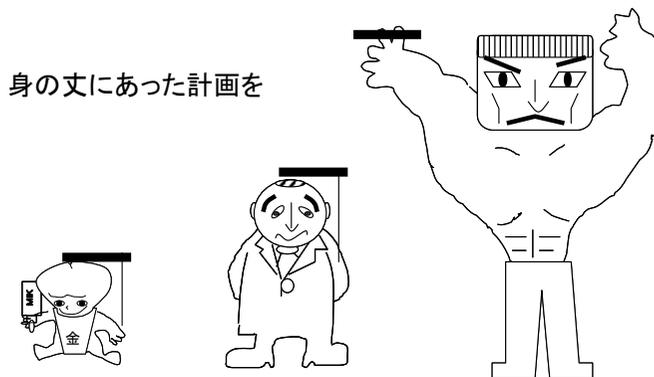


図3 身の丈にあった計画を



どうせ息をするなら大きく吸って

半導体製造装置例を（図1）

私ごとで恐縮ですが、当社の例を参考にしてみてください。当社も1980年代早々にコーポレートプロジェクトがいくつか出来ました。そのうちの 하나가半導体製造装置への進出です。

特徴は「市場と製品の同時開発」。つまり当時私たちは半導体に対する市場も製品も持ち合わせていませんでした。あるのは計画だけ？

そこで前述の3ヶ条を作りました。

- ・ 市場は If 開発できたら1000億円規模
- ・ 製品は開発型で「簡単では無いこと」
- ・ 当社保有技術で対応可能なこと

半導体は全てに合致 ==> Go !

どうせ息を吸うなら大きく吸ってみようとしてスタートしました。

半導体業界のFood Chain紹介（図2）

半導体業界のFood Chainは簡単です。電子機器市場は100兆円オーダです。その中に使用されるデバイス市場は、その平均搭載比率から20%として20兆円オーダです。そのデバイスを製造する製造装置市場は、デバイスメーカーの投資比率を10%として約2兆円オーダです。この100/20/2という数字比率が半導体業界のFood Chainです。

しかもこのFood Chainは大変です。電子機器市場が2%変動すると、デバイス市場は20%変動し、装置市場は50%以上変動してしまいます。これをもってブルフリップ(牛のしっぽ)市場を呼んだ人がいます。

半導体装置市場は3社寡占のバトルロイヤル（図3）

装置市場は熾烈です。1位と2位はありますが3位以下は生き抜けません。でも初めは20社以上で戦いが始まり、正にバトルロイヤル。最後は1・2社しか残れません。例えば、エッチングとかCVDというプロセスを見ますと、その市場は約3000億円くらいです。装置は平均で3億円くらいしますので、年間1000台くらいの生産量です。もし1位のメーカーで50%以上のシェアを持つメーカーなら1500億円売上で500台生産というイメージです。

つまり息をしてもお金がかかると片身の狭い思いをして開発した貴方の装置は、成功すれば1500億円を稼ぐことになります。どうです？大きく息を吸えるでしょう？

図1 コーポレートプロジェクト発足

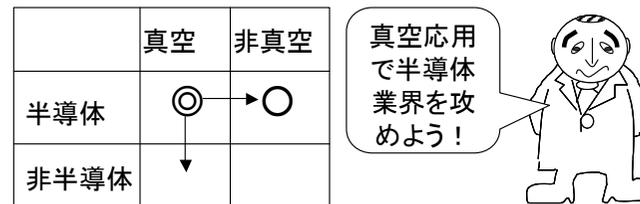


図2 半導体業界 Food Chain

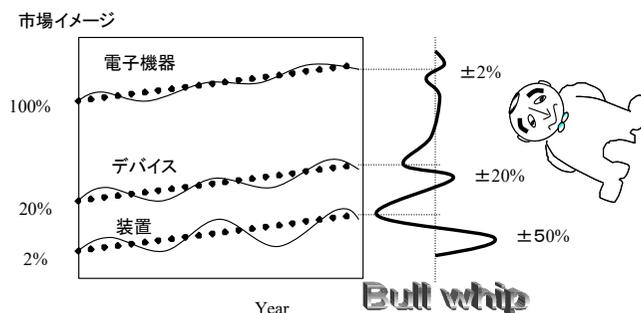
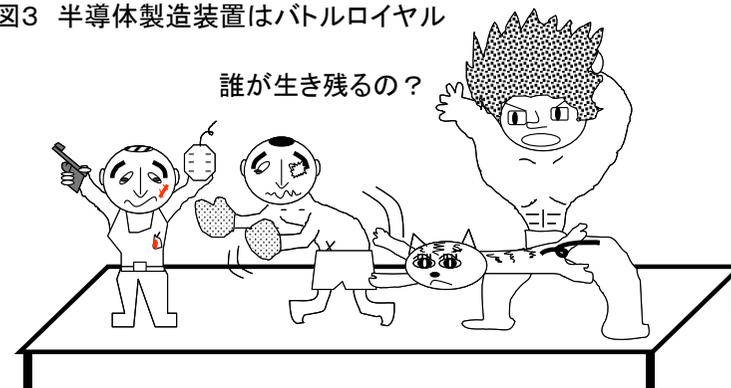


図3 半導体製造装置はバトルロイヤル



— 開発はコストと心得よ —

IT/BT/NT そして PL/BS/CF

以上が第三のルール「開発はコスト」です。

結果として私は経営数字まで考えた開発を実施することができました。常に回収を考えた開発です。世の中では常識なのかも知れませんが・・・

IT/BT/NT これ何か分かりますか？（図1）

そうです。エンジニアならすぐに答えられますね。

ITはInformation Technology 情報技術

BTはBio Technology バイオ技術

NTはNano Technology ナノテクノロジーの略です。

誰ですか、「イット、バット、ノット」などと言っている人は！？

ではPL/BS/CF これ何か分かりますか？（図2）

エンジニアだとPL=Product Liability(製造物責任)になってしまうかも知れませんが、ここでは経営数字ですから。そうです、

PL(Profit and Loss statement)は損益計算書です。企業の経営成績を収益と費用の形で示し、その差額として損益を示す財務3表の一つです。

BS(Balance Sheets)は貸借対照表です。企業の資産、負債、資本などの財務状態を示す財務3表の一つです。

CF(Cash Flow)はキャッシュフロー計算書です。企業の現金の変動を説明する財務3表の一つです。

この財務3表を開発者として理解しておく必要があります。

質問です（図3）

あなたは今何を研究・開発していますか？

人員と費用は毎年いくらかかりますか？

売上はいつから、どのくらい期待できますか？

それらをいちど財務3表(うちのせめてPLだけでも)にしたことがありますか？

これらはあなたの‘息’の値段です。

図1 IT/BT/NT



図2 財務3表

PL損益計算書		BS貸借対照表				CFキャッシュフロー	
科目	費用	資産の部		負債及び資本の部		営業活動CF	
売上高	..	科目	費用	科目	費用	投資活動CF	財務活動CF
営業費用	..	流動資産		流動負債			
営業利益	..	固定資産		固定負債			
経常利益	..			負債合計			
当期利益	..	資産合計		資本金			
				資本合計			
				負債・資本合計			



図3 あなたの開発の値段

月・年	1	2	3	4	5
投資額					
人	○○	○○	○○○	○○○	○○
物	○○	○○	○○○	○○○	○○
現金	○○	○○	○○○	○○○	○○
回収					
売上高			●	●●●	●●●●
利益				●	●●●
バランス	-	-	-	-	0



できることから、でも背伸びしてね

「保有技術から出発(できないことを言わない。自分の得意分野で勝負)」

これはむやみな多角化を戒めたものです。私の経験では、日本の企業は M&A による開発促進は苦手ですので自社技術に基づいた、多角化&グローバル化に邁進すべきと考えます。種々の会社・団体と共同開発も実施し、開発・事業のクラスタ戦略も構築してきました。これこそ日本の Open Innovation⁴⁾の有り方だと思います。

ポンプ屋としてできることから

当社は回転機械、特にポンプが得意の会社です。であれば、まずは半導体業界でもポンプから始めよう。ということで真空ポンプを始めました。前述しましたが、半導体製造用真空ポンプを開発するには排ガス処理装置も必要でした。そして、ドライ真空ポンプ+ドライ式排ガス処理装置を融合させたクリーンバキュームシステムが完成しました。

当社はめっきもやっています

実は当社はめっき装置も製造しています。それを見たユーザが、それならデバイスバンプ(電極)用金めっきをやろう。と言って下さり、まずはバンプめっき装置が開発できました。そんな装置ができるならその後ウェットプロセスの装置がいろいろ舞い込みました。

超純水も

ところで当社は超純水でも有名です。でも半導体用には進出できていませんでした。そこで単なるユーティリティとしてではなく、特別に必要な量だけ、必要な純水を提供するというオンサイト型超純水装置を開発しました。

それからは辛づる式に

純水ができるなら洗浄装置も。洗浄装置とプロセスをあわせてドライン・ドライアウト式CMPを。というようにどんどん開発テーマが増えて行きました。それぞれが当社の基礎技術から出発しています。もちろん半導体製造装置用に開発するには150%くらいの背伸びはしました。おかげでヒット率は20%程度です。

それでも、これで十分投資は回収できました。

図1 開発の歴史

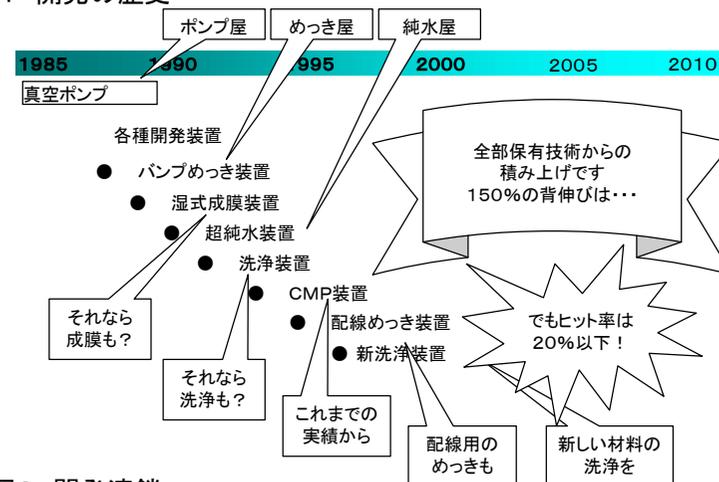
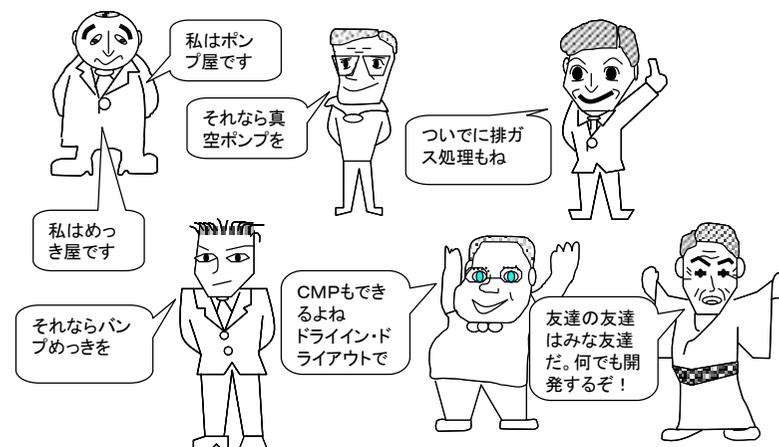


図2 開発連鎖



半導体製造装置勢ぞろい

以上が第四のルール「保有技術から出発」です。

できないことでも平気でできるという人もいます。大和魂はよろしいのですが、会社のお金を使って開発をする我々には匹夫の勇としか写りません。まずは自分が蓄積してきた自分の技術から始めるのがよろしいでしょう。もちろん背伸びは必要ですが。結果として私達は半導体製造用の装置や機器をたくさん世に出して来ました。以下にその製品例を示します。

リソグラフィー用ケミカルフィルタ

当社はグラフト重合膜を応用したケミカルフィルタを製造していました。これを半導体リソグラフィー用の超クリーンフィルタとして開発しました。ppbオーダーのアミンをコントロール可能な画期的フィルタとして評判になりました。

ドライプロセス装置用排気系

これはもう説明済みです。超高真空用のターボ分子ポンプから中低真空用のドライポンプ、そして排ガス処理装置を組み合わせたクリーンバキュームシステムです。

ウェットプロセス装置

CMP、めっき、洗浄装置です。もともとめっき装置からはじめ、同じ3Kの研磨装置であるCMPを開発し、洗浄と組み合わせて(今世紀最大の発明といわれる?)ドライイン・ドライアウトコンセプトのCMPを世に出しました。

ユーティリティ装置

もともと超純水メーカーでしたので、半導体製造用超純水装置を作ることはできました。が、ユーザが何を望んでいるかを考え、大規模な超純水装置ではなく、薬液並みに必要な量を必要な質に向上させた超純水をお届けするというコンセプトでオンサイト超純水装置を開発できました。その後、薬液の回収装置などにも進出できました。

あなたが学生の場合、あなたの指導教官は今何を研究していますか？
その指導教官は十分な経験を持っていると思いますか？
そして今あなたは何を背伸びしていますか？

当社の従来主要製品一覧



半導体製造プロセス

リソグラフィー

イオン注入

CVD

スパッタ

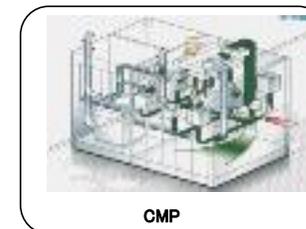
エッチング

CMP

洗浄

めっき

ユーティリティ



— 考えろ！げろを吐くまで考えろ！！ —

ゲロを吐くまで

「あととにかく考えろ！！げろを吐くまで考えろ！！」

これは開発企業を標榜するなら一度は経験して欲しいという精神論です。

実際私はゲロを吐いた経験があります。

1年365日、週に7日、一日24時間、開発テーマを考えていますと、脳が暴走する
ときがあります。そうすると脳の温度が(0.5度ほど?)上昇し、気持ちが悪くなって
くるという経験をしました。私の会社は藤沢にあるのですが、東海道線の戸塚で気持ち
が悪くなり途中下車したことが何回もあります。(飲みすぎではありませんよ)

でも最近はこの過激なことを言う「パワーハラスメントだ！」とお叱りを受ける可
能性もあります。ですから、昔と違って私ももう強制はしません。でも、私の経験談と
して覚えておいて下さい。

ゲロを吐くまで考え抜いたことがあるんだ！

という経験は生涯忘れることができません。

因みにこの経験をIBMヨークタウンの研究者(のVPクラス)に言いましたら、IBM
には「Think Twiceというのがある。IBMは2回考えるだけだが、辻村さんは3回考
え、さらにゲロを吐くまで考える。これは是非取り入れさせてもらおう」と言われました。

その後、協力企業で、大学で、高校でといろいろな箇所での「開発5ヶ条」の講演
をしましたが、最後の「ゲロ…」では同じような経験を持った方が何人かおられて共感
を持って戴いたのが嬉しかったです。

どうですか？ 企業の開発の雰囲気を感じましたか？

この5カ条を守る必要はありません。

あなたの5カ条を作って見せて下さい。

いつでも、どこでも開発(的)考えて企業を生き抜きましょう。

図1 考えすぎて頭が暴走

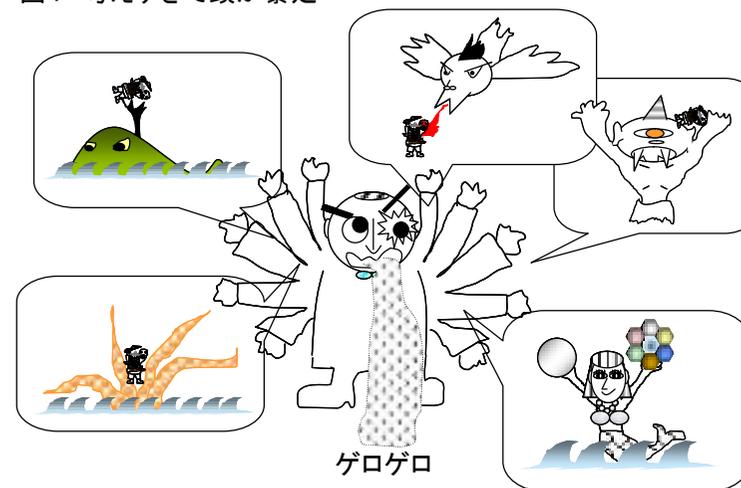
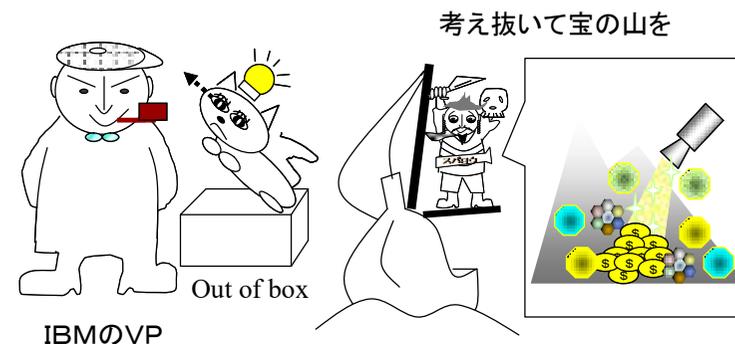


図2 IBMは2回考えてOut of box 私は考え抜いてゲロから宝を



100/20/2 と 3/4/5/1

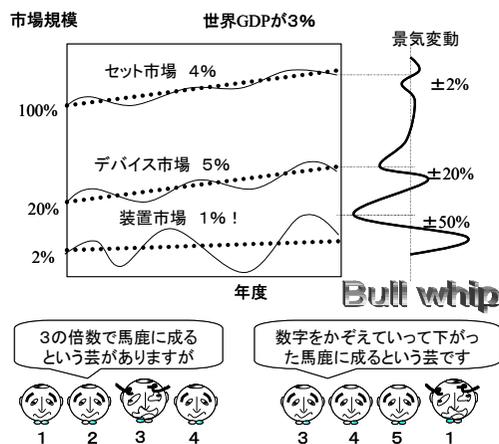
100/20/2

半導体業界の Food Chain で見ますと、電子機器(セット)の市場を100%とすると、デバイス市場はデバイス搭載比率で決まり約20%、そして装置市場はそのデバイス業界の投資比率で決まり約2%(20%の10%)とされています。電子機器市場は新しいアプリケーションが出るご(‘ご’を取る)とに急増しますし、またデバイスに革新があればアプリケーションも増えるというソフトとハードのスパイラル成長市場です。もともと CE(Consumer Electronics)への欲求は際限が無く、今後もうなぎ昇りだと思えます。デバイスの搭載比率はハイエンドほど大きくなりますので、これも今後まだまだ増えつづけるものと期待できます。

3/4/5/1

それならセットもデバイスも装置も心配は要らないだろうと思いますが、心配な数字が出回っています。2008年以降の平均年率成長率予測ですが、世界のGDPが3%強、セットは4%強、デバイスは5%強なのに、装置はわずかに1%です。一般的に言ってGDPよりも低い成長率の業界は衰退産業です。成熟期ですら無いんです！

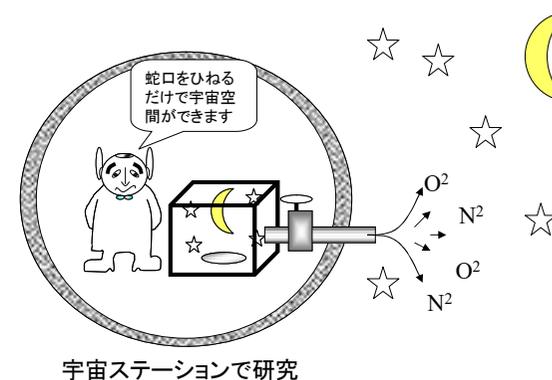
最近1・2・3・4・5と数えて言って3の倍数を数えるときだけ馬鹿になるという芸で一世を風靡した芸人がいましたが、私も新しい芸を開発しました。ある関連数字を並べて読み、数字が下がると馬鹿になるという芸です。3・4・5・1(ここで馬鹿になる)。



第 II 編

JOY (常識を破ろう)

Break the common sense



不要なら止めなさい、もったいない

もったいない (図1)

最近では低炭素社会の実現という高尚な目的がありますので、節約が美德になっています。実は私たち団塊の世代は「消費こそ美德」と教えられて育ってきました。急に変わると言われても、三つ子の魂百までもです。刷り込まれた習慣はなかなか直せません。

今日も部屋中のクーラーをつけっぱなしで寝てしまいました。低炭素社会どころではありません。不要なら消すべきでした。反省！

さらに不要なものを探すと出てくる出てくる。嫌になってしまいます。

洞爺湖サミットでは2050年までに現在の二酸化炭素排出量の50%減を約束したようですが、我が家では一日で50%削減を達成してしまいました。

半導体製造用真空システムも同様 (図2)

半導体製造設備用の真空システムの話です。この真空システムではポンプは回りっぱなしなんです、それが常識です！

それなら常識と反対のことをやってみましょう、と言うことで「本当に連続運転が必要ですか？」という疑問を議論の発端としました。

結果として、半導体製造用反応室が真空でなければならない時間は限られていることが分かりました。それならその間は止めても構わないのでは？という試算をしてみると、何と50%も削減できる可能性があることが分かりました。

大変です。それならとプロジェクトを作って確認試験に入りました。

反応室で真空が必要な前後でバルブを開閉して、反応室の真空度に影響を与えないという条件で運転してみますと、見事に問題がなくシステムが組めました。さらに、ポンプが止まっているなら、ポンプ用のユーティリティ(電力、冷却水、窒素ガスなど)も止めて見ました。結果として、エネルギーとしては当初の75%も削減ができてしまいました。

まさかの結果です。

ですが、当初思ったことと別の効果が現れるということは開発には良くあることです。これを開発ではセレンティビティと呼んでいます。(棚からぼたもちとも)

図1 不要なら止めなさい

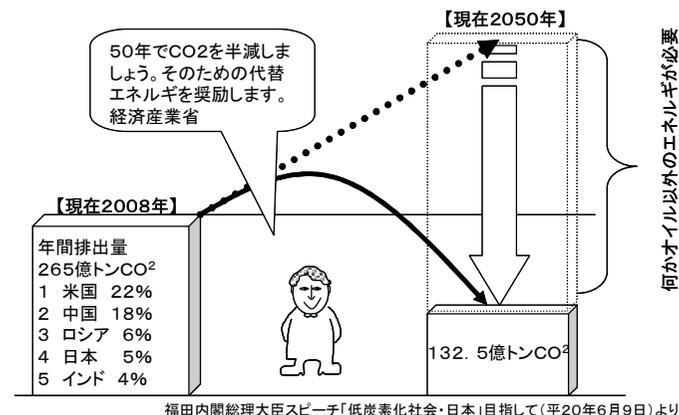
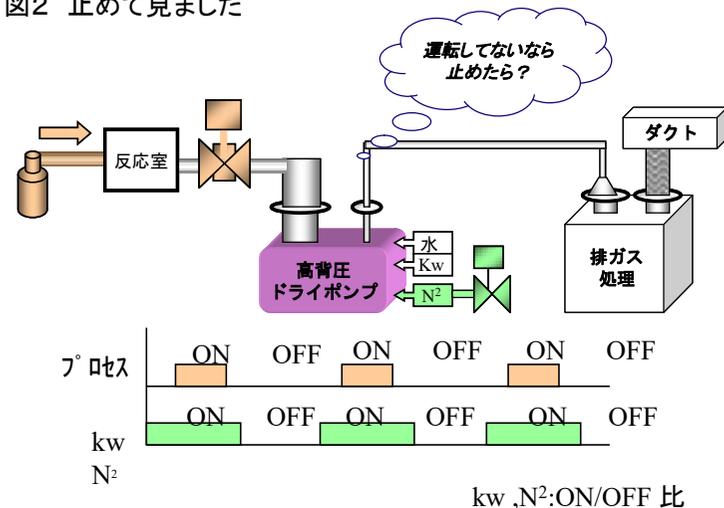


図2 止めて見ました



バルブをなくせ

共用しましょうよ (図1)

私の家は狭いのですが、それでも妻(久美子)と共用の勉強部屋があります。狭いながらも楽しい我が家で、私は気に入っていました。ところが、先日なにやらテレビを真剣に見ていたと思ったら、久美子がとんでもない案を出してきました。

狭いところを有効に使う！共用アイデアを出そう。

という番組です。

確かに番組ではかなり有効なアイデアが満載でしたが、久美子の案は違っていました。私と久美子が別々に持っていた机を共用で一つにする。そして、あいた私の机の場所を久美子専用の本棚にするという案でした。それでも机が半分半分になるならあきらめもつきませんが、どうやら不可侵条約の境界は70:30らしいです。

これじゃあ共用でなくて、強要だ！

バルブが常識 (図2)

またも半導体製造設備用の真空システムの話です。

図2の右側を見て下さい。

従来型デザインでは、ターボ分子ポンプと真空チャンバの間には①仕切弁と②圧力制御弁が別々にありました。そのために本来ターボ分子ポンプのような超高真空ポンプと真空チャンバの間は極力短くしなければならないのに、かなり長いスペースを必要としていました。結果としてターボ分子ポンプの排気能力もかなり低下して使用していました。

これらの①仕切弁と②圧力制御弁は別々にあるのが常識だ！

それなら一緒にしてしましましょう。さらに、真空チャンバの場所まで共用してしましましょうというアイデアです(図2の左側)。真空チャンバにめり込んだ板上のものだけで①仕切弁と②圧力制御弁を兼ねています。

結果としてポンプと真空チャンバの間のスペースもかなり短くなって、ターボ分子ポンプの排気能力も上がってしまいました。場合によっては、従来より小さなターボ分子ポンプでも十分ということになりました。

スペース低減と実質排気性能の向上の一石二鳥です。

図1 共用しましょうよ

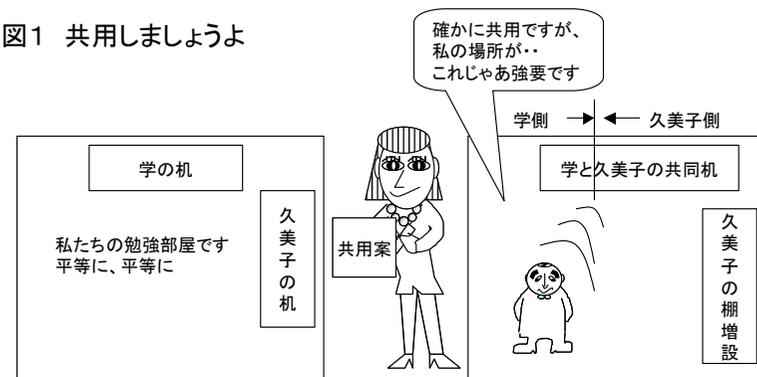
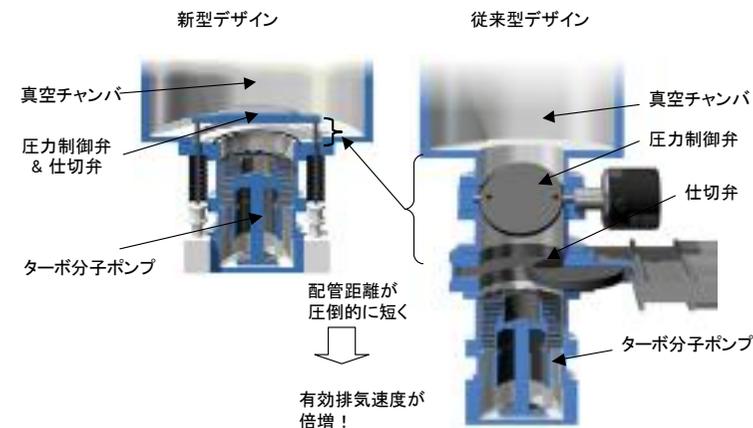


図2 機能だけ残して省きましょう



必要なものを必要なだけ

大は小をかねるのうそ (図1)

関東大震災が来るかも？ と脅された私は直ぐに防災用品を買いに走りました。いやにこやかな店員さんです。私を見るなり飛んできて言いました。「いや～、お客さん、いいところへ来ました。ただいま日本沈没感謝祭をやっています。今ならお得防災用品が買えますよ」と店員さん
「えっ！ そんなに大きいのは要りませんよ」と私
「いや～、大は小を兼ねますよ」と自信満々の店員さん
「・・・それなら買います」と私
家に帰ると、しまう場所がありません。久美子(妻)に見つかったら何を言われるか・・・必要な物を必要なだけ買えばいいんです。
あれっ、どこかで聞いた台詞だなあ、と思いましたら、私がかつて開発に加わったオンサイト型超純水の売り文句でした。

オンサイト型超純水装置 (図2)

通常超純水はクリーンルームのユーティリティですので、大流量を集中システムで供給します。そうするとデバイスの世代が変わるたびに向上する超純水の要求度に合わせるために、工場の大流量を全部向上させるという大変な工事がかつて行われていました。

よく聞いて見ますと、確かに最高性能を要求するプロセスもありますが、そんな箇所は全体の多くて20%でした。それならその部分だけ改善すれば良いのでは？ 必要な性能の水を必要なだけ向上させるというコンセプトで、オンサイト型超純水装置⁵⁾の開発が始まりました。

始まって見ますと、実は必要な性能というのもプロセスによって異なることが分かりました。それならと溶存酸素の少ない超純水、逆にオゾンが入った超純水、果ては超純度のイオン水などという機能水の開発にまで繋がりました。

図1 大は小をかねる？

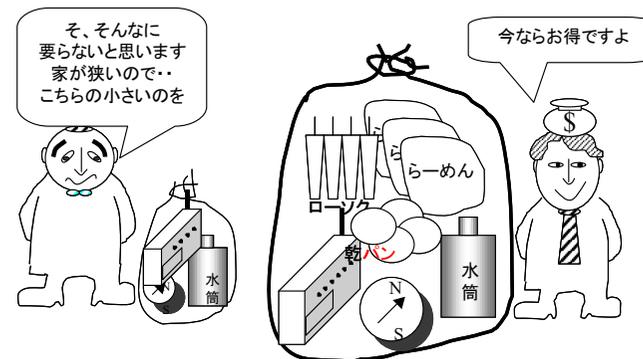


図2 オンサイト型超純水装置



必要な箇所だけ・必要量性能アップ
5 m³/hr 10 m³/hr

	入口	出口
Resistivity (MΩ・cm)	17.0<	18.1<
DO (μg/l)	< 100	< 5
TOC (μg/l)	< 30	< 5
Bacteria (counts /l)	< 50	< 1
Particle (counts /ml)	< 200	< 1
Silica (μg/l)	< 30	< 1

CMP だって

スポックが宇宙ステーションで (図1)

1986年、超高真空との戦いに明け暮れていたときのことで、夢を見ました。

宇宙ステーションで真空プロセスの実験をしている人が見えます。耳がとんがっていて、そうだ、あれはスタートレックのスポック副船長だ。あれ、真空チャンバの中は外の宇宙空間と全く同じだけど、真空ポンプは何をつかっているのかなあ。

あれ、水道の蛇口をひねるだけでいいの？

そうです。宇宙空間では、環境そのものが超高真空ですので、外にパイプを繋いで蛇口をひねるだけ。私のように5万回転でターボ分子ポンプを廻さなくても良いみたいです。(昔防空壕の中でターボの破壊テストをしました。)

地球ではあれだけ大変な超高真空が...

宇宙では真空が当たり前、地球では大気が当たり前です。

それなら地球では大気圧内プロセスを開発しよう、と思いました。

真空が常識なら非真空で (図2)

それまで一点の曇りなく超高真空を作っていた私にすごいプロセス開発がやってきました。コーヒーにクリープを混ぜたような液体をテーブルに流して、半導体ウェーハを布で擦るんです！ 始めは信じられませんでした。これが私とCMPの出会いです。

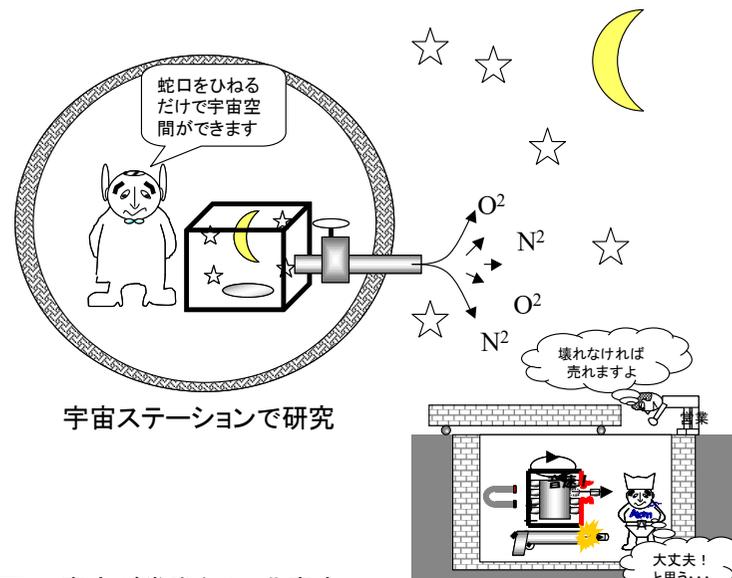
ベアシリコンウェーハが研磨で仕上げられていることは知っていました。でも、その研磨装置でウェーハプロセスを作るなんて、正に晴天の霹靂です。水中に飛び込んだ新入社員の山田君以上の驚きでした。

前述しましたように半導体デバイスは微細化と共に多層化を余儀なくされ、自然各層の平坦化が最重要課題であったときです。

誰かが言い出しました。真空がだめなら非真空で。(残念ながら言い出したのは私ではありません。海外のデバイスメーカです)

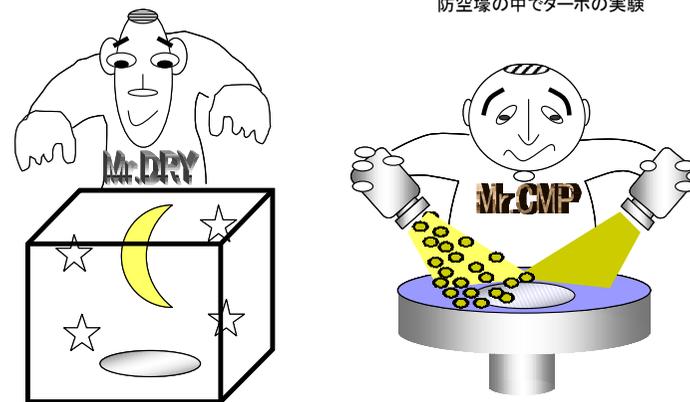
でも、この世にも汚い研磨装置を、この世で一番クリーンな半導体デバイス製造用クリーンルームに持ち込んだドライイン・ドライアウトコンセプト⁶⁾は当社で考えたものです。この技術のおかげで、最先端デバイスができたのです。(という誇りを持っています)

図1 宇宙では蛇口が真空ポンプ



宇宙ステーションで研究

図2 真空が常識なら、非真空で



防空壕の中でターボの実験

CMP開発プロジェクトが始まった

ここでは実際に当社で実施したCMP開発プロジェクトを見ながら、実際の開発現場イメージを味わって戴きたいと思います。

半導体デバイスは微細化と大口径化の繰り返し（図1）

半導体は1947年にトランジスタが発明されて以来、微細化と大口径化でこの世の春を謳歌してきました。図1はそれをイメージで示したものです。CMPはこの微細化に伴い、半導体デバイスを平坦化させる目的で発明された技術です。微細化寸法が180nm世代まではCMPが採用されていませんでしたので、図に示すように各層が凸凹です。130nm世代以降徐々にCMPが採用され始め、各層が平坦化され多層化が一気に進みました。

開発ロードマップが示されている？（図2）

ところで、半導体業界では全世界に開発仕様が公開されているって知っていましたか？ Open Innovationの考え方を指示するメーカーが多いためだからでしょうか、とにかくデバイスの開発仕様が国際ロードマップITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)⁷⁾として公開されています。

デバイスは今後どう変わるのか？ それに必要な製造プロセスは何か？ 装置メーカーはこのITRSやユーザーロードマップを参考にして自らの装置開発ロードマップを決定することができます。

例えば図2には微細化寸法とウェーハ径が年代と共に示されていますが、これ以外にも要求数値がたくさん載っており、技術者はこれを頼りに開発を進めます。ただし、要求は載っていますが解決策は載っていません。技術の限界を追い求め、その努力の中から革命技術が生まれます。

半導体デバイスの進化がデバイス設計では新材料革命を呼び、装置設計にはウエットプロセス革命を生みました。CMPもこうして考え出された装置です。

さらに装置開発と言えどユニットプロセスのみでなく、種々のプロセスを組み合わせた「プロジェクトマネジメント」の必要性が出てきました。プロジェクトマネジメント⁸⁾は所謂NASAの大プロジェクトや公共投資のプロジェクトマネジメントとは様相を異にしますが、ユーザーロードマップに合わせながら、性能向上やコスト削減などの目的を明確にして複数のチームをマネジメントしたものです。

図1 半導体デバイスの微細化と大口径化

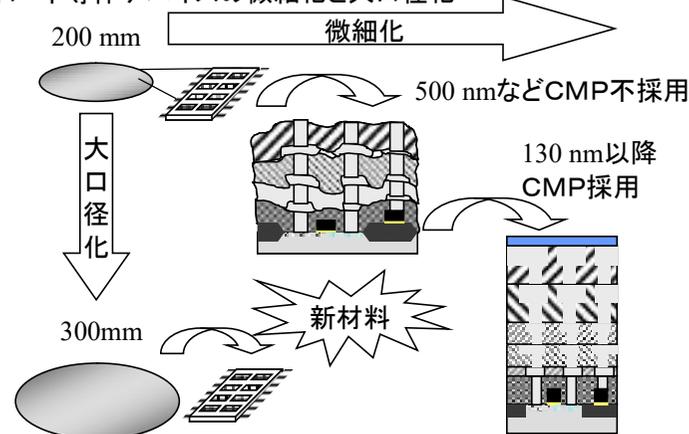
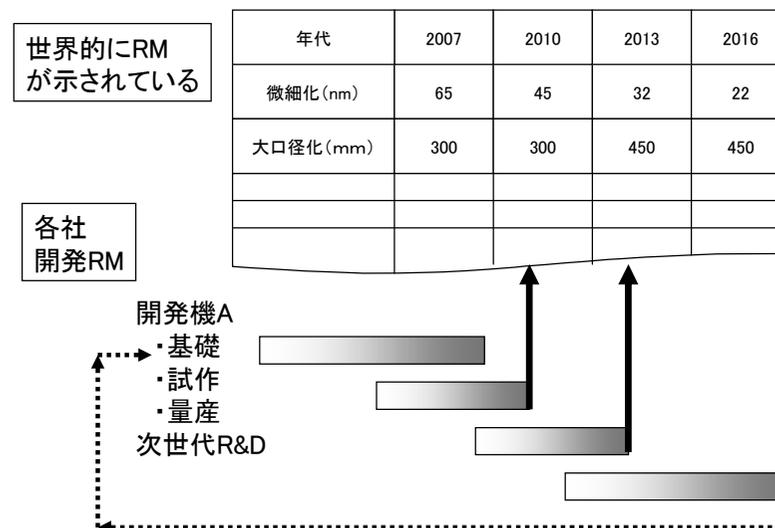


図2 開発計画が世界でシェア？



ドライからウェットへ、そしてCMP

ウェット装置が増える！（図1）

ITRSからのメッセージを開発リーダが読み解きました。それは、

- (1) 超平坦化要求：300mmウェーハ全体にわたって10nmというレベルの平坦化です。なまじのことではできないものではありません。
- (2) 超AR(アスペクトレシオ)化：配線幅が細くなりますので、どんどん配線高さが高くなります。幅対高さのアスペクトレシオがどんどん大きくなります
- (3) 超洗浄：すると孔底を洗浄することが難しくなり、洗浄要求が厳しくなります。
- (4) 新材料採用：さすがの半導体も新しい材料の選択枝を迫られます
- (5) 大口径化：これは何時の世も生産性と経済性から要求されます。

ということで製造プロセスが変わる、よって装置も変わる。しかもかなりの変化だ。そんなところから従来のドライプロセスからウェットプロセスへの見直しが進められてきました。例えば、研磨やめっきもそのひとつです。今後ウェットプロセスの比率は益々増えるものと期待しています。

ダマシンプロセス概要（図2）

めっきと研磨に關与するダマシンプロセス⁹⁾だけは説明しておきましょう。

半導体デバイス製造プロセスの革命技術です。

簡単に言いますと従来のアルミ配線よりも抵抗率の小さい銅を配線材料に用いたいと考えました。その銅をめっきで成膜して、研磨で平坦化しようという技術です。

京都に象嵌(ぞうがん)という技術があります。

漆材料に傷を付けて、そこに金粉を振りまき、傷に埋め込む技術です。

この傷が酸化膜によるエッチング

金粉が銅めっき

手ですり込む代わりに研磨で埋め込みます。

これが半導体の象嵌技術、ダマシン技術です。

この技術のおかげで、半導体製造プロセスにめっきと研磨が採用されました。

図1 デバイスロードマップとウェット装置

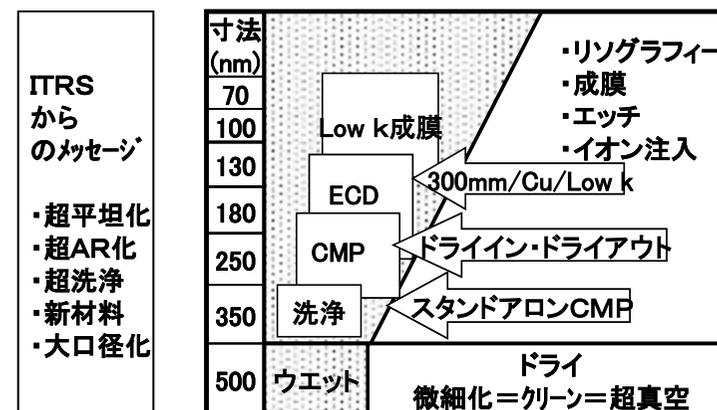
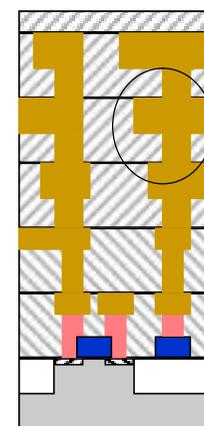
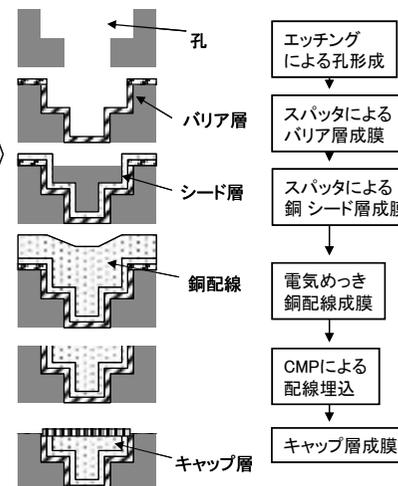


図2 ダマシンプロセス

<デバイスイメージ図>



<ダマシンプロセス>



障壁があればあるほど

ITRSの技術障壁とは（図1）

ITRSでは開発課題を示してくれているといたしました。それではダマシン技術を採用する際の課題を明らかにしておきましょう。これがITRSの示す技術障壁例です。

- (1) 配線の微細化の伴い配線の深さ対幅のアスペクトレシオが大きくなります
- (2) 配線のバリア層やシード層が薄くなります
- (3) 研磨の平坦化特性が厳しくなります
- (4) 配線の低抵抗化、つまり銅配線の採用です
- (5) 絶縁膜の低誘電率化、Lowk材の採用や高融点メタルキャップの採用です
- (6) 大口径化ウェーハの採用

などです。これらの課題を克服するため、全世界のエンジニアが開発競争を始めました。もちろんめっきや研磨だけではありません。ダマシンプロセスを成功させるためにあらゆる技術があらゆる国で始められました。

プロジェクトの推移（図2）

今回のプロジェクトチームです。開発のドクトリンに従ってまずは、市場情報と技術情報から開発コンセプト決定します。ここでは研究所・他本部・大学・他団体と必要であれば関係各位を呼ぶことが可能としました。開発コンセプトに従いプロジェクトチーム発足。各要素に分かれて開発テスト開始。確立されたテスト結果に基づきα機（社内テスト機）を製作。この結果に基づきβ機（客先評価機）製作。最後はγ機（量産機）という進捗ですが、この途中何時でもこの段階に戻ることも可能としました。

ダマシンモジュールに必要な要素技術はドライプロセスの【エッチング】【スパッタ】とウエットプロセスの【めっき】【研磨】【洗浄】です。我々はめっき・研磨・洗浄ウエットプロセスを扱うものとし、本開発の目的をこれらの半導体デバイス製造用ウエットプロセス装置の高性能化としました。ITRSから技術の障壁が見え、その障壁を越える挑戦をする、これが開発のターゲットになりました。技術の障壁をウエットプロセスで越える。これこそが正にWet Revolution（ウエット革命）だ。ウエットプロセスの全体課題は所謂汚い・きつい・経験依存の3K対策です。次に各要素については高性能化の定義付けを行い、各要素毎のグループに別れ開発を実施、最後にインテグレーションを行うという方法を試みました。ここでプロジェクトマネジメントの重要な第一項目に「キーワード化又はキャッチコピー化」を上げたいと思います。簡単な言葉でチーム全員に目的を明確にすることは必要です。正にNASAの「月へ行くんだ」と同じことです。

図1 ITRSの示す技術障壁

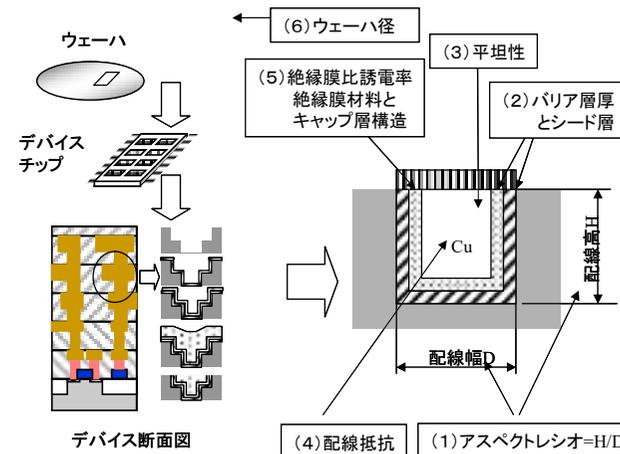
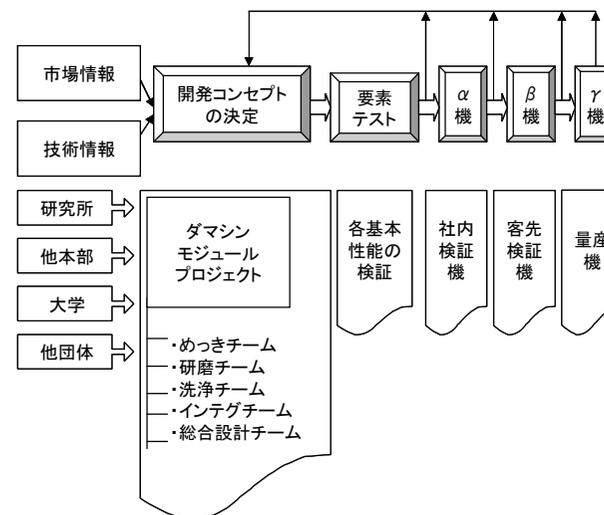


図2 プロジェクトの推移



プロジェクトマネジメント

ここで、プロジェクトマネジメント¹⁰⁾を紹介しましょう。

プロジェクト方針

図には本プロジェクトの方針と各課題の整理を示しました。世代背景として当時CMPが既に世の中に受け入れられていたこと、プロセスの低温化と安価要求があり、新材料採用によるプロセス変化が上げられました。

そこで装置の開発方針のキーワードは【プロセスの高性能化】【装置の高クリーン化】【科学的アプローチ】としました。ITRSの示す技術の限界【配線の低抵抗化】【高アスペクトレシオ化】【バリア層の薄膜化】【絶縁膜の低誘電率化】【平坦化】【大口径化】を挑戦課題とし、開発の方針および各課題を決定しました。プロセスの高性能化ではめっきの高性能化とCMPの高性能化を取り上げ、めっき課題はさらに含浸材ダミー抵抗によるめっき方法と銀配線用キャップ層のめっき方法を選択しました。CMP課題では研磨速度分布制御の解析とナノボグラフィの解析を選択しました。

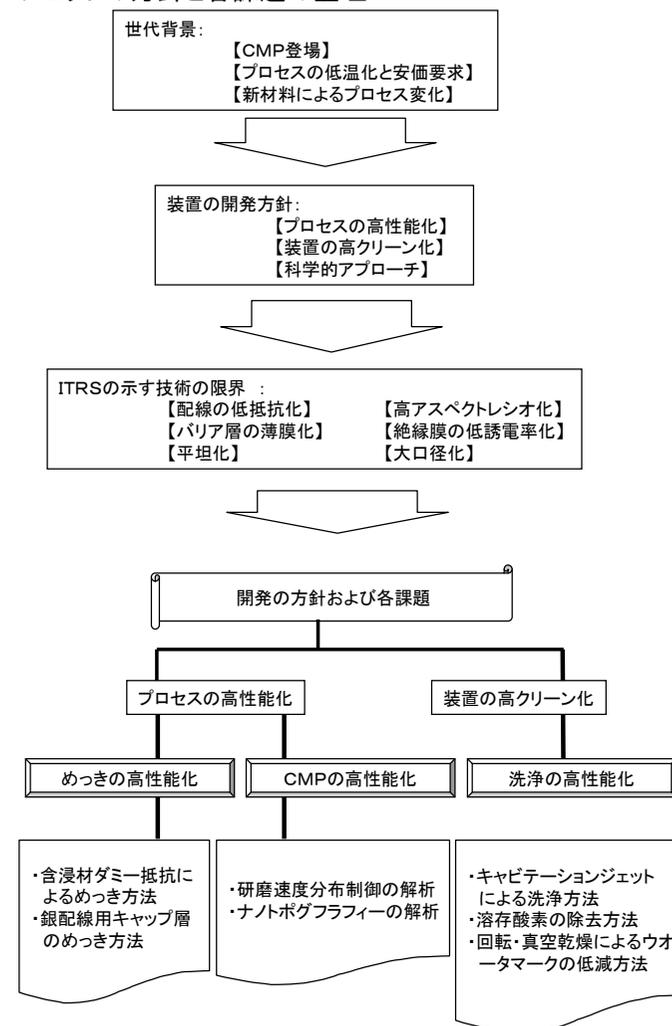
装置の高クリーン化では主として洗浄の高性能化を取り上げ、キャビテーションジェットによる洗浄方法、溶存酸素の除去方法、回転・真空乾燥によるウオータマークの低減方法などを開発しました。詳細は参考文献をご覧ください。

3K問題

ウェットプロセスの代表はめっきと研磨です。これらは昔から「汚い・きつい・経験依存」3Kの代表と言われ忌み嫌われてきたプロセスです。にも拘わらずその性能は従来のドライプロセスを凌駕するものであったため、エンジニアの開発意識を沸き立たせるに十分なものでした。

めっきと研磨の開発の話の度に思い出す言葉があります。「温故知新」(ふるきをたずねてあたらしきをしる)正に開発エンジニアのためのバイブルです。後述するようにめっきと研磨も「きれい・簡単・科学的」の新3Kに生まれ変わらせることが開発目標のひとつになりました。当社の特許であるドライインドライアウトはこうして生まれました。

プロジェクトの方針と各課題の整理



めっきチームから

キャッチコピーで（図1）

昔米国大統領のJFK(ジョン・F・ケネディ)さんが宇宙開発を推進する際に「月に行くんだ！」と言い切ったそうです。このキャッチコピーの威力は絶大でした。分かりやすく、夢があります。キャッチコピーにはこんな効用があります。

ところで研磨もCMPと呼びました。研磨(Polisher)というよりも、何か高級な感じがするのは私だけでしょうか？そこで、めっきもめっきといわずECD(Electrical Chemical Deposition)と言おうと決めました。如何にもハイテク技術らしい香りがします。これは一つの言葉のマジックですが、これもキャッチコピー化の効用の一つです。担当エンジニアの意識改革と言っても良いと思います。

従来のめっき装置は（図2）

めっきの目的は、従来のアルミ配線から銅配線に変え、薄いシード層を用いて高いアスペクトの孔をめっきで埋めることです。それまでのめっき装置と言えば図2に示しますように、大きな循環バスにめっき液を大量に入れて、ポンプで液循環をして使用していました。装置が大きくなる、めっき液をたくさん使う、循環に伴う泡の発生などなど種々の問題がありました。

どうにかならないのでしょうか？

たった60ccのお風呂？（図3）

そこで開発されたのがこの装置です。

ここではめっき液は循環せず、たったの60ccだけウェーハの上に乗せるだけです。含浸めっきの誕生です(後述のめたぼ神です)。含浸めっきの良い点はそれだけではありません。半導体デバイスの微細化に伴い、シードも薄膜化します。つまり電気めっきのシード抵抗が大きくなってしまいます。含浸めっきは、めっき電気系に極端に高いダミー抵抗を付与することで、この薄膜シード上のめっき成膜に成功しました。

どうして？

もう少し待って下さい。めたぼ神はもうすぐ登場します。

図1 キャッチコピー



図2 従来のめっき装置

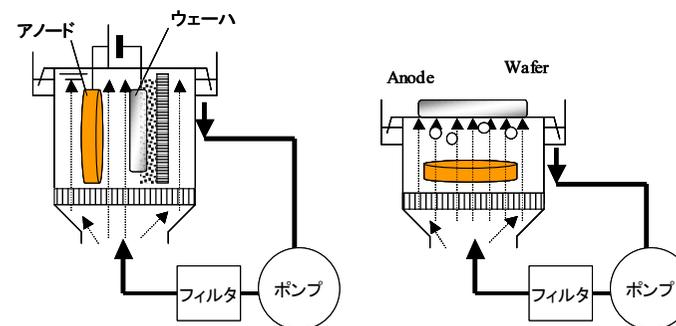
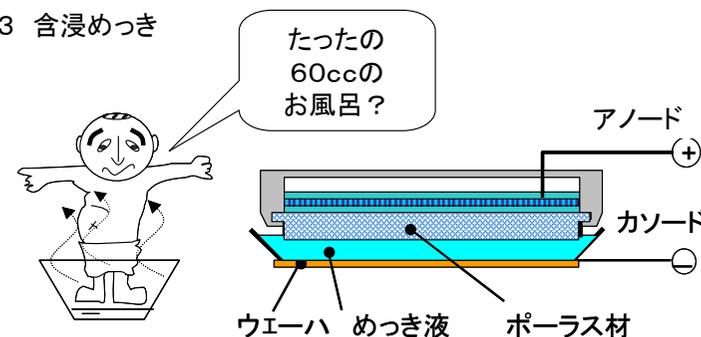


図3 含浸めっき



研磨チームから

Polisherと言わずPlanarization (図1)

従来研磨はCMPとして発展してきました。ここでも研磨といわずCMPと言い換えることで開発者の意識改革が行われました。私はそれを更に進めました。CMPのPはPolisher(研磨)のPです。でも、ユーザは研磨を要求しているのではなく、超平坦化を要求しているわけです。よって、研磨である必要はありません。となれば名称も変えましょう。1998年、CMP(Polisher)からCMP(Planarization:平坦化)としました。この名称変更は米国のMRS国際学会2001年から採用されています。

平坦化統一論 (図2)

それでは研磨以外にどんな平坦化方法があるのでしょうか？

CMPが出てくる前には、絶縁膜の平坦化成膜法やメタルのリフローなどによる平坦化プロセスもありました。CMPが出てきた後はこれらのプロセスは消えてしまいました。ポストCMP候補としては、研磨・電解研磨・複合電解研磨・エッチングさらにはその複合技術が開発のターゲットになっています。

電解研磨はめっきの逆と理解しても良いと思います。一般業界での電解研磨はバリ取りなどに効果的であり、平坦化にも効果が期待されましたが現在のところ良いデータは発表されていません。

複合電解研磨は電解研磨と研磨の複合です。つまり、研磨では銅の酸化を酸化剤で行いますが、複合電解研磨では電気酸化します。酸化された銅を錯体にするのはどちらも錯化剤であり、その後の機械的除去もスラリーで行います。つまり、両者の違いは銅の酸化方法だけです。エッチングは銅の溶解剤で除去します。

従って、研磨と複合電解研磨は基本的に平坦化能力は同じです。電解研磨とエッチングは基本的に平坦化能力を持ちませんので、他の添加剤などの工夫が必要です。これらの原理をまとめて「平坦化統一論」¹⁰⁾として論文発表しました。もとよりこの統一論は理論というよりも、たくさん出てきた種々の技術の特徴を捉えるのに役立つと評判です。

図1 研磨でなくて平坦化装置

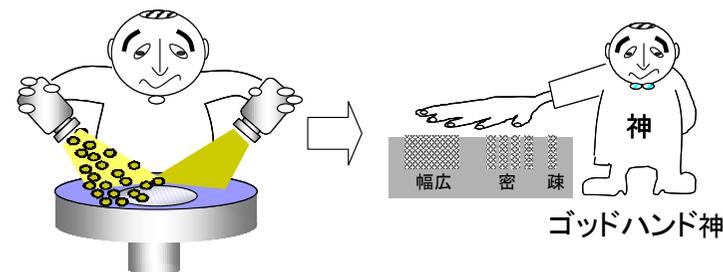
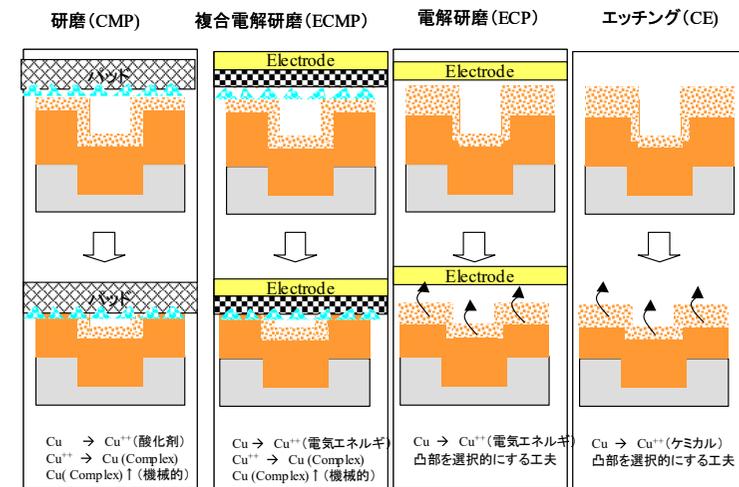
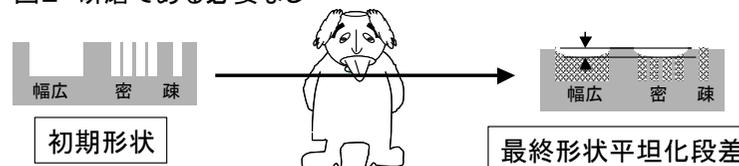


図2 研磨である必要なし



洗浄チームから

ドライン・ドライアウト誕生（図1）

CMPが登場した当初は「研磨はスラリが乾いて固着すると洗浄できない、だから乾かしては行けない」という間違った考え方が蔓延していました。事実当初は、図1に示しますように研磨装置も洗浄装置もスタンドアロン型でそれぞれが独立していました。研磨が終了すると、ウェーハを乾かさずに水につけたまま洗浄機に運ぶということを本当にやっていた。しかも人間が手で！ これでは誰も使いたがらないのも当然です。何とかCMPを他のドライ装置並みにしたい。それにはウェーハがドライで入ったら（ドライン）、研磨後にもウェーハを洗浄・乾燥して出したい（ドライアウト）という欲求が当然出てきました。ドライン・ドライアウトコンセプト¹¹⁾です。

でも、思い込みというものは怖いものです。

研磨は世界一汚いプロセスであり、洗浄は世界一きれいなプロセスです。

そんな装置が一体化するなど誰も考えもしませんでした。

気流解析で（図2）

本当でしょうか？

そんな疑問からプロジェクトでは実験と解析を繰り返し実施しました。

まず気流を制御しよう。

一番きれいなロード・アンロード部から洗浄部、そして一番汚い研磨部へと流れを制御することにより、望みが出てきました。まずは有限要素法（FEM）で解析をして、実際に作ってみて検証というプロセスを繰り返し実施し、結果としてこのドライン・ドライアウト装置が誕生しました。

ドライン・ドライアウトコンセプトでCMPがドライ並みの装置にならなかったら、今日のようにCMPは多用されなかったでしょう。正に技術の勝利です。

洗浄機としての性能も（図3）

最初はスラリを除去するだけの目的だった洗浄機も、そのうちに段々と本来の洗浄機としての性能を要求されるようになりました。半導体デバイスの洗浄は大変です。同じ表面に種々の汚染物質が存在するのに、汚染せずに洗浄せよとの仕様です。

ということで、今回の開発ではめっき・研磨・洗浄それぞれの進捗度合いが異なったり、不具合の理由が他のチームからの原因であったりといろいろ紆余曲折しました。現状はECD技術・CMP技術・洗浄・乾燥技術などの全てが「技術の限界」に挑戦するものであり、これら本開発の成果によってITRSで示された「技術の限界」を超える可能性が見えてきました。

図1 ドライン・ドライアウト誕生

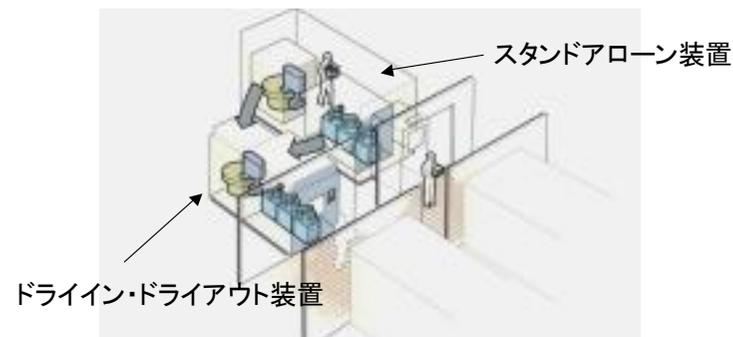


図2 気流解析が力を発揮

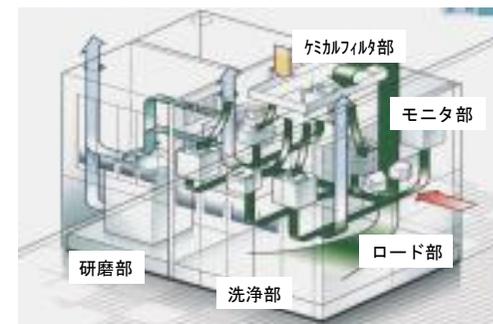
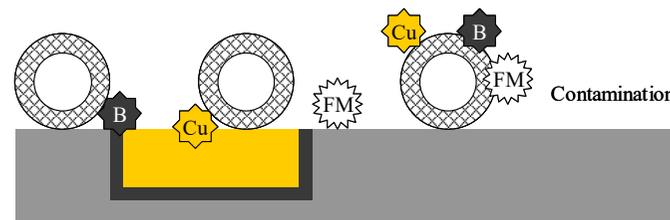


図3 どうやって洗うの？



JOY

じょーい！

じょーい！

と言いながら開発を進めています。

「先ずは何か常識かを考え出しましょう」(学)

「はい、電車ではおじいさん、おばあさんに席をゆずる事です」(高校生)

「では常識を破って見ましょう」(学)

「おじいさん、おばあさんが座っていたら、どかします？」(高校生)

「・・・」(学)

これはハイテクユニバーシティで本当にあった話です。

何が間違っていたのか？

お年寄りに席をゆずるのは‘常識’では無く‘道徳’です。

大麻を吸う？交通ルールを破る？これは‘法律’です。

法律や道徳を破るのではなく、普段感じない水や空気のような存在の、当たり前と思
って行動している‘常識’をやぶって楽しもう(Joy)ということです。

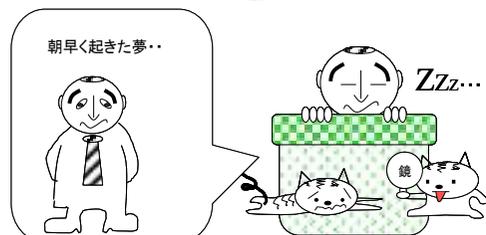
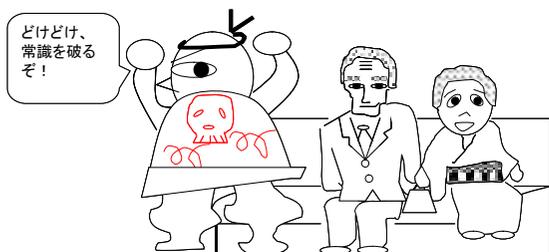
「朝は7時に起きるのが常識です」(高校生)

「では常識を破って見ましょう」(学)

「朝6時に起きるようにしました」(高校生)

さあ、この高校生に明日から何が起ころのでしょうか？

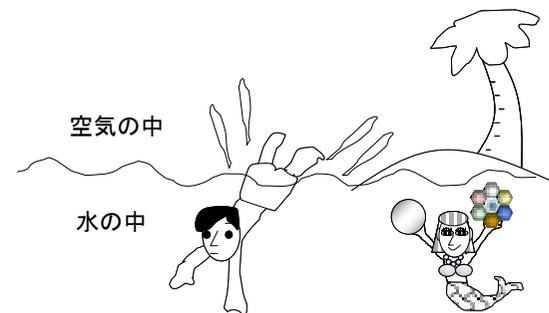
楽しい発見がありますように。



第 III 編

開発で企業を生き抜く方法教えます

I will tell you how to survive by R&D concept



世界トップとは？

入社するなら？ 就職前の皆さんへ（図1）

読者の方が就職前の方々を意識して質問させて戴きます。既に就職された方は、かつての自分を思い出しながら質問に答えて下さい。

最初の質問です。皆さんは「寄らば大樹の陰」とばかりに大企業を狙いますか、それとも「鶏頭となるとも牛尾となるなかれ」のように中小企業を狙いますか？（図1）

この大樹を選ぶか鶏頭を選ぶかは、かなりその時の景気に連動しているようです。景気が悪い時には、やっぱり大樹。景気が良い時には、冒険して鶏頭を選ぶ傾向があると聞きました。どちらでも良いのですが、企業にも景気の波があります。せっかく入社した会社の景気が30年経ったらどん底では笑い話にもなりません。結局、30年先を見通すなど誰にもできることではありませんので、好きな道を選んだほうがよろしいかと思います。

全てに寿命が（図2）

まずは業界にも寿命があります。鉄鋼から自動車、半導体と移り変わり、今後はバイオか環境か、ひょっとしたらまた農業などという時代が来るかもしれません。そのような業界寿命の中で、各企業の栄枯盛衰があります。少なくとも30年単位でその危機に見舞われることは事実でしょう。そのサイクルが合わなかつたら悲劇です。

ということで、ここではどちらを選んでも構いませんが、皆さんに一度は世界トップの気分を味わって戴こうと思います。

世界一になる方法教えます（図3）

質問です。「私は世界でトップです」という人はいますか？どんな分野でも構いません。これだけは人には負けないというものです。

誰ですか、どんぶり飯の量なら世界一と言っている人は。もちろんそれでも構いませんが、せっかくですから企業の中で世界一を狙いましょう。

企業寿命が30年という説に習うわけでは無いのですが、人の企業人生も30年です。その30年の間に一度は世界トップに立ってみたいと思いませんか？ 少なくとも現在私の廻りには世界一といえるエンジニアが少なくとも5人はいます。

寄らば大樹の側で、もしくは鶏頭として、あなたは30年の間に世界トップに立てるのでしょうか？ 30年の間に何ができるかを考えて見ましょう。たぶん3回くらいはチャンスがめぐってくると思いますよ。

この本を読めば、あなたも世界一になる方法をつかめると思います。因みに私は猫より早く走れます。

図1 大樹？ 鶏頭？

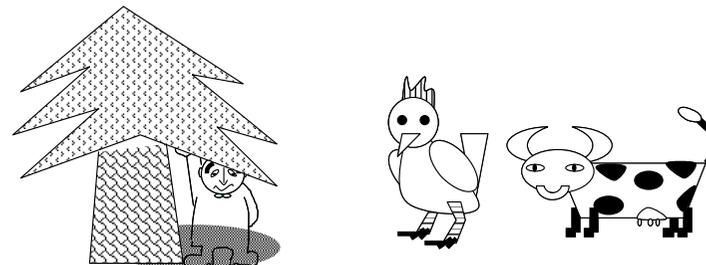


図2 人生30年、企業も30年

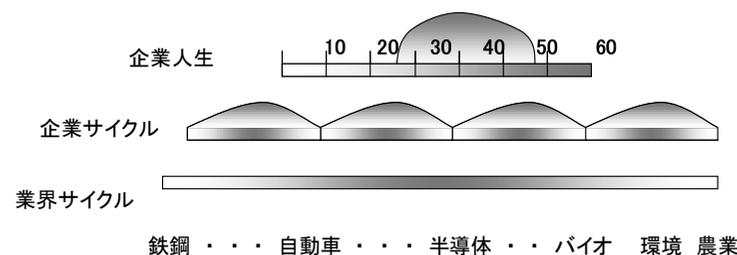
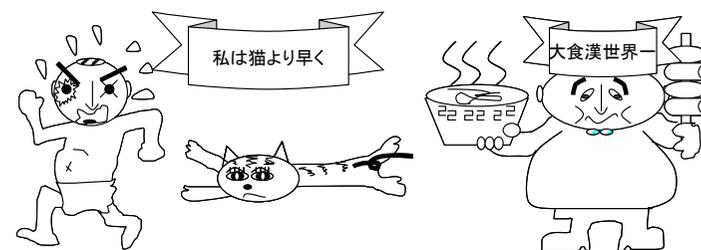


図3 私は世界一



開発型企業とは？

どんな企業を思い浮かべますか？（図1）

開発型企業というとどんな企業を思い浮かべますか？

世界最高性能のパソコンを開発した企業？

世界最小の携帯を開発した企業？

それとも、あなたの会社？

私は全ての企業が開発型企業だと思います。で無ければ生きぬけない時代です。焼肉のたれの会社でも、ファーストフードの会社でも、私の家の側の駄菓子屋ですら Something New、何時でも新しいことを考えなければ行きぬけません。

開発とは？ Something New（図2）

前章第一のルールで申し上げましたが、開発とはSomething Newです。アイデアとそれを生かす行動力です。世界最高のパソコンを生んだ企業でも、私の家の側の駄菓子屋も同じです。常に新しいアイデアを考えてそれを実行に移します。

失敗を恐れては冒険はできません。

もちろんできないことは言わない。自分の経験から始めようというのはこれも前章の第四のルールですよね。

再度5つのルールに照らし合わせてチェックして見て下さい。

- ・あなたの企業は新しいことに挑戦していますか？
- ・それはより良いというアイデアですか？それとの無くてはならない？
- ・開発はコストがかかりますよ、回収はできそうですか？
- ・あなたの経験から出発していますか？無謀な計画ではないですね？
- ・考えていますか、考えて考えて…

これだけやればあなたの企業も大丈夫です。

こんな会社もあります（図3）

よくご存知の検索で有名な企業です。地球温暖化対策で低炭素排出企業を目指して、会社を水力発電所の側に建てました。水力ですから低炭素発電です。側に立てたので送電ロスがありません。使用しているサーバはもちろん低消費電力。おまけに自社で太陽電池まだ作って屋根に取り付けています。ここまでやればいうことありません。これもアイデアです。

図1 あなたの会社は？



図2 5つのルールに則って

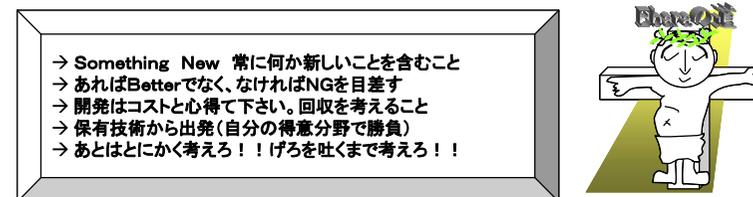
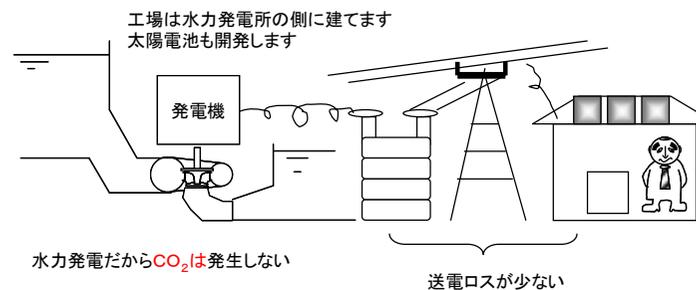


図3 こんな会社が



TKO テクニカルノックアウト？

TKOの役割(Technical Knowledge Officer)が重要 (図1)

あなたが世界のトップになりたい。

あなたの会社は開発型企業を目指している(もしくは既に開発型)

そんな会社には必ず開発の水先案内人がいます。

それがTKOです。

テクニカルノックアウトではありませんよ。(たまにはノックアウトされますが)

会社によって呼び方はそれぞれですが、開発リーダーのことです。

開発リーダーは開発の3ヶ条を守らなければなりません。3ヶ条とは

- (1)性能(Performance)
- (2)時期(Punctual)
- (3)価格(Price)

の3Pです。

性能が悪くてはしようも無いですよ。

でも時期を逸しては何にもなりません。

しかも法外に高かったら誰も買いませんよ。

これらに全ての責任を負うのがTKOです。

それでは事例で見てみましょう。(図2)

前にも書いた当社の例を見てみます。当社は技術開発と市場開発を同時に始めました。当社はもともと回転機械の会社です。真空には縁がありませんでしたが、真空ポンプなら何とかなる。ということで半導体産業用真空ポンプの開発から始めました。

その後、真空技術で半導体以外の分野へ進むか、半導体産業分野で真空以外の技術に進むか迷いました。どちらでも良かったのですが、既に半導体業界から装置開発依頼が殺到していたのでまずは非真空の道を選びました。

この判断もTKOの仕事です。

組織で仕事を

TKOのことは書きましたが、実際の開発業務は部下がやります。組織でやります。TKOが勝手なことをやりだしたらどうなるのでしょうか？TKOは自らの過ちもチェックできるような組織にしておくべきでしょう。

図1 TKOの役割



図2 保有技術から出発

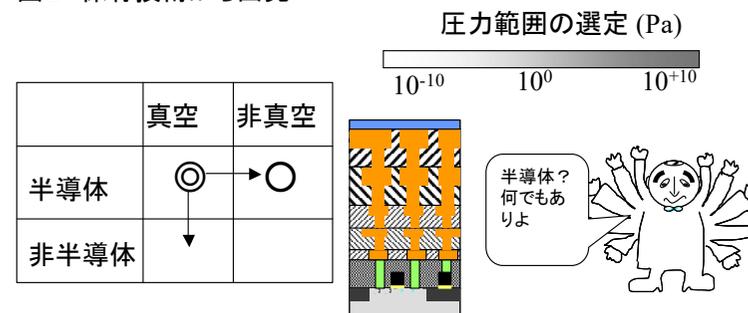
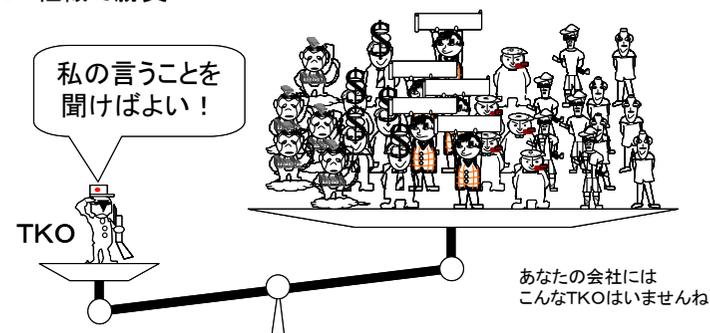


図3 組織で勝負！



秘書久美子さんの場合

私はどんな会社でも、またどんな職場でも開発型で無ければ生きられないと言いました。会社生活を楽しくするために実例を紹介しましょう。

よ〜く観察して下さい（図1）

秘書さんの嘆きから

うちの社長は仕事は早いけど、整理はへたです。毎日毎日「ねえ、あれはどこ、これはどっち？」の連続です。おかげで私の仕事の大半は資料探しで追われています。

問題点がわかれば解決法を

でもこの秘書さんはいろいろ考えました。

先日論文を整理していたときです。論文には「キーワード」が必ずついています。それは後から検索するために重要なんだそうです。

これだ！

閃きました。

以降、社長には「これ、しまして下さい」と言われたら、必ず「この資料は何の資料ですか？ 5つのキーワードを書いて下さい」とお願いすることにしました。

その時は大変ですが、今ではかなりの資料がたまってきました。

5つのルールに則って

さあ、それでは5つのルールに則って、秘書さんのやったことを検証してみましょう。

・Something New: キーワード整理は論文では常識ですが、書類整理には未採用

・あればBetterでなく、なければNGを目差す: 残念ながらBetter程度ですね。

・開発はコストと心得て下さい。回収を考えること: 回収しますよ。社長の時間も私の時間も高価ですからね。

・保有技術から出発(自分の得意分野で勝負): 私は秘書の勉強をしませんでした。できれば今からでも勉強をしたいと思えます。そうすればもっと効率的になっていたかも知れません。(と反省していました)

・あとととにかく考えろ!! げろを吐くまで考えろ!! : そこまではね〜

図1 先ずはよく観て・考えることから始めましょう

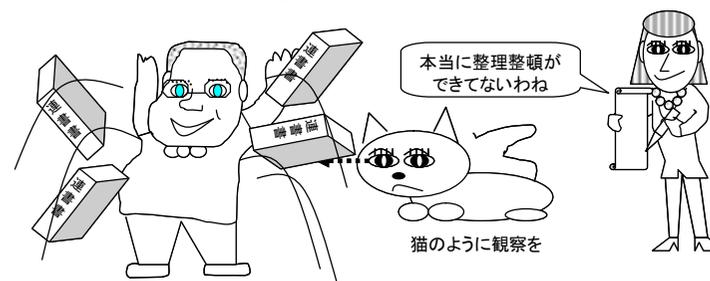


図2 5つのルールに則って

Something New 常に何か新しいことを含むこと



キーワードを5つ: 経営会議・リスク・O×さん・△口機場・未解決

あればBetterでなく、無ければNG

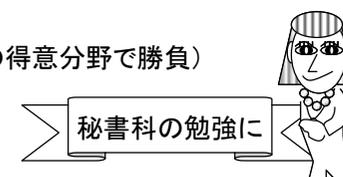
残念ながらそこまでは...

開発はコストと心得て下さい。回収を考えること

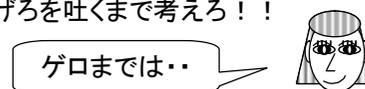


社長の無駄時間 + 私の無駄時間 の節約

保有技術から出発(自分の得意分野で勝負)



あとととにかく考えろ!! げろを吐くまで考えろ!!



人事課新入社員山田君の場合

人事課新入社員の山田君。辻村先生の研修を受けて悩んでいます。(図1)
先生はどんな職場でも開発型だと言ったけど、私にもできることはあるのかなあ？

新しい目で廻りを見直しましょう (図2)

どんな職場でも10年も続けているとマンネリです。当たり前と思ってやっていて、実はおかしなことがたくさんあるはず。当たり前と思っていることをおかしいと考え付くのは本当に難しいものです。空気を感じると言っていることなのですから？

でも新入社員は別です。空気のあるところから水の中にとびこんだくらいのカルチャーショックがあるはず。でも水の中で泳いでいるうちに、水の存在をいつか忘れてしまいます。今がチャンス、山田君。

インターンシップで (図3)

当社は毎年インターンシップを実施しています。大変な人手をかけて、お金もかかります。でも、この学生ってこの事業部に何の関係もないのでは？

と山田君、疑問に思いました。

「課長、今年のこの○×大学の学生さんたちですが、△▼事業部と全く業務上関係ないようにおものですが。実際、学生さんもそう言っています」(山田)

「な～に言ってんだよ！ 昨年もやっただろ。ぐずぐず言う前に早く手配しろよ」(課長)
とこんな課長さんはいないと思いますが、山田君、一騎に凹んでしまいました。

「山田君、今聞いていたけど、良い点に気がついたね。インターンシップというのはもともと企業と学生のマッチングをベストにするために考え出されたものだよ。君の意見が正しい。学生の見直しからやり直そう」と部長さんが取り上げてくれました。

インターンシップを終えて

3ヶ月のインターンシップを終えました。

学生さんからの手紙です

「私の研究しているテーマと御社の業務がしっかりマッチングしていることがわかりました。来年までにもう少しがんばりますので、またご指導下さい」

事業部の部長さんからです。

「こんどの学生の○○君だけ、気合が入っていたね。来年当社に入ってくれればね」

山田君「辻村先生の言う5つのルールで考えるほどには行かなかったけど、常に新しい目で、新しいアイデアを考える必要性は理解できました。

図1 人事でもSomething Newですよ



図2 新しい目で見てみれば

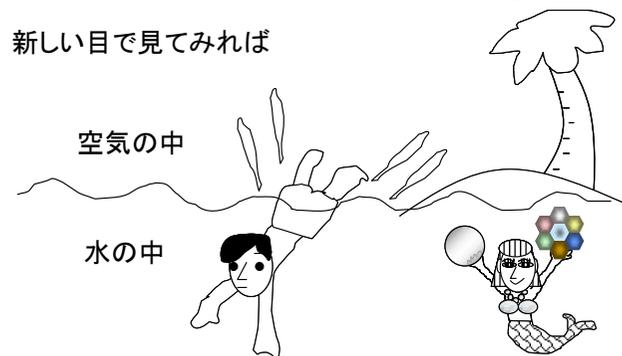
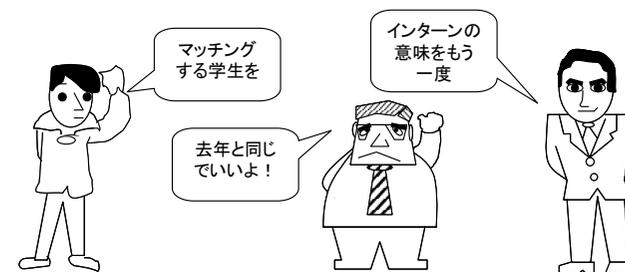


図3 インターンシップって一体



会社は誰のもの？

会社は誰のもの？（図1）

という古くて新しい疑問から入りましょう。

従来私は、会社は‘社員（従業員のこと）’のものだと思っていました。だからこそ、私と一緒に苦労した仲間のために頑張ろうという気がおき、これが日本の会社の愛社精神の源です。ところが、2006年5月1日施行の会社法¹²⁾を読んで、腰を抜かさなばかりにびっくりしました。

会社は完全に株主のものです。（この当たり前？のことを今初めて実感しました）。会社法では株主を社員と書いています（社団法人の構成員という意味ですが）。そして、私たちは従業員としての社員です。出資者としての株主（社員）とそこで働く従業員（社員）を比べて、さあ、会社は誰のもの？当然出資者のものです。

そこで、いくら愛社精神を発揮して、会社のためにと身を粉にしても、1夜にして株主は全く知らない人に代わり、社長が交代、そして従業員はリストラ（ここでは首切りの意味）ということも確実に有得る世の中になりました。当社従業員の溢れる愛社精神に水を差すわけではありませんが、実態を掴んで会社のため＝自分のため＝周りの仲間のため、新しい会社概念のもと新たな気持ちで頑張ってもらいたいと思います。そこで、開発型企業でも会社とは何かを知る必要があります。まずは会社法を簡単に勉強しましょう。

会社法と金融商品取引法で見る会社

まずは会社法と金融商品取引法で何が大きく変わったかを見ておきましょう。

2006年5月1日施行の会社法では、大会社の取締役会に対して「内部統制」を義務付け、2006年6月施行の金融商品取引法では上場会社に対して、2008年4月以降の事業年度から内部統制報告書が求められました。ここでは、会社法と金融商品取引法の基本だけ理解しておきましょう。詳細は専門書を読んで下さい。

1 会社とは①金融機関からの借金（負債）と②株式（資本）で‘お金’を調達して、このお金＝③資産（①＋②）を運用して利益を出すものです。

2 従来この②の株主はあまりそのリターンを求めることは意見を言わなかったのですが、近年この株主そのものが変わってきました。株主は当然、銀行に預けるよりも大きなリターン（配当）を求めます。

3 株主はどの会社にお金を投資するかを判断する基準が必要です。銀行なら「利率」が補償されていますが、会社は配当を補償していません。

ここで質問：貴方は金融商品を買う際に、利率が低くても元本保証商品を買うか、それとも元本は割れても良いから利率の高いものを買うか？どちらです？もし後者なら

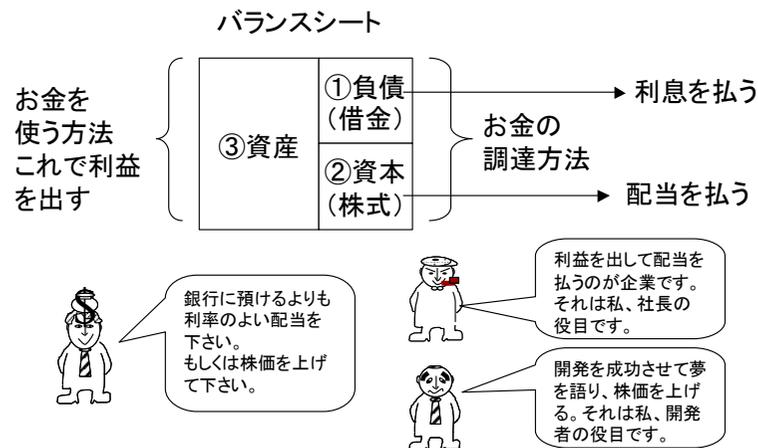
その金融商品がどれほど確かなのかを証券会社に聞き正したり、自分で調べるでしょう？

会社の株とはそういう‘リスクの高い’金融商品です。

図1 会社は誰のもの？



図2 会社も金融商品です



特許も法律です

法律家っぽく (図1)

開発者といえども財務の知識が必要だと前に述べました。次は法律です。エンジニアと言えども法律を知らずに開発もできない時代です¹³⁾。エンジニアとしての常識(アクセサリ)として理解しておく必要のあることだけ‘法律家っぽく’話せるようにしておきましょう。もちろん‘生兵法は怪我の基’には注意。

以下

- ・アイデアを守るための知的財産法
- ・安心して働くための労働安全衛生法
- ・事故は起こるものとして知っておくべき製造物責任法
- ・そして環境です。環境に関連する法律はたくさんあります。

これらのポイントを紹介しておきます。詳細は専門書を見て下さい。

繰り返しますが、法律家になるわけではありません。あくまでも法律家っぽく。

アイデアを守ろう: 知的財産法 (図2)

知的財産法には特許法・実用新案法・意匠法・商標法があります。特殊なものでは「半導体集積回路の回路配置に関する法律」とか「半導体集積回路の回路配置利用権」というものまであります。

特許の書き方に関しては別の章でありますが、開発者であれば一度は他人の特許を見たり、自分の特許を書いたことはあるでしょうか？

注意すべき最初の点は先願主義と先発明主義の違いでしょう。日本は先願主義と言って‘先に出したものの勝ち’であり、同じようなテーマを開発していれば一日でも先に出願した人に権利があります。米国では先発明主義と言って‘先に発明したものの勝ち’であり、後からでも証拠があれば先に発明した人に権利があります。でもこれって本当に難しい問題が内在していますが、ここでは割愛します。

特にエンジニアが注意すべきことは、特許出願前に学会や論文などで公表しないようにすることです。が、万が一発表してしまっていたら？条件付きの救済措置特許法30条があることも覚えておきましょう。6ヶ月は救われる可能性があります。

ということで、エンジニア+知的財産スタッフ+弁理士の3者が一致協力して強い特許を取るべく精進しましょう。(図3)

図1 開発者は財務も法律も知らないと

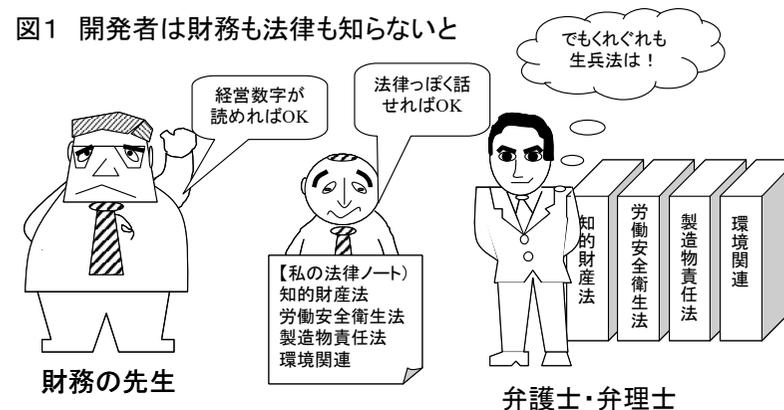
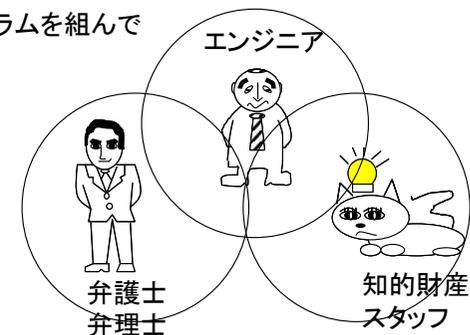


図2 特許は出し方が



図3 しっかりスクラムを組んで



事故は必ず起きるもの

製造物責任法（図1）

製造物責任法は Product Liability 通常 PL 法と言われ、1995年7月1日に施行されました。PL法ができたとき日本では米国と同じようにPL訴訟が激増するのかと恐れられましたが、実際にはそんなことはありませんでした。恐れおののくよりも、エンジニアは先ずはしっかりとした製品を作り、事故が残念ながら発生してしまったときには真摯に対応することです。

ユーザから事故発生の連絡を受けたら、先ずは一番近くにいる担当（通常は担当営業）がすぐに現地に飛ぶことです。それと共にリスクマネージメントで決めている緊急ルートに則り連絡を遅滞無く行うこと。

それから原因調査です。事故の原因の90%は設計にあるというのが品質工学の基本です。設計者は奢らず、素直な気持ちで対応しましょう。

応急対策を終えたら恒久対策です。品質管理部門を中心に品質工学に則りFTA (Fault Tree Analysis) などを含めた対策を実施しましょう。

そして法務部門ではその製品の規制は、法律はどうなっているのかを調査し対策チームに助言を与えます。勘違いしないで下さい。決して訴訟を逃れようという姑息な助言ではありません。規制や法律の枠を正確に知って、対策をきちんとする目的です。

そして、最初から最後まで、開発なら開発リーダーが、事業なら事業部長が、更に言えば会社の社長までが「責任は全て私が負う」という意思表示が重要です。

空飛ぶターボ（図2）

事故例を紹介しましょう。

当社が1985年にターボ分子ポンプを開発し、販売を始めた頃です。お客様のあちこちでターボ分子が破壊しました。ターボ分子ポンプは5万回転で羽根が廻っています。事故と言っても大変です。「ご〜！」という怪音とともにポンプが装置を捻じ曲げてすっ飛びます。近くに人がいれば人身事故の可能性もあります。

営業・開発者ともにすぐに現地に飛び、代替品を入れて事故品を回収します。するとまた代替品が壊れます。もちろん品質工学に従ってあらゆることを試みました。それでも正解に到達しないことがあります。これが開発の実状です。これが半年も続いた頃、お客様担当も開発エンジニアも疲れきってしまいました。とうとう当社の開発エンジニアから「あきらめさせて下さい。全ての製品を引き取り弁償に入りたい」

苦渋の決断でした。当時の事業責任者は何も言わず一緒に謝りにいってくれました。悔しい気持ちよりも、お客様に迷惑をかけたことが何よりの心残りです。

その時のお客様の言葉は一生忘れません。

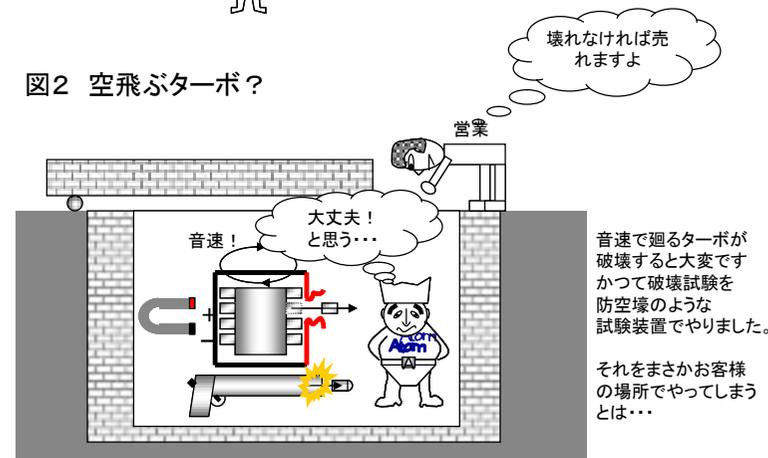
「辻村さん、ここで投げ出すのは簡単です。でも半導体製造開発はユーザとメーカーの共同作業。迷惑などと遠慮する前に、そして謝りに来る暇があったら改善を進めて下さい」

この言葉のおかげで今も半導体の開発を進めることができています。

図1 製造物責任



図2 空飛ぶターボ？



— 会社のことも知りましたよ —

安心安全を子々孫々まで

安心して働ける:労働安全衛生法 (図1)

労働安全衛生法は、労働災害の防止・安全と健康確保のための法律です。そしてその管理者を置くことを義務付けています。監督義務もあり、これに違反した場合の損害賠償額は年々高額化しています。事故は無い方が良いに決まっていますが、必ず起こるものとしてシステムは作られます。

- ・ 無理な労働を強いていないか
- ・ 安全はどのように確保され、確認されているか
- ・ 事故が発生したらその事後処置はどうしているか

などなどを、一度見ておきましょう。

子孫のために:環境と法律 (図2)

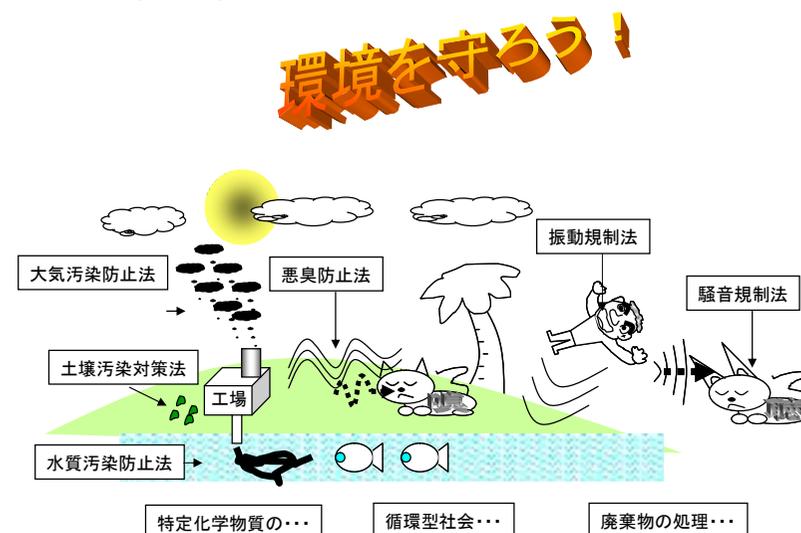
環境に関する法律は先ずは環境基本法を頂点とした体系になっています。そして第21条で以下の規制措置が取られていますので、その名前だけでも一度は知っておいたほうが良いでしょう。詳細は専門書を見て下さい。

- 1 大気汚染防止法 1968年制定。
- 2 水質汚濁防止法 1970年に制定。
- 3 土壌汚染対策法 2002年に制定。
- 4 悪臭防止法 1971年に制定。
- 5 騒音規制法 1968年に制定。
- 7 特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律
- 8 循環型社会形成推進基本法 2000年に制定。
- 9 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

図1 安全に働くために



図2 環境が命



エレベータトーク

私は会社で‘15秒ルール’というものを適用しています。

報告は15秒で、という意味です。

昨日までは〇〇〇をしました(5秒)

本日は□□□をします(5秒)

明日からは△△△をします(5秒)

で十分な報告ができます。

15秒というのは結構長いんです。

ために、時計を見ながら15秒黙って試みて下さい

「……………」(15秒)

どうです、長いでしょう。

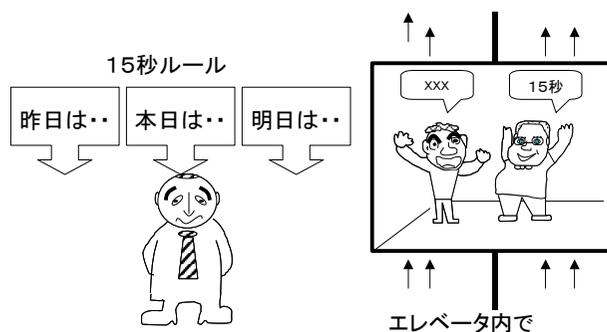
因みにテレビのコマーシャルは長くても13秒半しかないらしいです。

それより長いと飽きてきて、逆効果らしいです。

これを20年続けてきたのですが、先日海外で

「辻村さん、それはエレベータトークと同じですね。米国では社長や上司と会って、エレベータ内で気の利いた報告をできないと昇進できないんです」

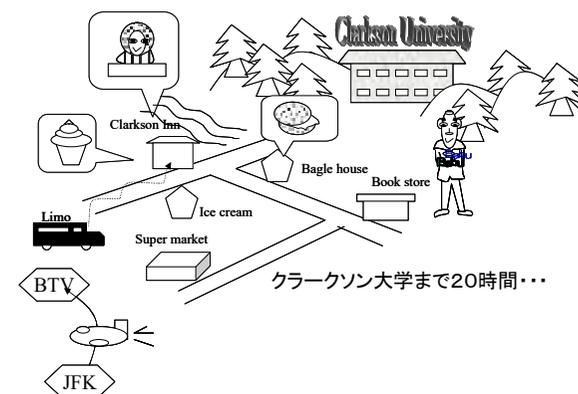
どこの国でも同じことらしいです。



第 IV 編

開発は教育から

R&D would be born through education.



先生、学位ってどうすれば？

学位でも取って来い！（図1）

2000年のある午後のこと。上司から呼ばれました。この忙しいのに、と思いながらも急いで駆けつけました。

「辻村君、一部上場会社の開発部長の君が学位を持っていないのはおかしい。君なら簡単に取れるだろ。行って取って来なさい」(上司)

内心、えっ！とは思いましたが、普段から強気の私です。

「はい、わかりました。簡単ですよ。あつはっは」(辻村)

今から考えれば、何と愚かな、そして学問を馬鹿にした発言でしょうか。もちろんその報いは直ぐにやってきました。

髪は薄くなり、歯は抜け落ち・・・（図2）

ちょうどその時にあるテレビ番組で見ました。学位を取ろうと海外から日本にやってきた学生の話です。ある学生はアルバイトをしながら頑張りましたが、とうとう学位を取得できずに帰国しました。またある学生は10年経っても取得できません。髪は薄くなり、歯は抜け落ち、もう身も心もぼろぼろです。

それを見ていて段々不安になってきました。私とテレビの中の学生が重なります。このドキュメンタリーでは、最後に素晴らしい指導教授が出てきてハッピーエンドでした。

そうだ、私にも素晴らしい先輩がいる。と思い出し、直ぐに出身母校の先生をお訪ねしました。

方法は二通り（図3）

先生は相変わらず優しく、私にもわかりやすく説明をして下さいました。

先ず学位というものは個人に与えられる最高の称号であること。

先生はそれを大変誇りの思っておられること。

もし、将来学位を取得できたら、その誇りを汚さず精進すること。

それさえ守れるなら指導しようと言って下さいました。

方法は二通りです。論文博士と社会人博士課程で取得する方法です。

論文博士とは文字通り、いきなり学位論文を書いて承認を得る方法ですし、社会人博士課程は、社会人が博士課程に入学して学生と同じように学位を取得する方法です。

私は迷わず社会人博士課程に入学を希望しました。

図1 学位を取って来い

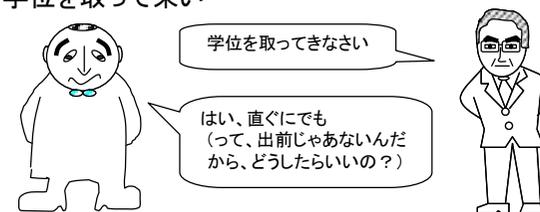
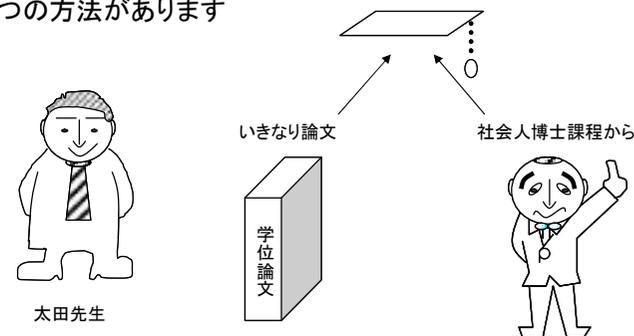


図2 髪は薄く、歯は抜け落ち・・・



図3 2つの方法があります



開発と学位の求める道は同じ

おもしろいだけだねえ (図1)

まず先生に私が過去20年余の間に出した刊行物及び特許の全てをお持ちしました。100以上ある刊行物と100以上の特許全てを先生に見てもらいました。先生は、「辻村君の書いたものは確かに面白い。面白いが論文にはならない」と一言です。私はがっかりです。

「でも、特許が多いのにはびっくりしました。しかもデータがしっかりしている。一流企業の特許というものはこういうものかとびっくりしました。これを全て論文にしましょう」ここに、私の特許と論文に対する信念が生まれました。

しっかりとした特許を書けば、論文は書ける。
特許は会社のため、論文は社会のため、です。

ストーリー作りが大事 (図2)

次に論文のストーリー作りです。

ドラマでも根幹を成す骨の部分重要です。

先生はストーリーの作り方は教えて下さいましたが、内容には一切タッチしませんでした。

これも愛情です。

辻村が作る、辻村らしい論文を作るんだ、という気構えが重要と教えて下さいました。それこそ、過去20年の歴史を思い出し、やってみたいこと、書いてみたいこと、いろいろ書き出し、20種類以上の骨組みを考えました。結果、出来上がったものが図2です。

【開発の背景】 何故このテーマが必要か(市場調査が役立ちました)

【開発のポイント】 新規性と有効性を訴えました(特許の基本が役立ちました)

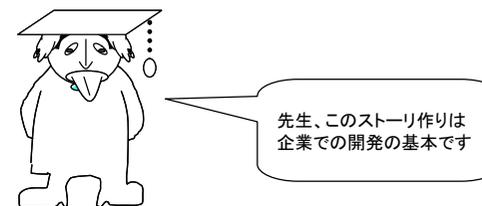
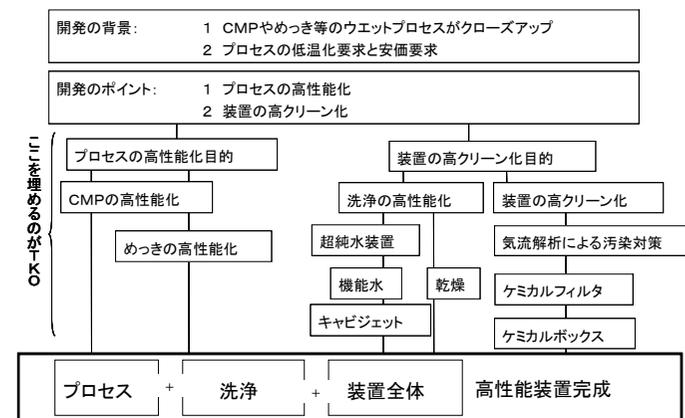
【結論への道筋】 正に開発プロジェクトそのものです。必要な技術及びその開発が結論へと導きます。学位論文では、これら全て個別論文として仕上げることにしました。

【結論】 到達点を示しました。学位論文のテーマであり、開発プロジェクトのテーマでもあります。

図1 面白いだけだねえ



図2 ストーリー作りが大事 学位論文より



艱難辛苦努力の末に

あなたも学位が取得できます (図1)

骨組みは先生にも了承されました。
そうすると不思議です。心に余裕が出てきました。
余裕が出てくると、欲も出てきました。
私はもうすぐ50歳。(学位を取得するころには50歳になるのは間違いなし)
そして、私が学位を取得できた暁には、後輩にも同じ道を歩んで欲しい。
本当にそう考えました。
私にも取得できたのだから(その時はまだ始めてもいません。気が早い)誰にでも取れるはず。私が良き道筋になろうと決意しました。
「あなたも学位が取れる」という推薦書も書きました。
論文も一箇所に提出する方が楽なのですが、私はあらゆる学会に所属して、それらの学会全部に論文を出しました。
日本機械学会(キャビテーション洗浄や半導体多層の構造力学などについて)
精密工学会(CMPの応用で、ナノボグラフィやロールオフについて)
砥粒加工学会(CMPのプロセス解析について)
エレクトロニクス実装学会(キャップめっきなどのめっき技術について)
MRS(Material Research Society)(ウェットプロセスなどについて)
ADMETA(多層学会)(多層技術について)
CAMP(CMP国際学会)(もちろんCMPプロセスについて)
などなどです。これらの学会全てに論文のテンプレートがあります。私は論文のテンプレートと共に、どのように提出してどのように審査されるのかも注意事項としてまとめて残しました。おかげで今では私のテンプレートに沿って寄稿する後輩も少なくありません。

学位記が…(図2)

そしてついに2002年、学位記が授与される日が来ました。20代の学生に混じっての卒業式です。80歳の母にも来てもらいました。この時ばかりは本当に涙が出てきました。それまでの苦労が一気に走馬灯のように…
先生、ありがとうございました。学位に恥じない一生を送ることを誓います。
この本を読んで、私もと思われた方がおられれば望外の幸せです。そして、あなたも幸せになれること請け合います。

図1 あなたも学位が取れます

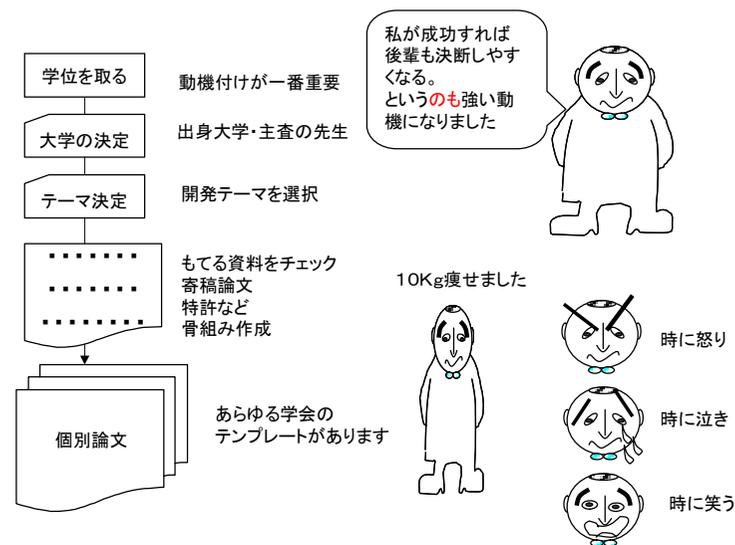
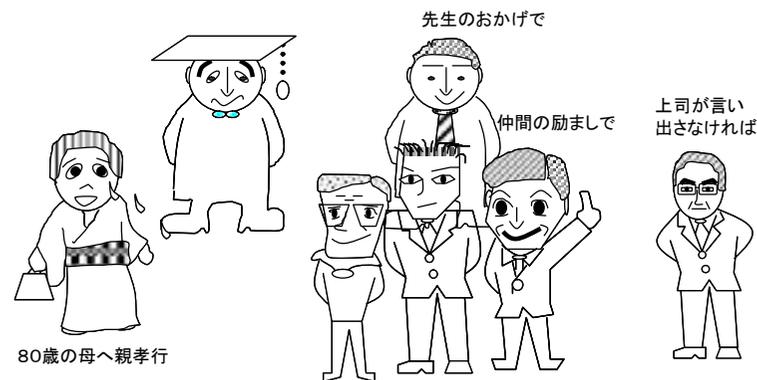


図2 上げば尊し、わが師の恩



クラークソン大学で(米国) 理論と実践の融合

海外の客員教授も経験しよう (図1)

学位を取得するといろいろ人生が変わります。私の経験からいくつか紹介しましょう。そのうちの一つは海外で客員教授をやってみませんか？ という提案です。海外でと言った理由は、海外の大学では企業の受け入れを重視しているからです。大学の教授ではどう転んでもできないことを我々はやっています。また我々ではどうしても追いつけない理論付けは大学が得意です。この実践+理論の融合は企業と大学の協力あってのことです。先ずはあなたの客員教授としての役目はここにあるものと思って下さい。

最近では日本の大学でも企業からの客員教授(講師も)を受け入れる風潮が出てきていますので、特に海外に拘る必要はありませんが、当時は海外からのお誘いの方が早かった気がします。そのクラークソン大学との出会いは？

Babu教授との出会い (図2)

クラークソン大学のBabu教授(前副学長)とは、実は2002年に学位を取得する前からの知り合いです。1998年と1999年の2年間、MRS学会でCMP部門のCo-Chairと一緒にやりました。クラークソン大学は100年の歴史を持つ大学で、もともとは微粒子の研究では有名ですし、Babu教授は既にCMP分野では第一人者として有名でした。私も100年の歴史を持つ企業の社員で、CMPのエンジニア分野では第一人者を標榜していましたので、会って直ぐに意気投合です。

先生からは学位を取ったら直ぐにクラークソン大学に客員教授として来て欲しいと言われていました。2002年、学位を取ると直ぐに先生に連絡。その年から今日までクラークソン大学の客員教授を続けています。

これには少し裏話を。私は企業の人間です。勝手なことはできません。直ぐに上司に相談しました。幸い、クラークソン大学はCMPエンジニアを数多く輩出していました。同大学出身のCMPエンジニアがIBM、Intel、Micronなどなど私の顧客筋に沢山いました。調子の良い話で恐縮ですが、仕事にも役立つという理由で、夏休み(盆休み)を利用してなら出かけて宜しいというお墨付きを戴きました。

さあ、これであなたも客員教授です。
社会貢献の場が用意されました。がんばりましょう。

図1 企業の実践と大学の理論の融合

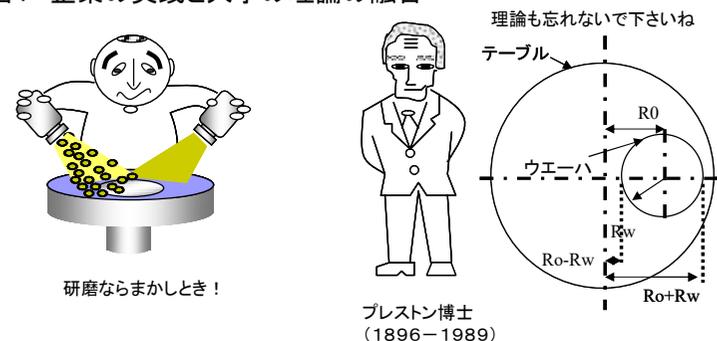
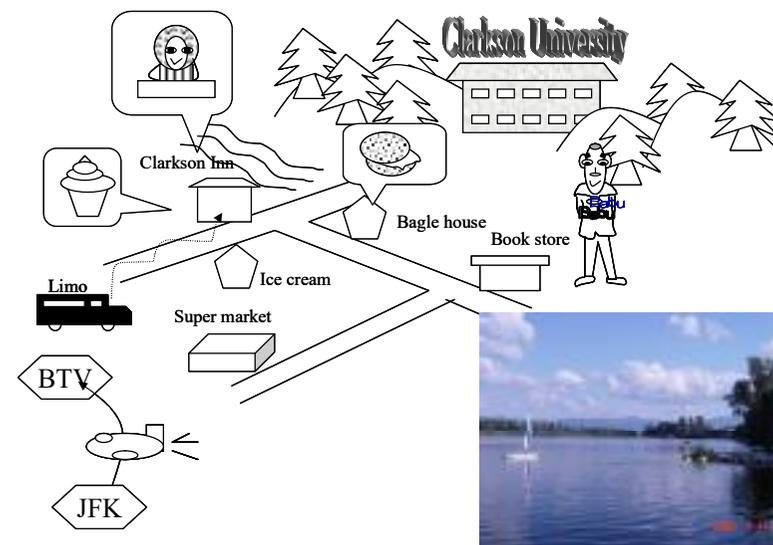


図2 クラークソン大学に クラークソン大学まで20時間...



クラークソン大学で(米国) アルマナイ?

学生からの質問に (図1)

2002年初めての授業です。今まで学会発表の経験は何度もありましたが、学生に教えるのは初めてです。しかも外国(英語)で! 学会の発表はせいぜい30分くらい、講義は1コマ90分で、しかも半日続きます。

学位論文を書き終え、ほっと一息する暇もなく講義の準備に入りました。先ずは10講座分作成しました。これが実は私が最初に出版した「半導体ウェットプロセス最前線」の英語版「Wet Revolution」の基礎になりました。

海外の学生はかなりアグレッシブです。どんなことにも質問をしてくる。最初の講義は質問が半数以上あり、実は助かりました。それだけではありません。分かったような気になっていたことも質問されると化けの皮が剥がれます。聞かれては勉強、質問されてはまた勉強の連続でした。これら学生との交流は、私にとって本当に勉強になりました。

クラークソンアルマナイ(同窓生) (図2)

2008年、今年で既に7回目です。今までにいろいろな学生と付き合うことができました。クラークソン大学のCMP研究者はインドや中国の方が多く、我がアジア同胞です。ついつい親身になって就職のことも一緒に考えました。彼らの多くは米国に移住したいと考えており(中には母国に帰る人もいますが)、いわゆるグリーンカード(永住権)取得が必要でした。私は今まで何人もの学生に、グリーンカード取得に必要な推薦文を書きました。卒業のたび、グリーンカードが取れたという連絡をもらうたび、私には新しい子供ができたような嬉しい幸せな気持ちになりました。これが私のクラークソンアルマナイです。

CAMP国際学会で (図3)

最後にクラークソン大学主催のCMP国際学会であるCAMP¹⁴⁾を紹介しておきましょう。Lake Placid(過去2回、冬季オリンピック開催地)で8月に3日間開催されます。今年2008年が13回目です。ご興味のある方は私に連絡下さい。夏のLake Placidで世界のCMPエンジニアと議論を戦わしませんか?

図1 質問攻めの毎日

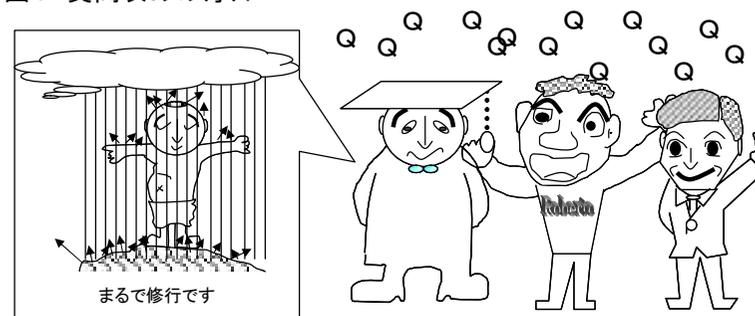


図2 クラークソン卒業生

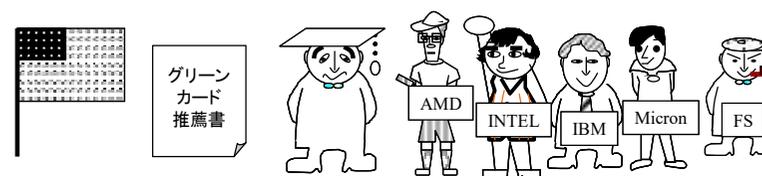
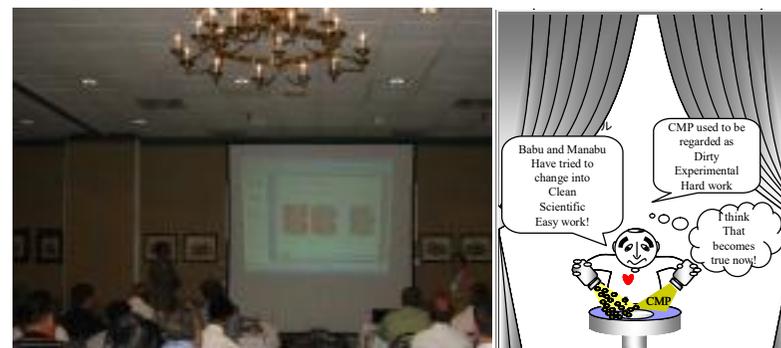


図3 CAMP国際学会
CAMP風景



首都大学東京で(日本国)

首都大学東京で

2002年から米国クラークソン大学で客員教授を引き受けていたことは、恩師である首都大学東京の太田教授もご存知でした。それならと、首都大学でも客員教授を勤めさせて戴くことになりました。2004年、めでたく客員教授就任です。これに関しても会社の上司は理解を示してくれました。(裏話では就職の宣伝にもなるかな、ということだったのかも)

3大嘶式講義の完成 (図1)

クラークソン大学での最初の1~2年は英語の教科書も無いし、毎日の講義資料を作るだけでも大変でしたが、3年目くらいからは通常講義は無くなり、特別講演ということになりました。大学で特別講演を年1回やって、CAMPで発表を1~2回実施すれば良いということになってので、かなり時間的には楽になっていました。

2004年、首都大学東京での客員講義はこのクラークソン大学で使用していた英語版を日本語版に逆輸入したのを使いました。

2004年と2005年の客員講義は私にとって地獄でした。3日間、10:00から17:00までぶつづけの講義でした。根がまじめな私は、休むことなくぶつづけ話続けました。当時、この講義が終わると熱を出して寝込むほどでした。2006年からは少し大人のずるさが出てきました。この時考え出したのが私の3題嘶式講義です。

先ず一人の学生に質問してもらいます。質問の内容はたいいてい明確ではありません。そこで、隣の方にその質問を繰り返してもらいます。そうすると質問の意図がはっきりしてきます。さらに、その隣の人には答えてもらいます。

この質問、確認、答の3題嘶方法が確立して、私も楽になりましたが、学生にも大変勉強になる方法です。質問を考えながら聞くのは本当に勉強になります。是非、お試し下さい。

本ができちゃった (図2)

この客員講義のおかげです。前回出版の「半導体ウェットプロセス最前線」ですが、この講義録をまとめて出来上がりです。特に学生諸君に質問を戴いたところは念入りに仕上げたおかげで、ずいぶんとわかりやすいと評判を取れました。さらに、もともと英文版がありましたので、海外でもほぼ同時に「Wet Revolution」というタイトルで出版できました。学生諸君、ありがとう。

図1 質問・確認そして答える3題嘶



図2 本を出版



漢陽大学で(韓国)

Park教授との出会い

クラークソン大学で客員教授を始めて直ぐに、韓国漢陽大学のPark教授からお誘いのメールが入りました。漢陽大学は韓国でエンジニアを数多く輩出している名門大学です。Park教授とも1998年のMRS以来の友人です。お誘いは有難かったのですが、直ぐには受諾できませんでした。既にクラークソン大学、首都大学東京の客員教授を引き受けてしまっています。この上、韓国とも？と二の足を踏んでしまいました。

初めての海外インターンシップ開催 (図1)

2005年のことです。Park教授から面白い提案がありました。漢陽大学で海外インターンシップ学生を出す計画があるとのこと。そして、日本は当社が候補に上がっているとのことでした。当社はもともと社会貢献に熱心な企業です。これまでも国内インターンシップは数多く手がけてきました。でも海外は初めてです。

この初めての経験ということに燃えました。直ぐに上司の相談すると即OKです。

こうして、初めての海外、韓国からの学生を受け入れるインターンシップが始まりました。初めての2005年は何もインフラが無いので、皆大変でした。学生も大変だったと思います。

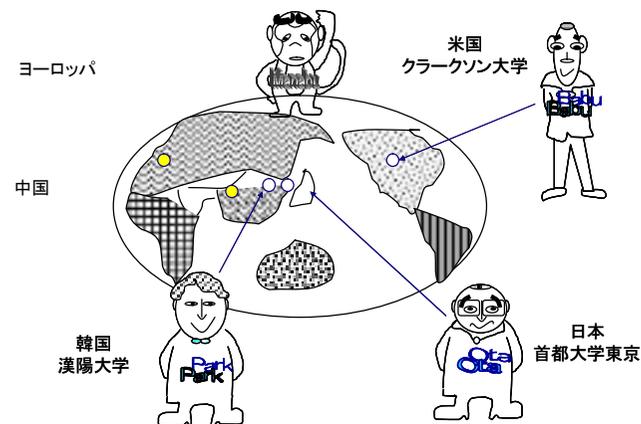
5カ国で、そして学生オリンピック (図2)

何時の間にか私の中である夢が育っていました。本書の「はじめに」にも書きましたが、私の夢は5カ国で客員教授をこなし、めでたく当社を定年退職したら、私の(少ないながら)退職金でファンドを設立し、年に1回学生を日本に呼び「Wet Revolution(革命)のEvolution(進化)」と題した大会を開催することです。皆様、その節には是非ご協力願います。

図1 インターンシップ風景



図2 世界5カ国で



世界の言葉で

外国語はアクセサリ

前ページでは5カ国で客員教授をやりたいと述べました。そのためには5カ国語を話す必要があります。これまでに、日本語(これが一番怪しいのですが)、英語、韓国語、インドネシア語、ドイツ語、イタリア語を勉強しました。現在、中国語を勉強中です。何とかこれで5カ国いければと思います。

参考に私の外国語の実力をお見せしましょう(笑)。

インドネシア語 (図1)

1974年から1984年まで私は水力発電の仕事をしていましたが、その大半はインドネシアでした。インドネシアと言ってもかなりの山奥で、英語など通じません。必死の思いで覚えたインドネシア語です。これを当時本にまとめました。この本を2時間読むと大概のことは話せるという優れたものです。正にインドネシアにおける私のエピソードをつづったインドネシア語会話の本です。

‘あばかば〜る(お元気ですか)’と‘てりまかし(ありがとう)’だけでも覚えて下さい。

韓国語 (図2)

半導体業界にいますと韓国とは付き合いが多くなります。自然、韓国語にも精通しやすくなります。しかも、当時流行だったドラマ‘冬のソナタ’のおかげで日本は未曾有の韓国ブームになりました。そこで考え付いた方法です。漢流ドラマが好きな方はだいたい原語でドラマを見て・聞いています。原語で聞いていますと、少なくとも韓国語の雰囲気だけは分かります。韓国語が苦手と言う方は実はあのハングル文字になじめなだけで。そこで、漢流ドラマ好きのあなたには「カタカナで覚える方法」を伝授しました。それが図2の本です。結構これも受けています。

中国語 (図3)

次は中国語です。中国語は4声といって、同じ言葉でもイントネーションによって意味が変わります。そこで、4声音頭と称して、踊りで覚えることにしました。成功したかって? ご想像にお任せします。

その他にイタリア語編などもあります。

(もういいよ! という怒声が聞こえてきましたので、次に行きたいと思います)

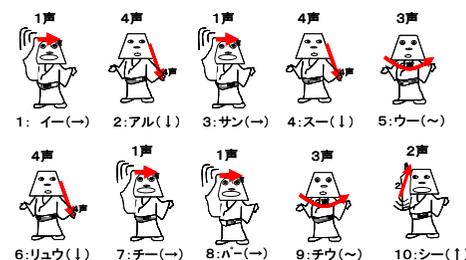
図1 インドネシア語



図2 韓国語



図3 中国語



ハイテクユニバーシティで 撃沈！

高校生諸君、こんにちは！

ここ数年学生の理科離れが問題になっています。2007年に半導体産業新聞が「技術人材クライシス」と題して、学生の理科離れから半導体業界の人材確保までを問題提起したことがありました。理由として①ゆとり教育の弊害②教員の低下③マスコミの報道姿勢④技術者への処遇を上げていました。

ところでこの傾向は先進諸国ではどこでも発生している問題だそうで、理工学部を目指す学生は米国で5%、ヨーロッパで12%、日本で20%、中国で40%だそうです。それなら、大学生を相手にしてはもう遅い。高校生諸君に理科系の面白さ、重要さを理解してもらわないと、と考えていたところです。素晴らしいチャンス戴きました。それがハイテクユニバーシティです。

2007年、SEMI(Semiconductor Equipment & Materials International)主催で高校生を対象としてハイテクユニバーシティが開催されました。第一回は熊本県、第二回は茨城県で開催しました。

見事に撃沈（図2）

それまで30年以上も企業で開発を担当し、新入社員も教育し、7年間で3つの大学で客員教授をしていた私でも高校生は勝手が違いました。

恐る恐る授業を始めました。

タイトルは「世界に羽ばたく半導体エンジニア」

- ・半導体とは何か
- ・開発とは何か
- ・そこで働く楽しさは

私は必死でした。でも高校生はストレートです。わからないものはわからない、とはつきり言います。

終わった後の私の気持ちはぐちゃぐちゃでした。

見事に撃沈！

本当に勉強になりました。

図1 理科系は損？

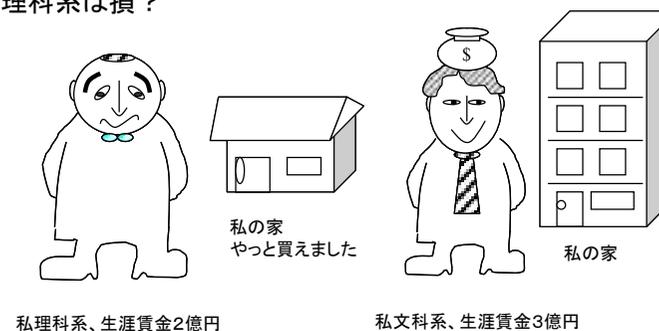


図2 世界に羽ばたくエンジニアを描くはずが・・・



ハイテクユニバーシティで JOY

良く見て・観て、行動（図1）

2年目も幸い講師に選ばれました。

今度はしくじらないように、と気張っていた時です。

高校の先生から教えて戴きました。

「辻村さん、高校生を子供と見ないで下さい。辻村さんの会社の社員だと思って、自由に指導して下さい。その方が高校生は喜びます」

目からうろこでした。よ～しと決めました。

まずは私と同じ目線になってもらうために、高校生諸君には一日社員になって戴きます。社員なら教育はお手の物というつもりでした。まずは「廻りを見る・観る観察眼」そして、「自分を見る・観る観察眼」を養ってもらい、そして「自分はどう行動するか(戦略)」という開発の基本から始めました。

判断することが大事（図2）

次に自分で判断する訓練です。図2に示した写真を見せて、自由に意見を述べてもらいました。何にも条件はつけません。

「真ん中の人はおじさんですか？」というショッキングな質問もありました。

「うさぎと亀とおじさんが競争しているんですね」という答に辿り着いたとたん、

「じゃあ、おじさんはうさぎを追い抜いたのか？それとも亀に抜かれたのか？」と質問を返します。そうするとこの写真だけではどちらにも取れますので、見方によっていろいろな意見が出てきます。

でも意見を述べる、判断をする、ということが大事だと教えました。

開発はJOY（図3）

そしていよいよ本番の開発の話です。

開発は楽しんで(Joy)、そして(J)常識(O)を(Y)やぶろう。ということでJOYとしました。あらゆる常識を常識として認識するところから始めて、ではその常識を破りましょう。というやりかたです。

さあ、いろいろな常識を高校生諸君と一緒に破って見ましょうか？

JOY！

これは本書の第II章の基礎となった講義です。ここからJOYは生まれました。

でも、過去2回の経験を経ても、未だ努力中です。高校生は怖い？！

図1 一日社員へのお誘い

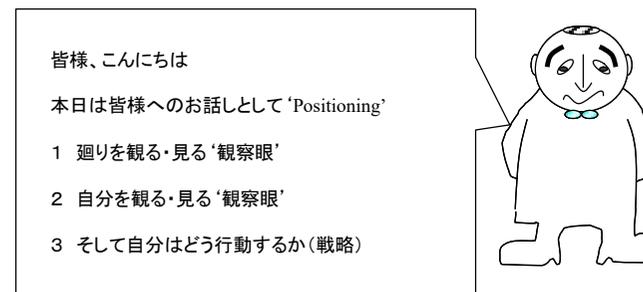


図2 次の絵を見て、何でも良いので説明して下さい



ボストン、ハーバード大学の側の公園にうさぎと亀がいました。私は直ぐに競争してしまいます。

どちらが勝つか！

図3 開発はJOY

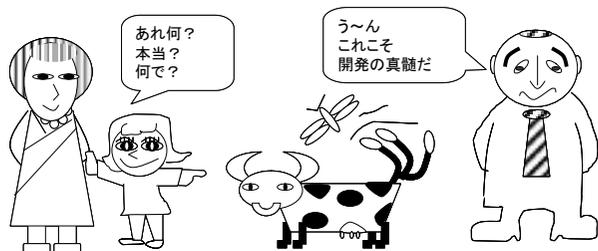


インドネシアのおばあちゃん

私がまだインドネシアで水力発電の仕事をしていた1970年代の話です。インドネシアはジャワ島のど真ん中、Garungという村に水力発電所を建設中でした。発電所は建設当初から開所式までに約2年かかります。私はその間いたりきたり。中部ジャワでは英語は(当時)通じませんでしたので、必死にインドネシア語を覚えました。いつもの通り、日本からGarungに向かう出張中、田舎のバスに乗っていました。すると小学生くらいの女の子が、おばあちゃんにしつこく、しつこく何かを聞いています。

「おばあちゃん、あれなあに？」(女の子)
「あれはね、牛」(おばあちゃん)
「なんでしつぽを振ってるの」(女の子)
「それはね、ハエを追い払ってるの」(おばあちゃん)
「なあぜ？」(女の子)
「それはね、タティ(女の子の名前)だってハエが顔の前にいたら嫌でしょ？」(おばあちゃん)
「う～ん、でもハエが逃げなかったら、どうするの？」(女の子)
と永遠に続く(かと思われる)質問に、淀みなく、かつ的確に答えているおばあちゃんに私は感心してしまいました。後年、開発に携わるようになってから、このインドネシアのおばあちゃんのことをいつも例に出します。

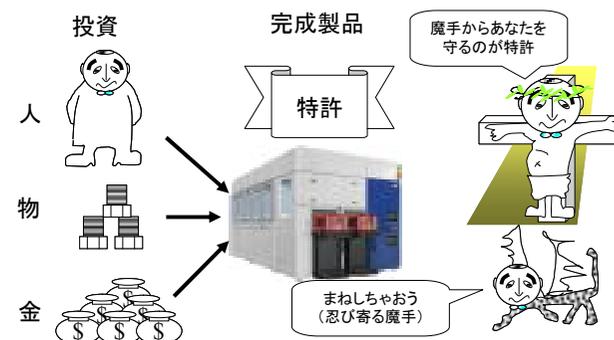
開発はSomething New(女の子のようにいつも新鮮な目で)そして(1)本当？(2)何故？(3)メカニズムは？としつこく追いかけて、追い詰めると真の姿が見えてくるような気がします。タティ、インドネシアのおばあちゃん、テリマカシ(ありがとう)



第 V 編

特許と論文の書き方教えます

How to write Papers and Patents



特許は会社のため、論文は社会のため

特許は会社のため？（図1）

開発型企業において、実際に開発を担当していれば当然ですが、特許は最重要命題です。特許はあなた（の会社）が投入した開発投資（人・物・金）を守ってくれます。特許はあなた（の会社）のために、あなた（の会社）の権利を守ってくれます。しっかりと特許のことを勉強して、しっかりと特許を書けるようにしましょう。

といっても、難しいことではありません。既に本書で習った開発の5つのルールを守って開発を進めていけば誰でもできることです。

論文は社会のため？（図2）

特許を書いたら、公開後には論文も書いて見ましょう。これは私の経験ですが、しっかりとアイデアに基づいて開発を進めた案件では、研究・開発データもしっかりしています。それをもとに論文を書くことは‘いとも簡単’に出来てしまいます。

論文を書くことにはいろいろな意味があります。

学位論文を取りたい？ それも良いでしょう。

上司に勧められた？ それも良いでしょう。

でも一番重要な目的は、その技術を社会に公表することによって、仲間を増やせることです。その技術にまつわる周辺技術も増えますし、その技術の根幹さえ揺るがすアイデアも出るかも知れません。いずれにしろ、その技術が仲間によって進展すること間違いありません。これは社会貢献ではありませんか？ 開発技術者ができる最初のできる社会貢献ですよ。

【教訓】しっかりと会社のために特許を書いたら、今度は論文を書いて社会貢献しましょう。

参考までに、私はおかげで100以上の特許と100以上の論文を世に送り出すことができました。また私の論文をもとに、いろいろな方と一緒に開発をしようというお誘いを受けました。

正にこれこそが日本型 Open Innovation だと思います。（図3）

図1 特許はあなたの財産を守ります

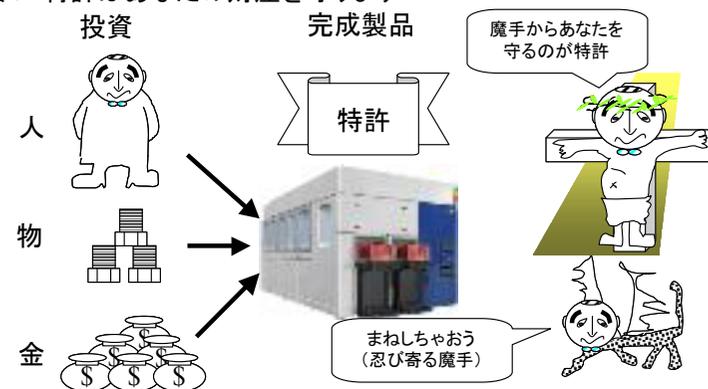


図2 100の特許と100の論文

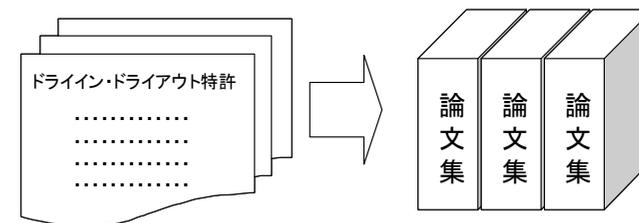
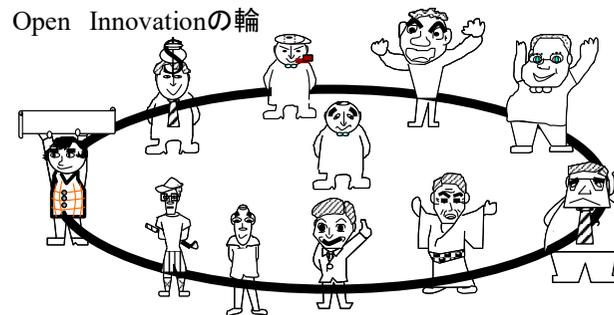


図3 Open Innovationの輪



荒れ野原をどれだけ持っています

私は100件以上の特許を持っています (図1)

先日特許庁の方とお会いした際の会話です。
「日本のメーカは特許に対する力の入れ方が不足しています」と〇〇さん(特許庁)
「いやいや、〇〇さん、私は特許を100件持っていますよ。あっはっは。」と私
「でもね辻村さん。北海道の原野をなんぼ持っても税金がかかるだけってわかりますか？ 現在企業に大学に埋もれている特許がゴマンとあります。使っていないなら使う人に渡すなり放棄するなりした方が、あなたのため、そして社会のためですよ」と〇〇さんに言われてしまいました。

原野から石油が？ (図2)

「でも、ひょっとして原野から石油が噴出すかも知れませんよね。」と私(悲しい反論ですが)

「・・・(言うことなし)」と〇〇さん。

確かに石油が出るほどの特許の中にはあるかも知れませんが、そんな素晴らしい特許が原野並みの特許に埋もれているのは極めて稀です。ホームラン(特許)は狙って打たないと打てません。

特許は数？質？

上記の2人の会話からはいろいろな課題が見えてきます。

もちろん私とて特許は数より質です。

原野並みの特許など本来不要です。

これが私が入社したころにいた水力発電業界なら、じっくり考え、アイデアを温め、完璧な特許を考えたいでしょう。

ところが半導体業界ではそうは行きません。1日違いで特許を取得されてしまったという経験を何回も経験しました。それからは、とにかくアイデアが湧いたら直ぐにテスト、確認されたら直ぐに特許を出す、というやりかたに変えました。中には調査が不十分だったりアイデアが練れていなかったり、自分で自分の特許をつぶしてしまうというケースもありました。でも、相手に先に取得されるよりはましです。

ということで、もちろん質の高い役に立つ特許を考えることが目標ですが、特許を書いているうちにまた新たなアイデアが湧くこともしばしば。

しばらく原野と言われようと、出しつづけます。

図1 原野並み特許

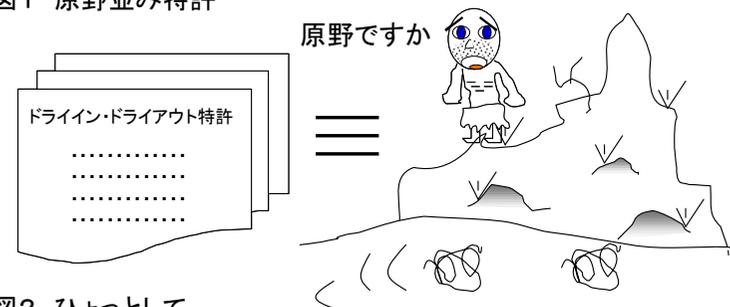


図2 ひょっとして

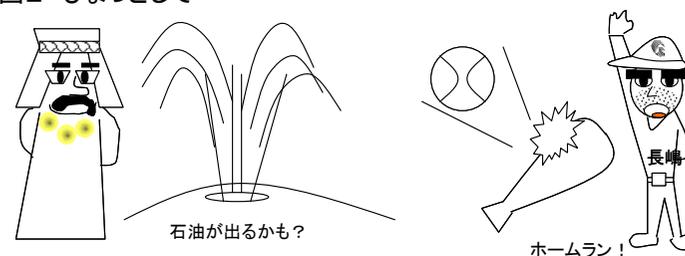
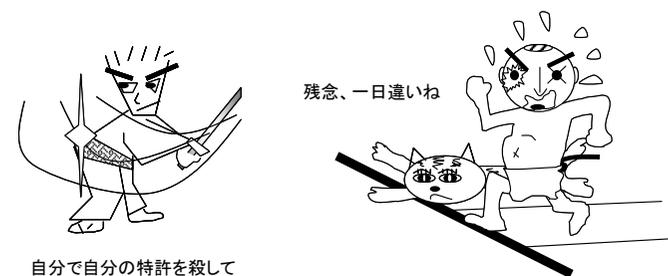


図3 特許もいろいろ



特許の書き方教えます

それでは‘習うより、慣れる’です。

先ずは実際に特許を書いてみましょう。

どこの企業でも特許の書き方やテンプレートがあると思いますが、もっと簡単にしてみましょう。(実際にこの書き方で大学生にも高校生にも書いてもらいました。かなり良い評判でしたので紹介します)

以下の順序で書いてみましょう。

従来の技術は？

全く世の中に無いアイデアならともかく、大体は従来世の中にある技術が存在して、それが不便だとか、問題を起こすということがアイデアのもとです。必要は発明の母ですよね。あの世に行ってから、天使の頭のワツカが邪魔をしない帽子、などというアイデアはだめですよ。(図1)

考案のポイント

発明は新規性と有益性を説明する必要があります。先ずは Something New です。何が新しいのか(新規性)を説明しましょう。次にいくら新しいからといって有益でなければ何なりません。従来の技術で気が付いた問題点を解決して、有益性を説明する必要があります。‘逆立ちしていても食べられるお膳’などと言うのも新しいかも知れませんが、これもだめですよ。(図2)

そして実例

実際に図を書いて見ましょう。製作したのであれば写真も重要です。

最後に請求項目のまとめ

ここが実際には特許になるところですので、十分注意して書きましょう。実際は弁理士さんなどの専門家がアドバイスしてくれます。先ずは広く、段々と詳細に。

では実例を(図3)

先ず Something New です。あなたのアイデアを頭に描きながら書き出しましょう。

ここでは理解しやすいように前述したドライ真空ポンプ例で書いてみます。

従来の技術は？ 油を使ってシールしている真空ポンプ

考案のポイント

(1)何が新規性？ 油を一切使わない

(2)何が有益？ 油を使わないのでクリーン・安全など

実例 ドライ真空ポンプ例

請求項目のまとめ

- ・油を使わない真空ポンプ
- ・シールには非接触シールを使う
- ・非接触シールには形状記憶材料を使う

図1 天国でもかぶれる帽子

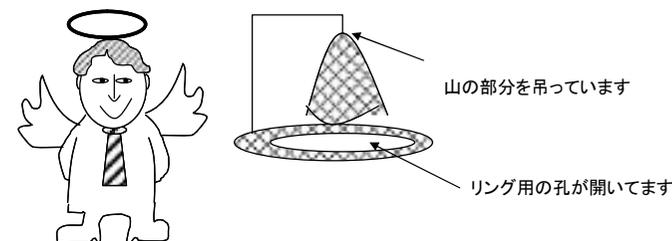


図2 逆立ちしてお食事が出来ます

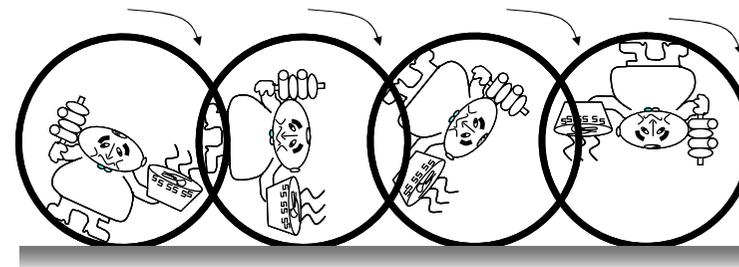
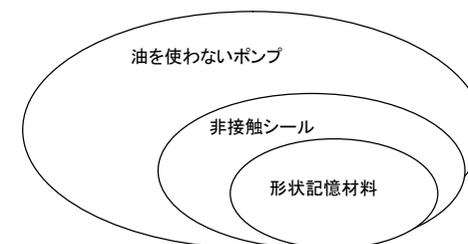


図3 広いところから段々狭く



大きさを覚えて見たら？

それでは実際にアイデアの出し方の訓練です。大きさが変わっただけで世界が変わります。世界が変われば特許は取り放題ですよ。つまり世界一になるチャンスです。

どっちが力持ち（図1）

図1の人間と蟻の力比べです。どっちが力持ちだと思いますか？

もちろん人間？

でももし人間と蟻の大きさを同じにしてみたら？

ということで考え方によって答は変わります。

上から下から横から斜めから、いろいろな見方を変えて見るのが発明には必要です。

小さな泡（図2）

例えば流体の世界で大きさを覚えて見ましょう。

泡（バブル）を考えてみます。ビールの泡とか、洗濯機の中の泡とかいろいろな泡がありますが、どこまで小さい泡が存在すると思いますか？

1mmの泡は？ 見たことあります

では1 μ mの泡は？ う～ん、見たことありません。

では1 μ m以下の泡は？ 作れますか？

ということで、早速流体便覧を見てみました。こんな小さな泡は便覧に載っていません。

便覧に載っていないなら新しいんだ。それ特許。

待って下さい。

1 μ mの泡は本当に存在できるのですか？ どのような理屈で、メカニズムで？

そして、それが何の役に立つんですか？

という順序でも特許は考えられます。（図3）

注）インクジェットは正にこんなマイクロバブルの研究から考えられたようです。さらに最近ではマイクロバブルやナノバブルの研究が盛んになっていますので今は便覧にも載っています。上記の話は私が1990年以前に首都大学の先生に話した内容です。

図1 どっちが力持ち

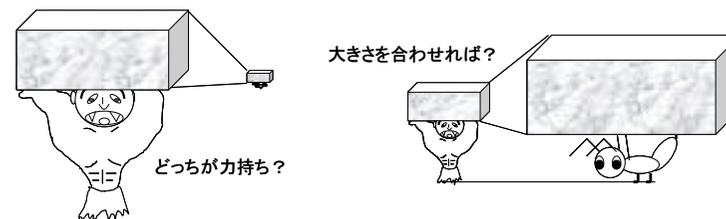


図2 大きさを覚えてみたら

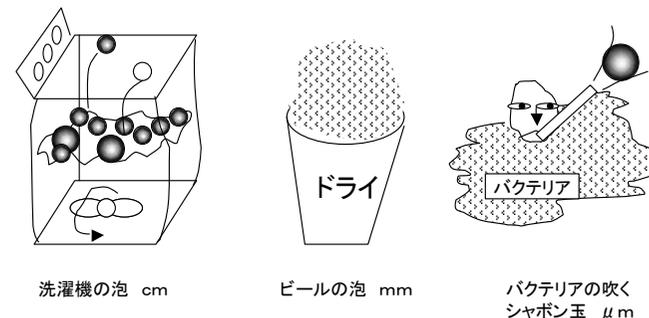
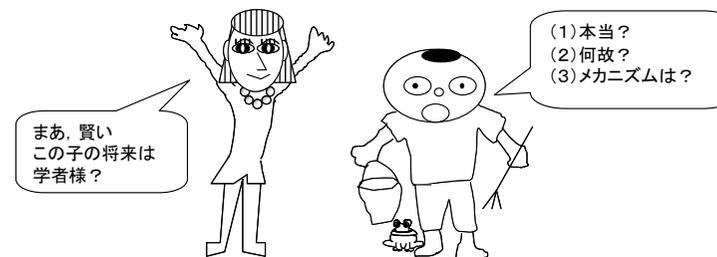


図3 開発はSomething New



分野を変えて見たら？

大きさを変えてみたら次は分野です。分野を変えただけで世界が変わります。世界が変われば特許は取り放題。これもまた世界一になるチャンスです。

どっちが変？（図1）

サルの惑星という映画はご存知ですか？ チャールトンヘストン氏主演の映画で、サルが支配する星に不時着して・・・という映画です。ここでは映画の話では無いので内容は割愛しますが、映画の中でサルの科学者がヘストンを見て、「あれ、このヒト（このサルとっているのと同じ口調で）、言葉を理解できるようよ、突然変異かしら」

そうです、どんな技術も分野を変えただけで、ヒトからサルに変わるほどのショックです。それなら特許の新規性くらいはあるでしょう。

というのが主旨です。

半導体は借り物技術（図2）

かつて半導体デバイスメーカーのエンジニアから教わったことです。半導体はほとんどが借り物技術なのだから、先ずは先行技術をいろいろ聞いて、使えるものを使ったほうが良い、とのことでした。

半導体に限らずハイテクトップを走る分野では、もちろん成熟分野の技術を応用しています。ならば、もっと露骨に応用して見てはどうでしょうか？

めっきと研磨を半導体製造技術に応用したのもその良い例です。銅めっきははるか太古の技術ですし、二酸化珪素（石です）の研磨も成熟技術でした。これをハイテクトップの半導体分野に持ち込んだ人がいます。正にサルの惑星にワープです。

注）実際、この CMP（研磨）が半導体技術に持ち込まれた際には、ほとんど同じような意見が多かったようです。「何、この汚いプロセスは」と言われてしばらく使われませんでした。

バイオや MEMS では（図3）

半導体の次にくる MEMS、NEMS やバイオでは半導体技術が借りられるのだと思います。それまでに十分成熟させておきましょう。

図1 分野が変われば

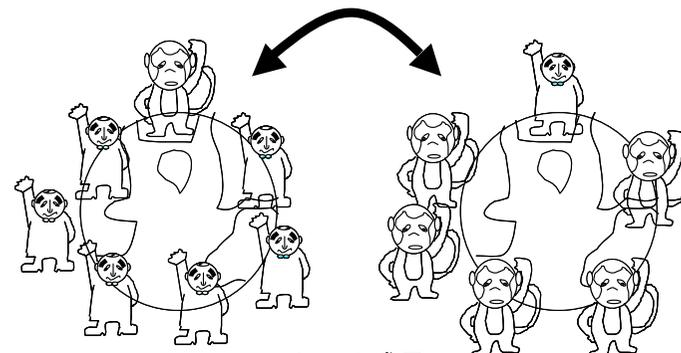


図2 成熟分野からの借り物



図3 次の世代へ



論文の書き方教えます

ここでもやっぱり‘習うより、慣れろ’です。

まずは実際に論文を書いてみましょう。

論文の書き方やテンプレートはどの学会のホームページにも載っていますが、もっと簡単にしてみましょう。(これも実際にこの書き方で大学生にも高校生にも書いてもらいました。かなり良い評判でしたので紹介します)

簡単な実例を示しますので、以下の順序で書いてみましょう

論文タイトル: 有限要素法(FEM)によるダマシン構造解析¹⁵⁾

序: 目的と論文の概要を説明します)

微細化に伴い構造強度の弱い Low-k がダマシン構造に採用されました。研磨により破壊が発生する事態が発生しました。どこまでの研磨圧力が許容されるか、実験と解析により予測しました。

データ:

ダマシンモジュールを3種類提示して、まずは FEM によりそれぞれの応力を解析します。さらに実験により実際に破壊する範囲を特定して解析との比較をします。

考察:

140nm世代では安全率が2あったものが45nm世代では安全率が0.5になってしまうことが判明した。

結論:

データや考察で述べたことを簡潔に箇条書きにまとめる。

謝辞: ○○さんに感謝

参考文献:

採用した参考文献を添付する。

図1 実際の論文

ミクロレベルの構造体の構造解析を有限要素法で実施し、実験を含めて有限要素法の有効性を示した

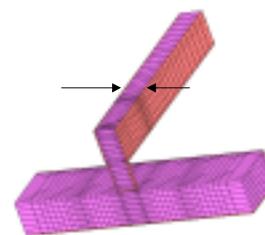
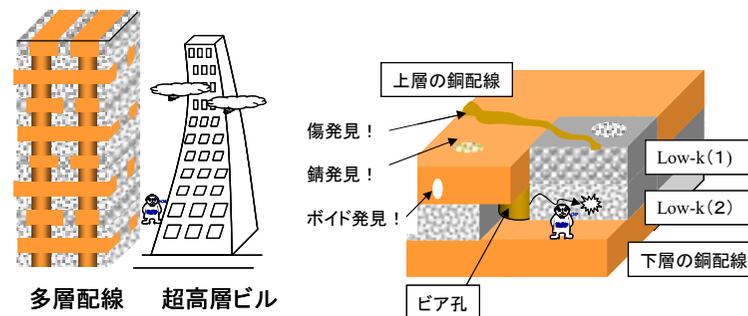


図2 何が論文のポイントか？



ACEを始めよう

報告はうまい企業人

論文を書きなさいという逡巡する企業人も、今やっていることを報告しなさいというとパワーポイントを使って素晴らしい報告発表をします。そこで私は考えました。まずは論文と言ってもケースレポート的なものから練習させよう。

ケースレポートとは

今新入社員の山本君は研磨のテストをやっています。メタルを研磨していますが、出来上がりのデバイスは傷(スクラッチ)が多いというクレームが来ています。山本君は上司に報告する書類を書いています。

不具合発生事例: メタルの研磨の際、デバイスに傷が見られました。

原因推定: 傷の原因をFTAから推定しました。考えられる原因として、以下の2つが疑われます。

推定—1: ドレッサからダイヤモンドが脱落した

推定—2: 装置の壁から付着した砥粒が落ちてきた

実証試験: 推定1と2に沿った実験を実施し、不具合発生事例を再現できました。

対策:

推定—1の場合には脱落しにくいドレッサに変更しました。

推定—2の場合には装置の壁を頻度良く洗浄しました。

考察: 実機で試した結果、良好

という順序で報告しました。

技術論文とケースレポート

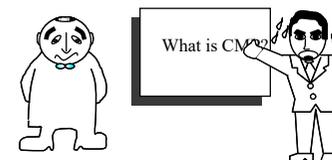
実際の技術論文の場合には、上記の事実以外に事象を一般化し、メカニズムを説明し、数式などに落とし込むという頭脳労働が入ります。これこそ大学の出番です。企業は論文のネタと実験データを沢山持っています。大学ではこれを一般化する能力があります。企業と大学の協力はこのようにすべきと思います。

ACEを始めよう

当社では若きエンジニアに学位を取得してもらおうと、まずは論文に慣れることから始めました。上述のように報告に慣れているエンジニアにはまずはケースレポートを書いてもらいます。それを後日大学に持ち込み技術論文に仕上げるという方法はとても有効です。ACEとは Advanced Conference of Ebara と私が勝手につけた社内学会名です。

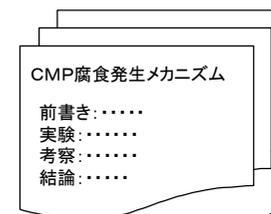
上司にパワーポイントで報告

これは実に皆さん上手です



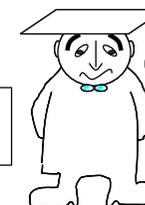
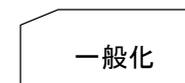
ケースレポート式論文

論文形式ですが、内容は単なる報告書です
先ず論文形式になれること



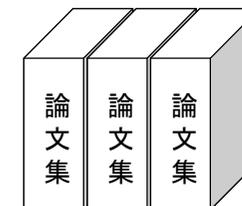
理論を含めた一般化

でも、それを大学で理論付けしてもらいましょう。
データは沢山あるんだから



論文完成

そうして査読付の学会に提出しましょう



ばてんととろーる

今回は恐ろしい話です。

特許の基本は発明者の権利を守るものですが、別の見方もできます。

特許おさえて、製品を世の中に出さなかったらどうなるでしょうか？

人類が困ります。

そんな特許は許されません。

そこで、半導体デバイス業界ではクロスライセンスという方法があります。

先ずはお互い、特許を気にせず(少しは気にしますが)一番良いものを世の中に提供しましょう。結果として特許に抵触する場合にはクロス(お互いに許諾しあう)しましょう。

さらに不公平分はお金を支払うようにしましょう。

という方法です。

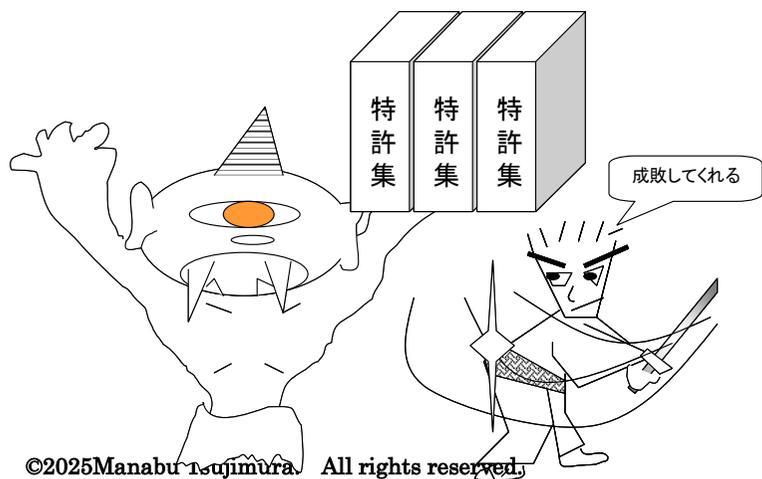
全てがこれでうまく行けば良いのですが、撤退組みが出るときに恐ろしいことが起こります。今までバランスしていたものが片方は止めてしまうのですからバランスしません。

とたんに残った方に資金負担が大きくなります。

さらに、この撤退組みの特許だけを買って残りの勝ち組に売りつけようというビジネスさえ出てきました。

これがパテントトロールです。(トロールとは鬼のこと)

特許を物づくりではなく、金融商品として扱う‘輩’が出てくることは本当に悲しいことです。鬼退治をしてくれる桃太郎はいないのでしょうか？



第 VI 編

5つの革命技術

Five Advent Technologies



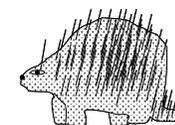
ゴッドハンド神



超特急神



めたぼ神



はりねずみ神



バイオレント神

この世の終わりか、救世主か？

世界の終わり？（図1）

人口増加、石油を含む地球資源の枯渇、地球温暖化などなど。21世紀は正に世紀末思想を思わせる話題満載です。2008年7月日本で開催された洞爺湖サミットでは正にこの地球温暖化対策が真剣に議論されました。

日本の唱えるクールアース構想にはクールデバイスが必須です。半導体業界はこの世の終わりを救う義務を負っています。世界が、日本が、我が企業が、私が、と地球に住んでいるあらゆる関係者がそれぞれの立場で地球を救う努力をすべきでしょう。

半導体の温暖化？（図2）

地球温暖化といえば元米国副大統領ゴア氏の「不都合な真実」が有名ですが、半導体デバイスはこの温暖化と全く同じ問題を抱えています。かつてバイポーラデバイスの微細化（集積化）が進み電流密度が $12\text{W}/\text{cm}^2$ を越えてしまいそうなときに、CMOS デバイスという救世主が現れて一気に電流密度が下がりました（この電流密度＝発熱と思って下さい）。最近はその CMOS も限界に近づきましたが、ここでマルチコアというクールデバイスのアイデアが出てきました。半導体デバイスは未だ不都合な真実になっていないようです。

データセンターでサーバを沢山抱える企業はチャンスです。低消費電力サーバの採用、低消費電力照明（LEDなど）、そして電力は太陽電池や水力発電などから供給すれば、正しくグリーンIT企業の模範です。

ではそのクールデバイスの開発はどうなっているのでしょうか？

図1 世界の終わり？

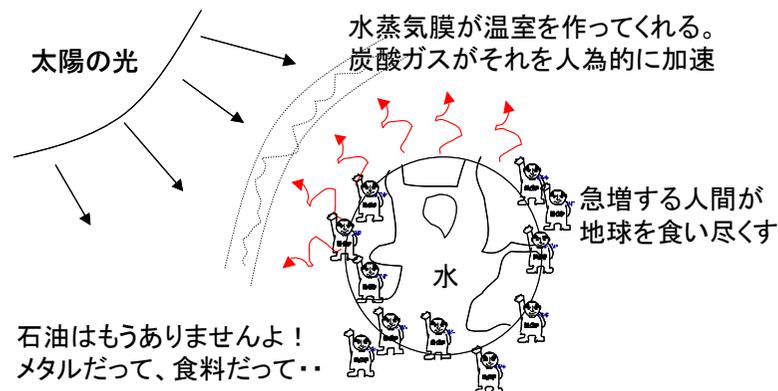
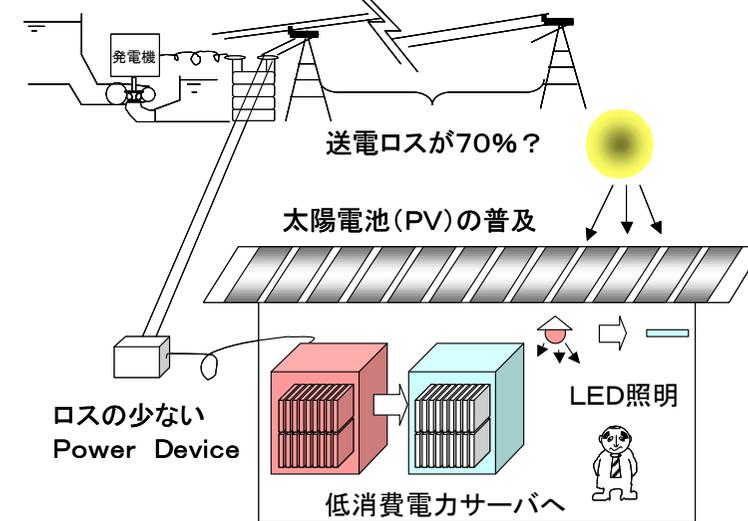


図2 IT技術が世界を救う



5大神現わる

クールデバイス開発の終焉？（図1）

実はマルチコアというのは実は妥協の産物です。微細化が難しくなり、新しいデバイスのアイデアが無かったので設計と運用で逃げたものと言ってよいでしょう。本当の開発はこれからです。工学限界から物理限界に直面し、今や神の領域と言っても過言ではありません。

神様、何とかお助け下さい（図2）

弱気な私は祈り続けました。そんな時、アイデアが降臨しました。それが5つのアイデアです。正に神がかりなアイデアであり、5大神が降臨したと私は思っています(?)。

どのようなアイデアか？

その前に半導体業界、多層配線業界の直面する課題から始めましょう。

あつと言う間に平坦化 ⇒ ゴッドハンド神

めっちゃ早く平坦化 ⇒ 超特急神

ダミーを入れて ⇒ めたぼ神

とってもお得 ⇒ はりねずみ神

怖い！ ⇒ バイオレント神

図1 半導体デバイス微細化は終に神の領域へ・・・

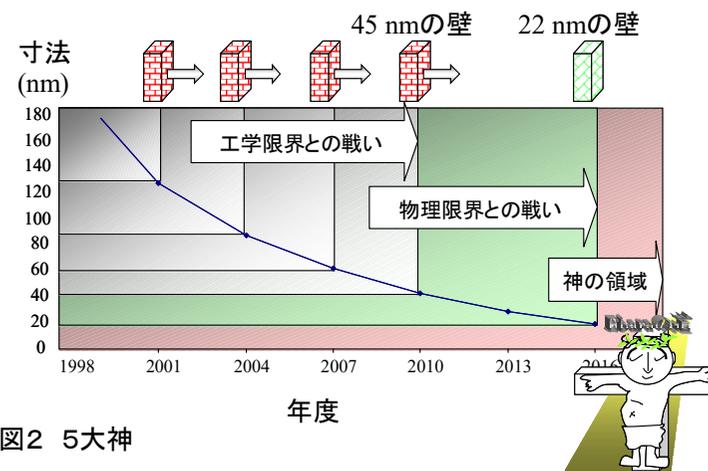
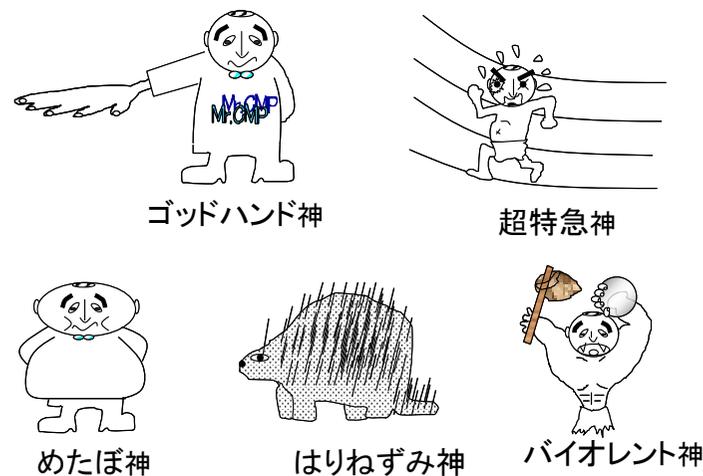


図2 5大神



パラダイムシフト45 鬼門の問題提起

パラダイムシフト 45

微細化の終焉が叫ばれています。「No More Moore!」とばかりに微細化はもう半導体デバイスの勝ちボタンでは無いという人がいます。また「No! More Moore」だと微細化はまだまだ先があると言う人もいます。さらに「More Than Moore」ということで微細化とは異なったアプローチを考える人も出てきました。

何故こんな議論がさかんになったのでしょうか？ 半導体が発明されてから約50年以上も半導体デバイス分野では微細化と大口径化を武器にこの世の春を謳歌してきました。ここに来てそのパラダイムが変化しそうですが、どうやら‘45’という数字は鬼門のようです。これを筆者は2005年にこの現象を‘パラダイムシフト 45’と名づけて問題提起しました¹⁶⁾。

大きなパラダイム変化の際には必ず革命技術が生まれます。どんな技術が望まれているのか技術俯瞰して見たいと思います。

45nm 微細化の終焉、その時何が・・・

微細化は工学限界と物理限界に同時に直面します。

工学限界例: 45nm以下のゴミ対策は光で見えないし、数は指数関数的に多くなるし、ファンデルワールス付着力などで除去しにくい、工学的に非常に難しい領域に入りました。

物理限界例: 45nm以下では銅配線のScattering効果による配線抵抗の上昇など、物理定数まで変わる領域に突入です。

45μm 3D実装、その時何が・・・

3D実装がハイライトされてきましたが、ウエーハの薄膜化ではウエーハ加工技術が大幅に変化します。100μm程度までの薄膜化とは異なり45μm以下ではウエーハの取り扱いが困難になります。

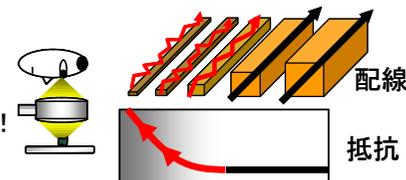
45cm 大口径化、その時何が・・・

大口径化すると半径方向に不均一なプロセスではその不均一性が増します。また大口径化は微細化と同時進行ですので、通常は微細化に伴う仕様が厳しくなり、大口径化で半径方向に厳しくなるという装置開発にとってはダブルパンチです。45cmのウエーハや装置を開発するには大変なコストがかかります。そのコストアップを考えますと安易に飛びつけません。45cmウエーハ大口径化では正に経済的限界に直面しています。

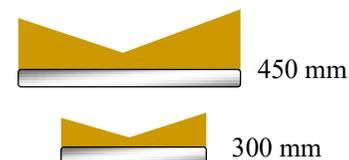
これが2005年に提唱したパラダイムシフト45でした。パラダイム変化がもたらすものがパラダイスなのか、‘死後(45)’の世界なのか？

パラダイムシフト45提言

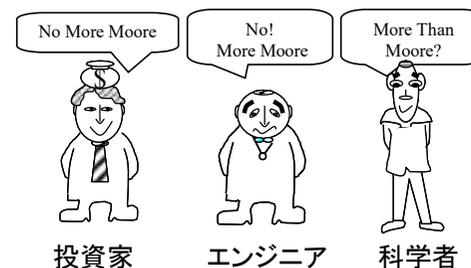
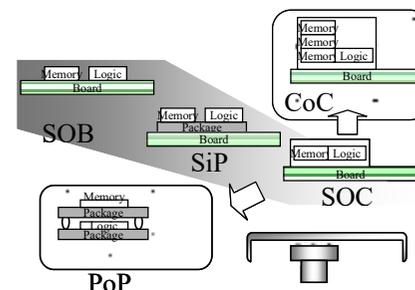
P-45nm
光で見えない！
銅の抵抗値がアルミ以上に！



P-45cm
プロセスのばらつきが大きく？



P-45μm
3次元実装薄膜は？



パラダイムシフト45 その後はパラダイス？

本問題を提起後、世界トップの投資家がこぞって疑問を投げかけ、世界のトップエンジニアと科学者が答えを出しました。世界のトップの議論の結果¹⁷⁾です。

投資家の目から見た懸念

投資家からは微細化・大口径化の行方に関して3つの懸念点が上がりました。①投資コストの増大が経営を悪化？②需要は全てのメーカーに等しくあるのか？(人気の無い商品は安くしても売れない)③投資タイミングは技術とビジネス両方から考えているのか？ などを。そしてこれらを投資家に対して十分説明が可能であれば、投資家は半導体にどんどん投資したいのだそうです。さあ、回答を下さい。

微細化からの回答

45nm以前のデバイスでは、微細化すれば(デナード理論に従い)①高速化し②低消費電力化し③高集積化による低コスト化が図れ、過去50年間(ムーアの経験則に従い)この世の春を謳歌してきました。45nm以降はP-45nmに示す通り、単なる微細化は①低速化！②高消費電力！③高集積化には高コスト！の3重苦というのは事実です。でも微細化は事実10nm以下のデバイスもできているし、新材料・新設計などにより低消費電力化もアイデア満載です。開発にコストがかかることは事実ですが、全部を開発する必要はありません。「必要なデバイスに必要な技術」を搭載することが重要です。微細化はまだまだ続きます。(と強気でした)

大口径化からの回答

温故知新。90年代後半になされた300mm化の議論がそのまま450mm化に当てはまります。①ウエーハ需要はまだまだ伸びていること②このままでは300mm工場の数が300を超えてしまいそう。だから450mmというのが一般的な大口径化推進派の意見です。①本当でしょうか？という素直な疑問と②450mm化の装置開発には300mm化以上の莫大な費用がかかるという心配が、一般的な大口径化(反対とは言いませんが)逡巡派の意見です。

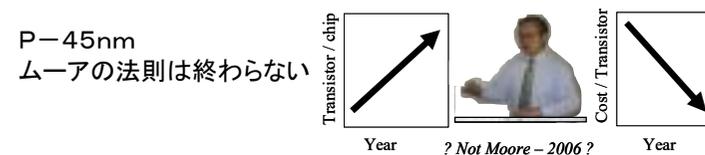
3D実装・新探求デバイスからの回答

かつて微細化に遅れが出れば大口径化に走り、その間にまた微細化という具合に微細化と大口径化がお互いうまく作用していました。今微細化と大口径化が同時に足踏みするなら、3次元実装で解決しましょう。3Dはサイズを低減し、多層配線で問題となっているRC遅延(特にグローバル配線の)の解になるなど利点がたくさんあります。今こそ3Dです。そして科学者は、微細化と大口径化を超えた新探求デバイスの開発に力を入れるべきだと主張しています。(強気発言)

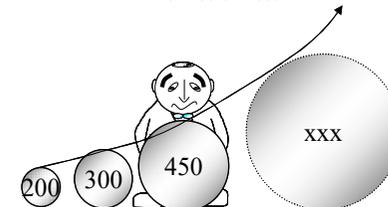
パラダイスか死後(45)か？

ということで、1年の議論から得られたものを超簡単にまとめますと、エンジニア・科学者は①微細化は望む限り進む②大口径化はもし望めばできる③でも3Dは今やるべきだし、新探求デバイスも今から進めるべきだという強気発言でした。技術とビジネスのマッチングが45nm以降の半導体をパラダイスにも死後(45)にも導く可能性があることが見えてきました。

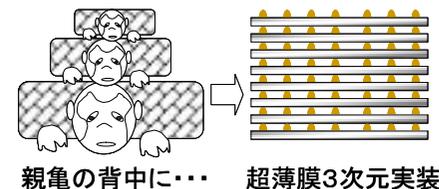
パラダイスか‘死後(45)の世界か



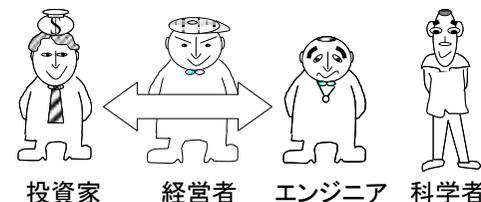
P-45cm
望めば可能だが...



P-45 μm
今こそ3次元！
そして新探求へ



技術ロードマップとビジネスロードマップ



もっと高く、もっと高く

高層マンションと多層配線 (図1)

半導体デバイスの多層配線は高層マンション建築に似ていると言ったら叱られるでしょうか？ 半導体デバイスは微細化の伴い配線層はどんどん多層化されてきました。始めは2層、3層だったものが最近では8層、10層です。どうしてこうなってしまうのでしょうか？

実はトランジスタは微細化しますと前述のように性能が向上しますが、配線はそうは行きません。流す電流の量が変わらなければ、微細化(細く)した分は縦長にしなければなりません。縦長といっても限度がありますので、不足分は2階建てにします。ということでどんどん多層化して行きました。

これにあわせて材料も変えてきました。詳細は省きますが配線部分は抵抗値を小さくする目的でアルミから銅に変えました。絶縁材も誘電率を小さくする目的で種々の材料を開発しています。このアルミから銅、低誘電率化の中でとんでもないことが発生してしまいました。

銅が腐るんです。

銅の中にポイド(孔)があいているんです。

絶縁材が脆弱化して壊れるんです。

なんと絶縁材にもポイド(孔)があいています。

孔だけで、柱も腐っている、傷も多いし・・・

トランジスタは安心して住めません。安心なマンション(多層化)を望んでいます。

ちょっとだけ問題点を (図2)

実際に学会で指摘された課題を、プロセス毎に簡単に整理して見ましょう。

- ・低誘電率成膜とキュア: この材料は強度が弱いのでキュアをして強度を高めます。ところがキュアとすると縮むんです！
- ・低誘電率成膜エッチング: 孔を掘るんですが、これがまたゴミだらけ！
- ・バリア成膜の課題: バリアですからしっかりバリア(保護)してくれないといけませんが、実はこれも欠陥だらけです。
- ・めっきや研磨: めっきにはポイドがありますし、研磨をすると傷や腐蝕も問題です。

実はこれ以外にも問題は続出ですが、半導体デバイス技術はどんどん先に進みます。どこまで行くのでしょうか？

図1 高層マンションと多層配線の共通課題

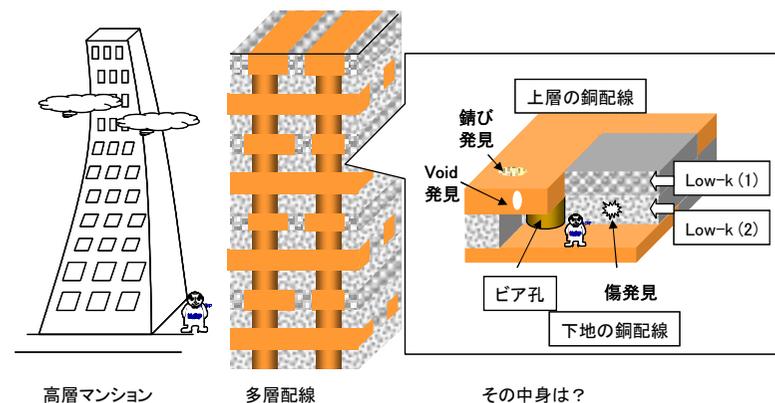
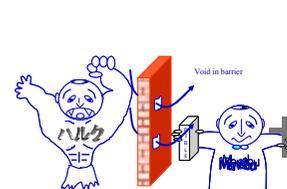
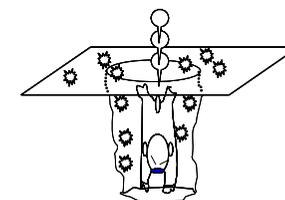


図2 多層配線の問題あれこれ



世界の果てまで

国際多層学会で大いに議論を (図1)

問題続出と言いました。でも安心して下さい。世界のエンジニアはこれらの問題を見逃しません。決して、高層マンション事件のように規格をごまかしたりもしません。真っ向勝負、これらの問題に取り組んでいます。著者が委員長を経験したADMETA (国際多層配線学会)でも、日夜若きエンジニアが努力しています。

めっきや研磨がどのようにして半導体に (図2)

研磨は磨製石器から、めっきも神代の昔から使われてきた技術です。それがどうしてハイテクトップの半導体製造用プロセスに使われるようになったのでしょうか？

半導体デバイスの用途はパソコン、携帯からデジタル家電、車載用、ロボットとその用途は果てしなく広がります。用途はうなぎのぼりなので、デバイスもその欲求に応えなければなりません。デバイスの性能が進めば、また用途も広がり、用途が広がるとデバイス性能がまた向上するという良いスパイラルになっています。

めっきや研磨もそうです。世界最古といわれるめっきと研磨技術がハイテクトップの半導体製造プロセスに認可されるまでには、それこそめっきや研磨のエンジニアの血の滲むような苦労の連続でした。結果として現在ではめっきと研磨が認定されています。おかげで特許もたくさん生まれました。正に Wet Revolution! を具現化した良い例です。

革命技術を待っています (図3)

繰り返しますが、多層配線は高層マンションと似ています。補強の方法や、ガス抜き、熱の逃がし方などの課題と共に開発のチャンスは沢山あります。若きエンジニアには革命技術を生むチャンスでもあります。

微細化もまだまだ進みます。世界の果てまでがんばりましょう。

というように半導体製造プロセスも問題だらけで進んでいます。「必要は発明の母、欲求は革命技術の父、問題発掘はその一歩」です。本業界で活躍する若きエンジニアに期待しましょう。

図1 学会で



図2 めっきと研磨の歴史

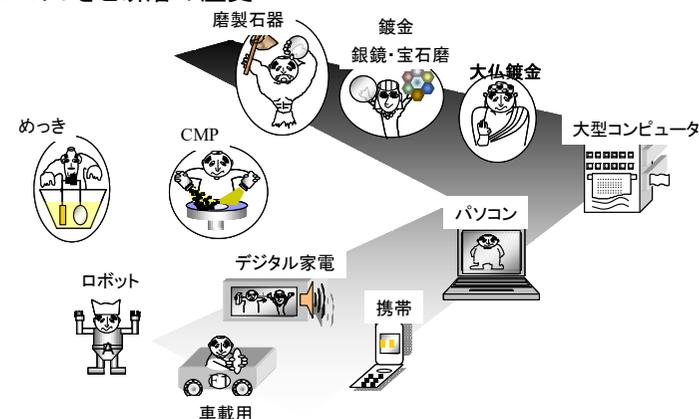
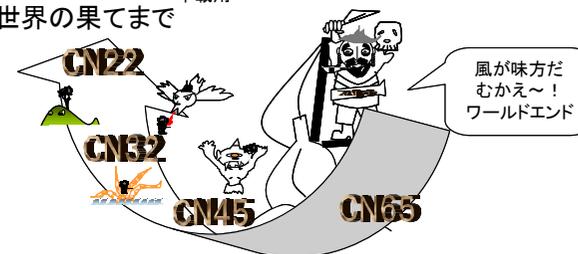


図3 世界の果てまで



ゴッドハンド神 登場

どんどん平らに

半導体デバイスが多層化されるにつれて、デバイスの平坦化技術が発展してきました。1980年代に登場した CMP (Chemical Mechanical Polisher) はその平坦化性能が良いために採用されました。始めは層間絶縁膜だけに、その後タンゲステンや銅などの金属膜の埋め込みにも採用され、現在では CMP は半導体製造プロセスになくてはならない装置になりました。

どんどん平らにと言いますが、どの程度なのでしょう？

半導体デバイスのロードマップ ITRS によりますと、2010年32nmデバイスではなんと '8nm' という平坦度が要求されています。'8nm' ですよ！

何を平らに？ (図1)

図2を見て下さい。銅配線を例に取ります。めっきをするとめっき面はかように凸凹になります。このめっき面を研磨しますと、通常研磨後図のように Dishing や Erosion という凹みができます。この凹みが平坦度で、これを8nm以下にすることが要求されています。

ゴッドハンド神 登場 (図2)

そこで現れたのがゴッドハンド神です。図2を見て下さい。

ゴッドハンド神が凸凹を触っただけで、あら不思議！

あっという間に凸凹が無くなってしまいました。

触るだけです。

信じますか？

図1 何を平らに

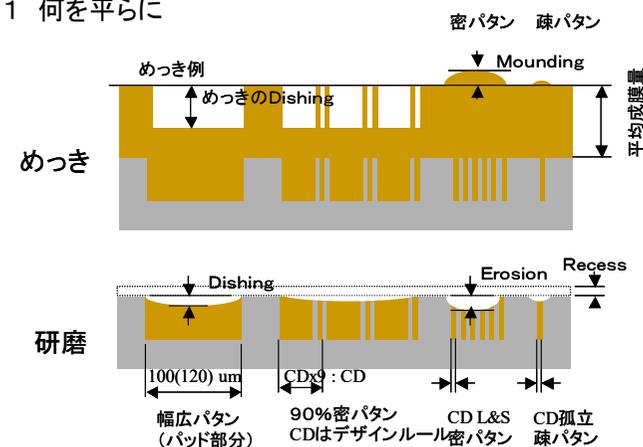
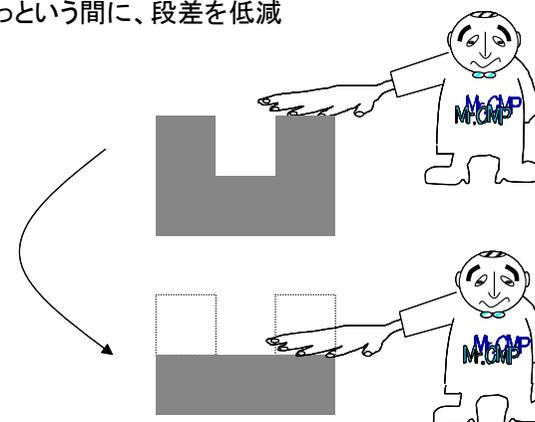


図2 あっという間に、段差を低減



ゴッドハンド神 天下統一

CMP・ECMP・ECP・CE 平坦化技術百花繚乱 (図1)

1990年代、平坦化が重要だと認識されると、いろいろな平坦化技術が登場しました。もちろん最初は研磨(GMP)です。次に現れたのが電解研磨(ECP)と複合電解研磨(ECMP)です。ここらで大分ややこしくなってきました。さらに、エッチング(GE)まで参戦し、平坦化業界は戦乱状態になってしまいました。

そこでこれらの技術のメカニズムを统一的に説明しようとした論文を出しました。それが「平坦化統一論」です。もとよりこの統一論は理論的展開を望むものではなく、ユーザ(や学生)に種々の平坦化技術のメカニズムを知ってもらいたいと意図して書いたものです。

図1にそのメカニズムの説明図だけ載せました。もっと詳しく知りたい方は巻末に掲載してある論文を参照下さい。ポイントはCMP・ECP・ECMP・CEさらにその融合技術の全てがこの図からそのメカニズムが理解できるという‘ありがたい’図です。(と思して下さい)

超純水式 ECPこそゴッドハンド (図2)

そして、この平坦化統一論に正にぴったりの技術が生まれました。それがゴッドハンドプロセスとして名高い超純水式ECP¹⁸⁾です。原理は至って簡単です。

超純水は絶縁体なので電気を通しません。

イオン交換膜は電気を通します。

このイオン交換膜を超純水に漬けて、デバイスの凸凹銅表面を触ると、あら不思議。イオン交換膜が触れている箇所だけが溶けていきます。正にこのイオン交換膜こそゴッドハンドの正体でした。イオン交換膜を剛性のある(たわまない)膜にしておけば、図に示しますように凸凹の凸だけに触りますので、凸だけが溶けて行きます。つまり、平坦化されていきます。

どうです、すごいでしょ。

図1 平坦化統一論(図の意味はここでは考えない下さい)

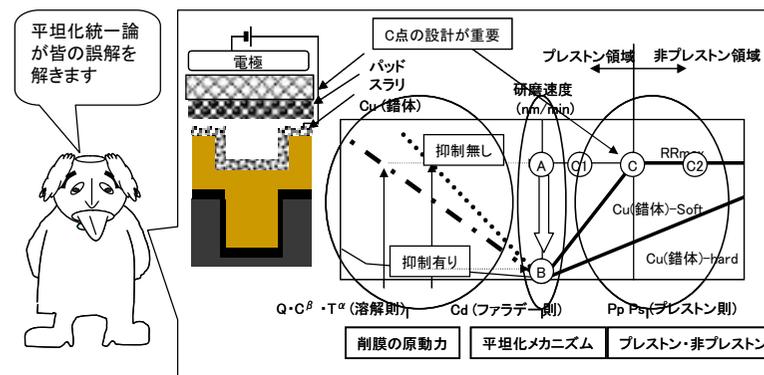
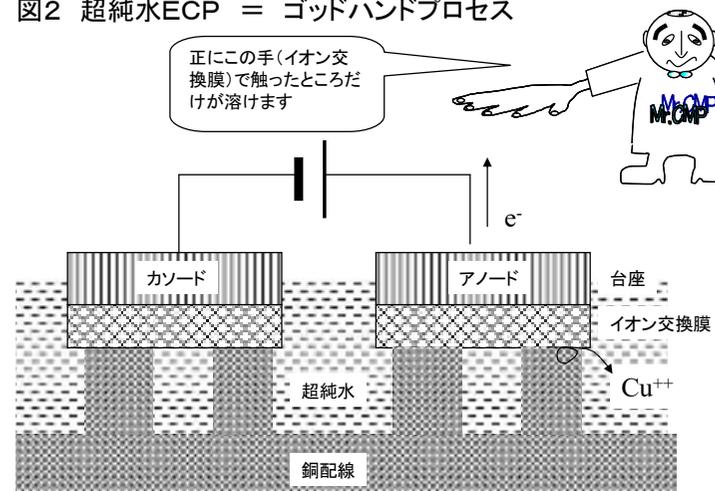


図2 超純水ECP = ゴッドハンドプロセス



超特急神 早く廻せば

早く、早く (図1)

半導体デバイス表面にある初期の凸凹をとにかく平坦化することがCMPの目的だと言いました。実は経験的に研磨速度を早く(ウエーハやテーブルを早く廻す)すると、この平坦化性能が向上することが分かっていました。例えば図1に示しますように、初期段差が 100 nm とします。ここでウエーハとテーブルを同じく30rpmで研磨すると、最終段差が 30 nm でした。そこで、ウエーハとテーブルを60rpmで研磨すると、最終段差は15nm に向上しました。

だったら、もっともっと早く廻したらどうかと思うのは当然ですよ。

私もそう考えました。これこそがSomething Newだと。

ターボ分子ポンプは5万回転 (図2)

実は当社にはお得意の技術がありました。ターボ分子ポンプです。超高真空を作るための真空ポンプですが、羽を磁気軸受で支持しているために摩擦が極端に少ないので、何と5万回転で廻せます。

ただここで問題が一つ。

ターボ分子ポンプは真空中で廻すために、負荷がとても軽いんです。ところが研磨はいわゆる加重機械ですから加重をかけて5万回転で廻したらどんなことになるか？

これも解決しました。

実は、当社には磁気軸受を応用した精密除振台も製作しており、重いものを扱うことにも慣れていました。

高速回転機械(ターボ分子ポンプ)と精密加重機械(精密除振台)技術の融合で、5万回転とは言わないけど、1000回転くらいは何とかなるぞ！

ターボ分子ポンプの設計者と精密除振台の設計者を入れて「超高速CMPプロジェクト」の発足です。でも何か不安が...

図1 平坦化性能は研磨装置を早く廻したほうが良い

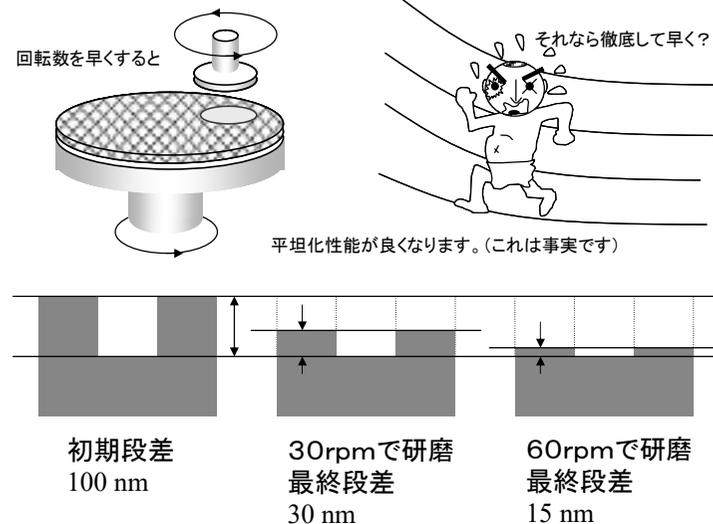


図2 超高速CMPプロジェクト発足



超特急神 過ぎたるは..

超特急CMP完成 (図1)

図1を見て下さい。

いろいろありましたが、研磨のキャリア(ウエーハを掴む部分)にターボ分子ポンプと同じ機構を設けてゆうに1000回転は廻せるように設計しました¹⁹⁾。

さらに、このキャリアはテーブルに載せられたパッドに押し付けられますので、そのためにキャリアが引きづられたり、キャリアが前のめりになったりする力が働きます。それを回転十字方向4箇所と軸方向2箇所にセンサーを取り付けて、位置制御を行いました。

さらに、さらに、加重が大きくキャリアが振動する場合でも、精密除振台技術で解決です。

ターボ分子ポンプの設計者も精密除振台の設計者も、初めての経験でしたが何とか1000回転まで安全に廻せることが確認できました。

さあ、後はプロセス実験です。

ひょっとしたら最終段差は0になるかも(うふふ、と思わず笑いが込み上げて)

何にも起こらない?? (図2)

あれ! 半導体デバイス表面の凸凹は初期の大きさと全く同じです。

何にも平坦化されていません。

最初は、測定ミスだと思いました。

もう一度、もう一度、...

何度やっても結果は同じでした。

1000回転では平坦化されないのです!?

後日、その理由も解明できました。

あまり回転数が早すぎて、キャリアがハイドロプレーン現象(液膜状に浮いてしまうこと)を起こしてしまっていたことが判明しました。

そうと分かれば解決策はあります。

遅くする? トンでもありません。

もちろん1000回転は速すぎますが、適切な速さと液膜を解析しながら進めれば良いということです。

超高速CMPプロジェクトはまだまだ続きます。神はそう簡単には降臨してくれません。

図1 そこで1000回転で廻してみました

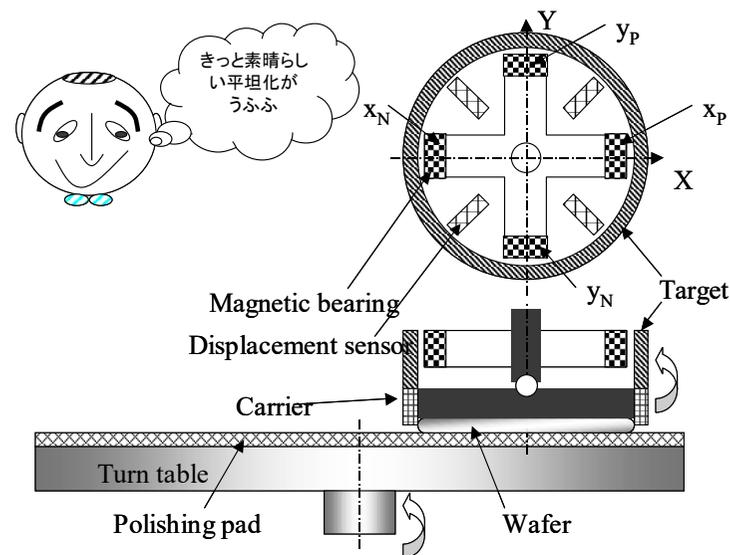
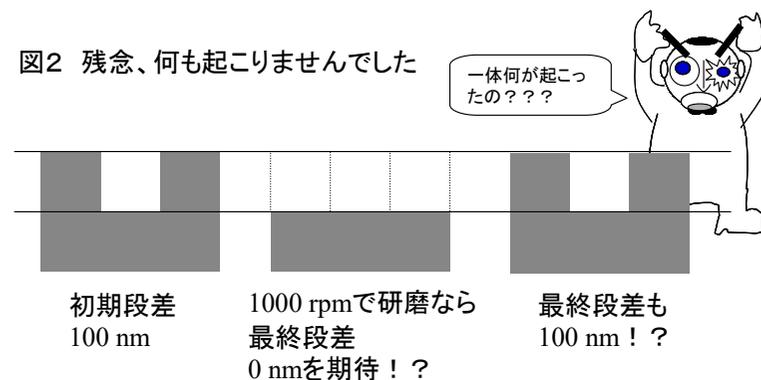


図2 残念、何もしりませんでした



めたぼ神 物理限界を超えて

微細化と共に (図1)

半導体デバイスの微細化に伴って、配線幅も狭くなり、バリア膜や銅めっき用のシード膜も狭くなります。その数字たるや45nm世代のデバイスではバリア膜もシード膜も3.3nmです。

このバリア(通常Taなど)やシード(銅)はスパッター装置で成膜しますので、図1に見られるように厚みは均一(コンフォーマル)ではありません。入口で閉塞してしまい、そのために本来の配線銅がめっき成膜できずに孔(ポイド)が残ってしまう可能性が大きくなります。仮に埋め込み成膜できたとしても本来の銅配線部分がバリアのために少なくなっています。どうするか？

薄く・コンフォーマルに (図2)

そこで、バリアやシードを薄く・均一(コンフォーマル)に成膜する技術が発展してきました。従来のCVD(Chemical Vapor Deposition)やALD(Atomic Layer Deposition)という方法で均一成膜が可能になりました。もちろんこの成膜方法そのものにもまだ課題はありますが、もっと大きな、根本的な課題が待ちうけていました。

ターミナル効果 (図3)

それが電子散乱効果です。そして、そのためのターミナル効果です。

図3の右図を見て下さい。銅配線の幅が50nmを切ったくらいから銅の電気抵抗率が上昇しています。これは銅の電子散乱効果として知られている現象です。銅はもともと従来用いられていたアルミよりも電気抵抗が小さいという理由で採用され始めましたが、これでは何のための銅かわからなくなってしまいます。正に、物理限界に遭遇したわけです。

そして50nmでさえそうなのですから、言わんや3.3nmのシードにおいてをやです。このシードの抵抗はとてつもなく大きいものと推定されます。通常銅の電気めっきの電極はウエーハの端から取りますので、ウエーハの中心と端では電気抵抗が異なり、流れる電流値が異なるために成膜量が異なってしまいます。このようにウエーハの中心と端で成膜量が異なることをターミナル効果といって、電気めっき成膜では重大な問題となりました。

図1 微細化配線のバリアとシード厚み

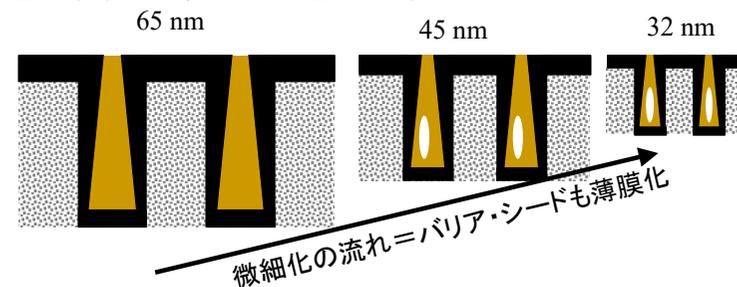
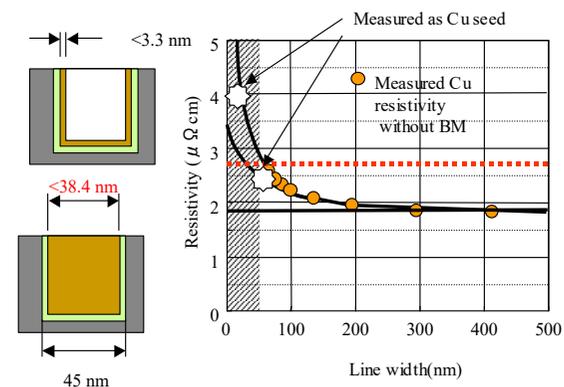


図2 バリア・シードの薄膜・コンフォーマル化成膜



図3 薄膜シードの電子散乱効果



めたぼ神 ダミーに隠されて

毎日体重測定よ (図1)

最近また太り始めました。
久美子(愛妻)から叱られました。このままではご飯を出してもらえなくなりそうです。
毎日体重を測定することにしました。
先月70Kgでした。今月は？
えっ！うそ、77Kgもある？ 10%増です！
ここで一計を案じました。実は私のいとこは100Kgを越す巨漢です。このいとこのめたぼだって心配です。一緒に体重を出すことにしました。
先月測定した時を(70+100)Kgとします。
今月の測定値は(77+100)Kgですから、先月に比べて
(177)÷(170)×100=4.1、小数点切り捨てて、たったの4%増加です。
これなら許してもらえる？
「んなわけ、ないだろ！」(久美子)

含浸めっき誕生 (図2)

このいとこの100kgの役割が含浸めっき²⁰⁾の含浸材です。
例えばウエーハ上のシードの抵抗値を端で5Ω、中心では10Ωとします。シードの厚みが薄いのでこの差5Ωがターミナル効果です。
このままではウエーハの端の方が中心よりも抵抗が低い分、電流値が多く流れます。つまりファラデー則により端の方が銅は厚く成膜されてしまいます。その差が倍、つまり100%差です。
ここに‘めたぼのダミー’を入れます。含浸材の抵抗値を100Ωとしましょう。すると、抵抗値はウエーハの端で(100+5=105Ω)、中心で(100+10=110Ω)です。
この差は(110÷105×100=4.7%)です。
どうです！ 何と100%の差がたったの4.7%差に縮まったことになります。
これが含浸めっきです。
これがめたぼ神プロセスです。

図1 ダミーの使い方

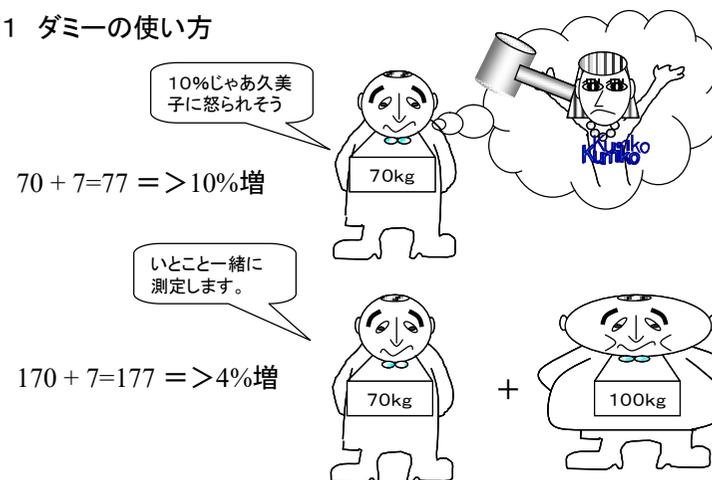
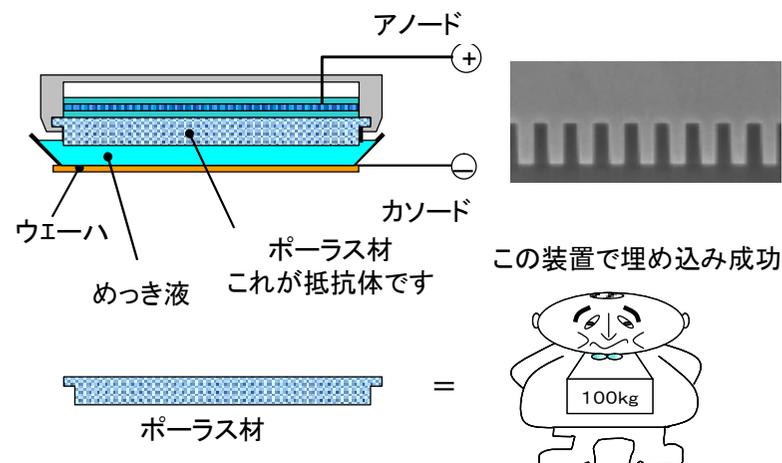


図2 含浸めっき



はりねずみ神 無駄を省け

京都工芸、象嵌技術（図1）

象嵌技術ってご存知でしょうか？ 久美子のお気に入りの宝石箱もこの技術で作られています。図1を見て下さい。まずは残したい絵柄を傷をつけて描き残します。そこに金粉を（ふんだんに）かけて、それを丁寧に擦ります。そうすると？

あら不思議（でもありませんが）、さっきの絵柄が金色で描けました。

でもこの金粉もったいなく無いですか？

もちろん捨てるわけではないですけど、どこかに失われるものだってありますよね。

もし、絵柄だけに埋める技術があれば？

そうですこれが‘はりねずみ神’なんです。

もうお気づきだと思いますが、この象嵌技術こそが半導体デバイスの銅配線技術に用いられたダマシンプロセスです。

なんとかスラリ代を少なく（図2）

そのダマシンプロセスの泣き所はCMPのスラリ代です。このスラリ価格が高いので何とかそのコストを下げようと必死です。スラリ量が少ないCMPプロセスなどは大喜びです。それならと、めっき成膜側でも考えています。

図2を見て下さい。

通常のめっきではデバイスパターンにもよりますが、図のようなめっき量が必要です。このめっき後表面の凸凹を平坦化するために銅を研磨します。この研磨量が多いほどスラリコストもかかるわけで、なんとかこのめっき量を減らそうとしています。

擦りながらめっきをすると平坦でかつめっき量が少なくて済むというアイデアも出てきましたが、成膜中に擦ると成膜中にゴミも入ってしまうということから現在では使われていません。

さあ、どうしましょう。

というところで‘はりねずみ神’の出番です。

図1 象嵌技術から

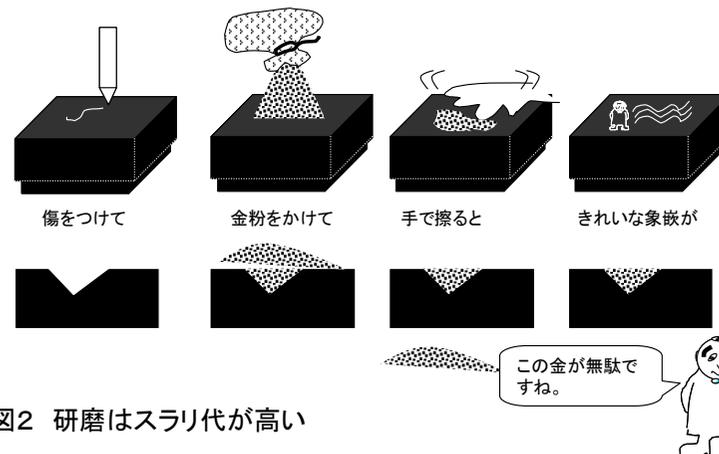
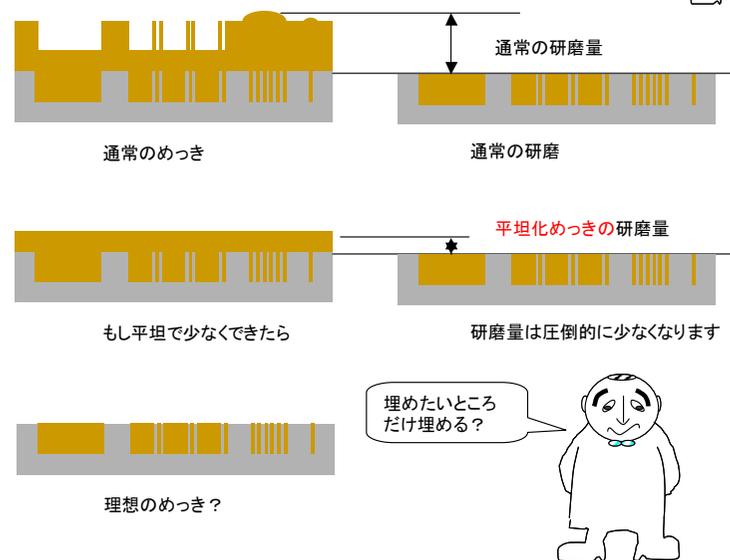


図2 研磨はスラリ代が高い



はりねずみ神 ふさいでしまえ

はりねずみプロセス (図1)

それではいよいよ‘はりねずみプロセス’です。

図1の順に沿って説明しましょう。

【めっきステップ】

Step1 基板に銅シードがついている状態から始めます。先ず多孔付のパッドを基板に載せます。

Step2 めっきを開始しますと配線部分とフィールド部分、さらにパッドの孔内に銅がめっき成膜されていきます。

Step3 それがさらに進んで、配線部分は完全に銅が埋め込まれました。

Step4 ここでパッドを取り外します。そうすると多孔部分にめっきされた銅がはりねずみの針のように残ります。これが‘はりねずみプロセス’の由来です。その下の断面写真を見て下さい。

【エッチングステップ】

Step5&6 その後この針部分をエッチングで除去します。エッチングは均質に加工しますので、針の半径分エッチングすると、針は無くなり、フィールド部分は半径分だけリセスします。この際に気をつけなければならないのは、配線部分まで加工してはいけません。

Step7 結果としてこのようにフィールドに銅が少し残った形でエッチングが終了することが望ましいプロセスです。その下の断面写真を見て下さい。

【研磨ステップ】

最後に残った少量の銅をCMPで研磨除去します。

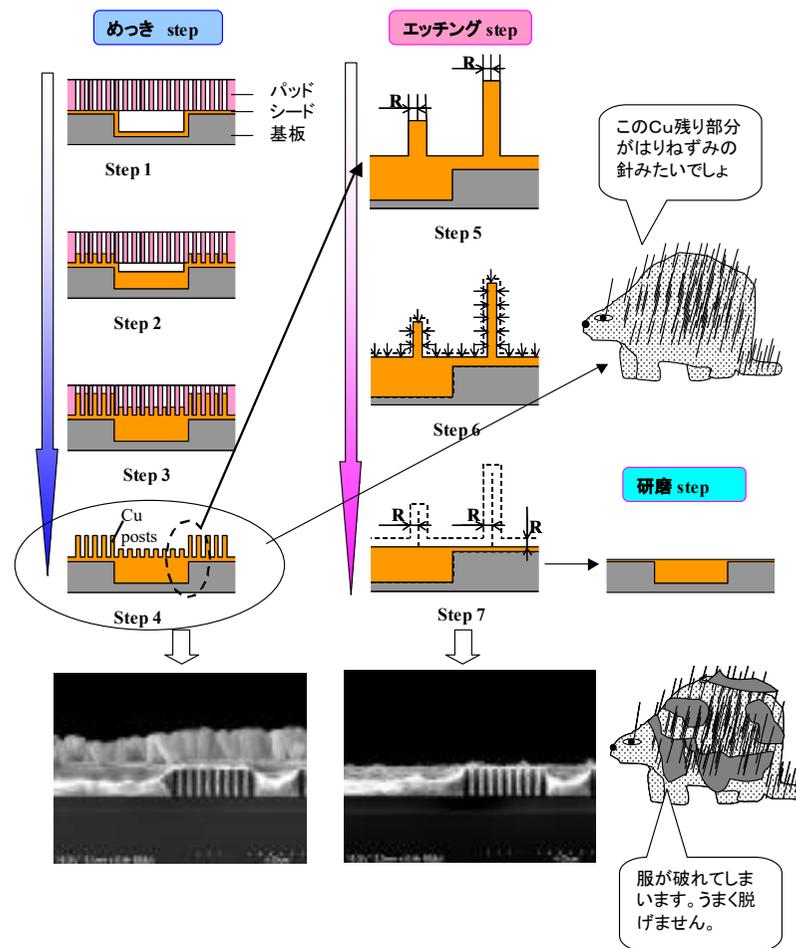
どうでしょうか？通常のめっき成膜からの除去量に比較しますと1/10程度になります。結果としてスラリ量も1/10程度になり、大幅なコスト削減が可能です。

しかも、もともと研磨前の形状が平坦なので、研磨後の平坦化特性も大幅に向上しました。性能もコストも大幅向上です。

正にはりねずみ神さまですが、問題点は？

Step4でパッドを取り除きましたが、このパッドがうまく脱げてくれません。はりねずみに着せた上着は二度と着ることができないようです。ここが解決すれば・・・

図1 はりねずみプロセス



バイオレント神 兆し

お掃除の基本です (図1)

「もしも学さん、掃除をして戴けるのはうれしいんですけど、きれいな雑巾で拭いてもらえますか？」と久美子から叱られました。

狭い家ですけど、私は雑巾を洗わずに1階から2階まで同じ雑巾で拭いていました。確かに私の拭いた後を見ると・・・

これは掃除の基本です(と偉そうに言える立場ではありませんが)。汚い雑巾では床はきれいになりませんし、汚れた箇所をなぞってしまうと余計に汚れてしまいます。半導体洗浄ではあれほど偉そうに言っていたのに。

墨壺をなぞると (図2)

半導体デバイスの洗浄表面は私の家の床のように均一材料ではありません。図2に示しますように、酸化膜・バリア材・配線材などが同じ表面にあります。特に配線が銅の場合、銅の汚染は嫌だと言っている割に、同じ雑巾(ロールブラシ洗浄)で擦ってしまいます。銅配線を墨壺に例えるのは恐縮ですが、墨壺をなぞって酸化膜も一緒に擦るので、これって一体！

それほど半導体デバイスの洗浄は難しいものです。そこで古くからあるジェット洗浄などの非接触洗浄がクローズアップされてきました。ジェット洗浄はブラシなどの洗浄に較べると洗浄能力が劣っています。そこで非接触洗浄という良い点を残しながら、洗浄能力の高いジェット洗浄の開発が望まれていました。

岩をも砕くキャビテーション洗浄 (図3)

半導体業界以外を見るといろいろな洗浄技術があります。キャビテーションジェットもその一つです。キャビテーションというのは流体中に発生するキャビティ(真空部)が破壊する際に発生する大きな圧力のために船のプロペラなどを破壊することで有名です(悪名ですが)。さらに、この破壊力を応用して、キャビテーションを洗浄に利用している業界がありました。でもこの洗浄は船にこびりついた貝殻などを剥がしたり、水中の岩を砕くという、とても‘バイオレント’な技術でした。

これを何とか半導体デバイス洗浄に使えるか？

これがバイオレント神、降臨の兆しでした。

図1 きれいな雑巾で

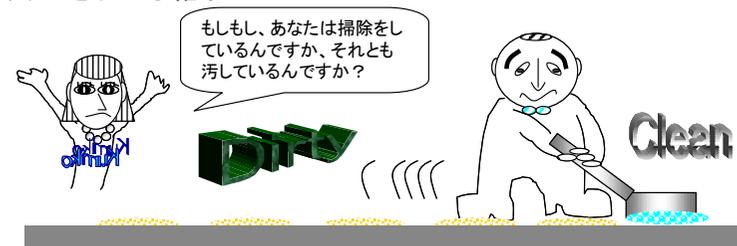


図2 墨壺をなぞると?

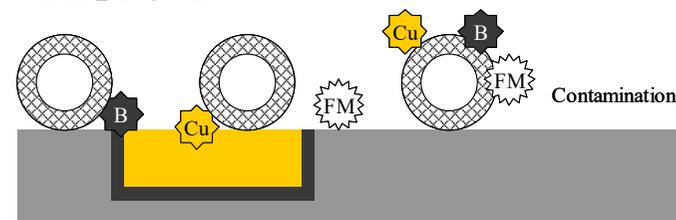
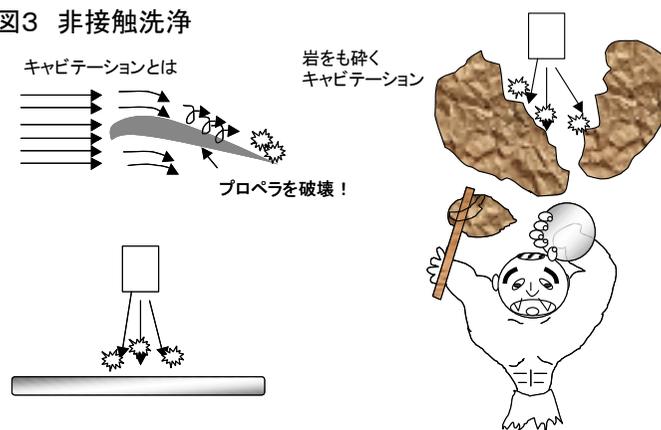


図3 非接触洗浄



バイオレント神 これがキャビテーションジェットだ

キャビを作るノズル (図1)

まずは半導体デバイス洗浄用ノズルからキャビテーション²¹⁾が発生できるかを確認しました。実は当社にはキャビテーションの大家がたくさんいます。と言ってもいつも「キャビテーションが発生して羽根が壊れたよ」とクレームを受けている人ばかりです。今回は悪玉キャビテーションを善玉にしようということなので、全員喜んで手伝ってくれました。結果が図1のノズルです。

出来上がってみると、非常に簡単でした。

通常の低圧水を回りに流せるようにして、その中央に高圧水を噴出せるようにしただけです。すると？

低圧水(=低速度水)と高圧水(=高速度水)の境界に渦ができて、この渦の中心に真空(キャビティ)が発生します。そのキャビティがウェーハの表面で破壊し、この際に発生する破壊圧力とジェット流でゴミを除去します。

CMP装置に乗せました (図2)

いよいよキャビテーションジェットをCMP装置に乗せました。通常のジェットとの比較もするために、2種類の流れを考えました。まずは研磨の大量のスラリ粒をロールブラシで取ります(一次洗浄)。次に通常のジェット、もしくはキャビテーションジェットで洗浄をして、検査装置で測定しました。その結果は如何に？

その前にキャビテーションでウェーハを破壊(?)することは無かったのでしょうか？

もちろんです。キャビテーションジェットではキャビティの大きさや発生量を調節することが可能であり、これにより岩をも破壊する超人ハルク並みのバイオレントさも持ちえますし、ウェーハ上のゴミを取る程度にすることも可能です。

でも、まるで起重機で卵を掴むような話でした。

洗浄結果 (図3)

結果を見て下さい。通常ジェットよりもキャビテーションジェットの方が早く洗浄できています。この理由はいろいろあるのですが、ここでは割愛。結果は良かった！

図1 キャビテーションジェット

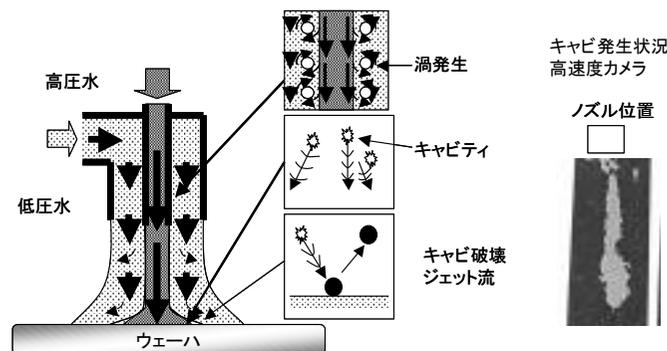
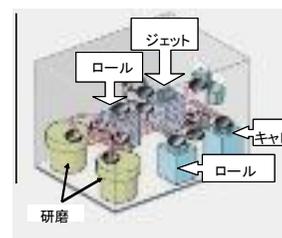


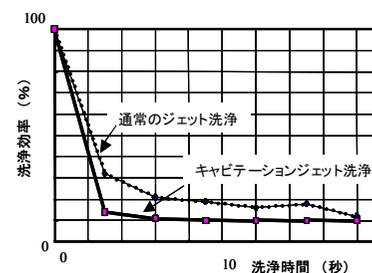
図2 洗浄装置



研磨→ロール→通常ジェット→検査

研磨→ロール→キャビジェット→検査

図3 洗浄結果



セカンドライフとリアルライフ

昨年放送されたテレビを見てびっくり仰天でした。

セカンドライフ特集です。

私もIT業界の一員ですからセカンドライフは知っていましたが、ここまで進んだかと。

始めはゲーム感覚から始まりました。

四畳半に住むある40代の男性が、セカンドライフの中では素敵な女性で登場できます。

ではこの方が話している相手の男性はまさか女性？

と少し引き気味の内容から入りましたが、後は大変です。

有名自動車会社や靴店が仮想出展をしています。

お客様はこの仮想店で試乗したり、靴を履いたりしてからリアルライフで買物をするようです。

これでは正に(映画の)マトリックスそのものです。

でも、何かまだ不自然です。

IT技術が進み、もっとリアルになればセカンドライフはもっと広がるのでしょうか？

IT技術はデバイスハードの発展とソフトの欲求がスパイラル効果となって発展していきます。いつか、仮想かリアルかわからないくらいに技術が発展するかも知れません。

一つアイデアを出しました。

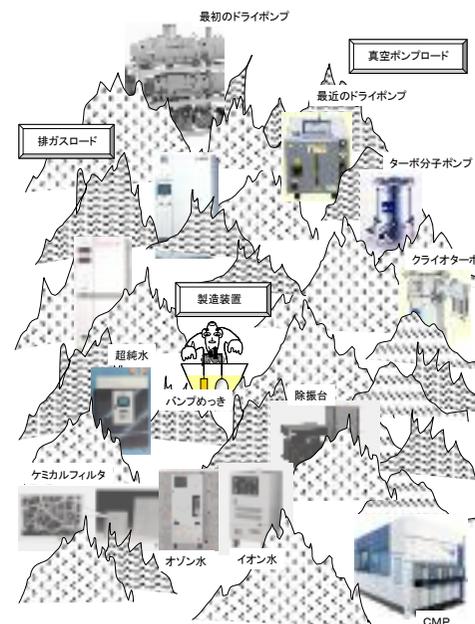
マトリックスのように首の後ろにぐさっと電極を差し込むわけには行きませんが、脳を直接刺激して、創造力を助けるアイデアだったあとだと思います。私達は人生ゲームでも盛り上げられる創造力を持っています。ITハードと人間の脳の融合はいかがでしょうか？ リアルライフに限りなく近づくのでは？



第 VII 編

いろいろな開発の森を俯瞰してみよう

Let's overlook the forests of R&D



開発は因果応報

ポンプから始まった

半導体製造装置(含むコンポーネント)に携わって既に25年が経過しました。4半世紀があつたと言う間に過ぎ去ったという感じです。最初はほんの真空ポンプから始まりました。それが、真空ポンプから排出されるガスを処理しようということで排ガス処理装置の開発にも進出しました。そこから道がいろいろ広がります。

左に曲がるとターボ分子ポンプへの道がありました。当社は磁気軸受の基礎技術がありましたので、これを借りてきましょう。磁気軸受ターボ分子ポンプの開発です。

さらに進むと、ターボ分子ポンプの弱いところが見えて来ました。水の排気能力が不足しているんです。実は、当社は冷却器の技術がありましたので、これを借りてきましょう。クライオ付きターボ分子ポンプの開発です。

排ガス処理の道へ

先ほどの道を右に曲がると排ガスロードです。

初めは半導体製造用真空システムでは、どんなガスを用いて、どんな反応生成物が出てくるかが全くわかりませんでした。調査から始まります。実はこの調査が後々の大変な財産になりました。正に因果応報、何が幸いするかわかりません。無駄なことは何もありませんでした。

排ガスとしては乾式と湿式を開発しました。この乾式はその後いろいろな道を通じてPFC処理や回収などの道へと進みます。

装置への大曲がり角

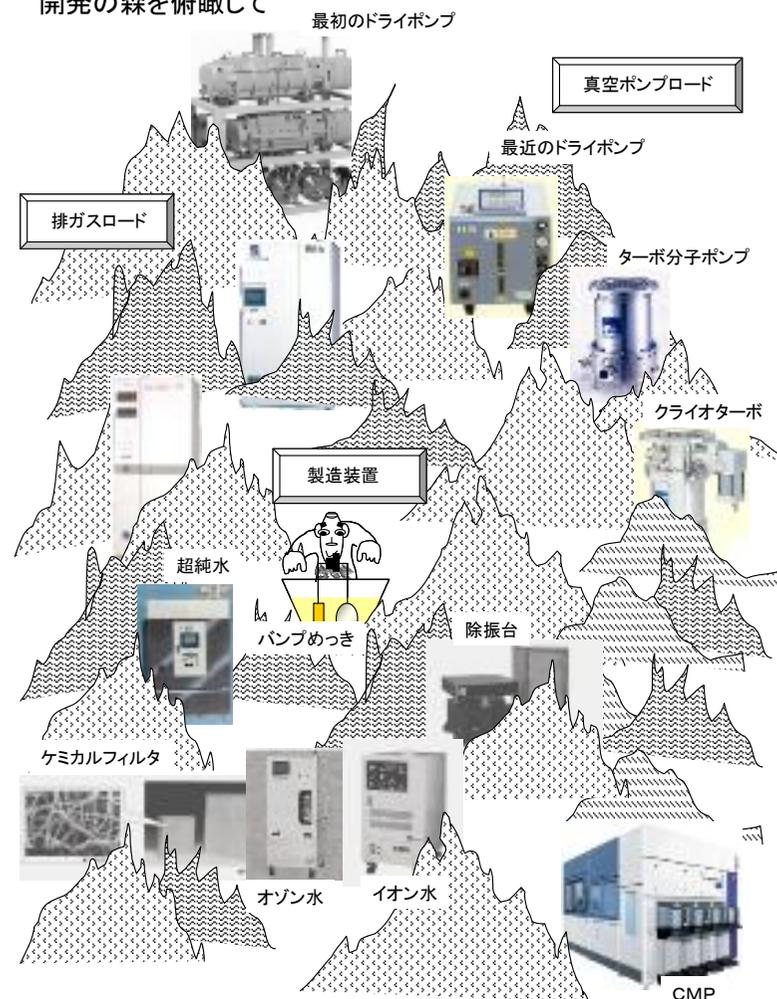
そうこうしているうちに半導体製造装置への曲がり角に来ました。

半導体でもめっきは使います。当社にはめっき技術がありましたので、これを借りてきましょう。半導体/パンプめっき装置の開発です。めっきは汚い・きつい・経験的といういわゆる3K装置です。この汚いものを担当した甲斐がありました。

これだけ汚いものを扱えるなら研磨も大丈夫でしょう。実は半導体製造装置には研磨もあるんです。ということでCMP装置の開発が始まりました。

上記はこの25年のほんの一部の道を紹介したに過ぎません。半導体製造装置の開発の森は本当に入り組んでいます。本書の冒頭で開発は暗中模索と言いました。正にまっくらな森の中を暗中模索。でも後から俯瞰して見ると、開発は因果応報、必ず何かが開発できた後ろには別の努力が潜んでいました。

開発の森を俯瞰して



開発はセレンティビティ

棚からぼたもちとは言いませんが（図1）

私は整理が悪くしゅちゅう物を探しています。先日も年金手帳はどこにあるのかと家中ひっくりかえして探しました。見つかりません。ですが、代わりに見つかったものがたくさん出てきました。へそくりまで見つかりました。

棚からぼたもちとは言いませんが、開発も同じような経験があります。あるものを開発しようと必死になって努力をして、その開発はできなかったのですが、代わりに大変は発見をしたという経験です。

これらあるものを探していて、別の大事なものが見つかる、これをセレンティビティというのだそうです。これは私の師匠に教えて戴いた言葉です。

筆から含浸（図2）

実は含浸めっきもそうでした。

初めは筆めっきのようにスタンプで押せるようなめっきを考えていました。これですと、欲しいところに欲しいだけめっきができますし、ウェーハにシールも要りません。ところが実際にはこのスタンプで押す材料に良いものが見つからなかったの、少し浮かして使いました。表面張力で液が持たないかと思ったわけです。

実際はこの表面張力アイデアもうまく機能しませんでした、この筆部分にポーラス材を用いたことがとんでもない方向に開発が進みます。

前述の‘めたぼ神’の章を読んでくださると理解できますが、シードが薄くなってめっきの均一性が非常に悪くなっていました。ところがこの含浸めっきでは、とてつもなく均一性が良い。何故か？ この筆部分の含浸材がダミー抵抗になっていることがわかりました。もともとダミー抵抗アイデアも考えていたので、まさに都合の良い結果でした。

超純水から機能水へ（図3）

オンサイト型の超純水を開発しました。コンセプトは必要な質の水を必要なだけ供給する、です。この装置はあまり売れませんでした、その頃オゾン水やイオン水などの機能水が欲しいという情報が入りました。ところでこの超純水装置の要素を見ると機能水のほとんどの機能が入っていました。むしろこの超純水装置から不必要な部分を取り除いて、オゾン水装置やイオン水装置を作りました。あつと言う間に開発完了です。

図1 棚から

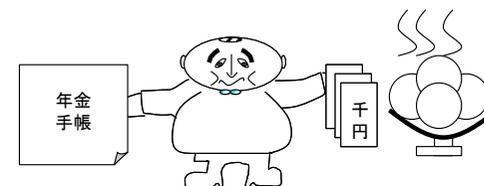


図2 筆から

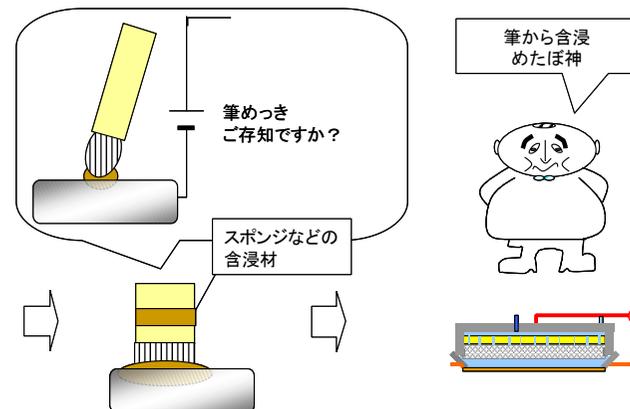
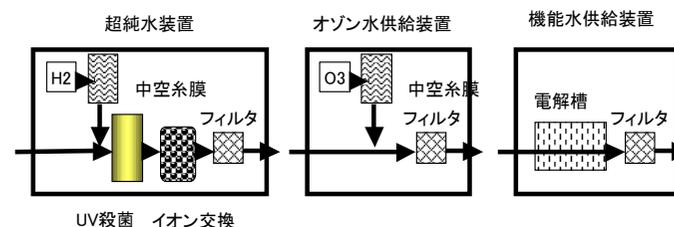


図3 超純水から機能水まで



開発は10年先を見通して

親父の盆栽は（図1）

私の親父は50歳から盆栽を始めました。それまでは盆栽どころか草花にも縁の無い人間でしたが、何を思ったのかいきなり盆栽です。そして先ず買い揃えたものがカメラです。

???

何でカメラなの？

鉢だとか、他の方の作られた盆栽を買うだの、いろいろあると思うのに…

次に炉です。正に鉢を焼く炉です。何を始めるのかと思ったら、先ずは鉢を焼くことから始めました。

そしていよいよ盆栽です。しきりにカメラで自分の植えた木の写真を取っています。素人なんだから自分の始めたばかりの写真を取ったって、とその時は笑って見ていました。

3年後、わずかに3年です。

本を出しました。題して「盆栽に10年は要らない、3年で完成する盆栽」です。

その本を見てびっくり、自分で焼いた鉢に、3年前からの盆栽の成長が克明につづられ、そして写真付きでした。

親父は盆栽を始めたときから、この3年後を見通していたようです。

恐れ入りました。

開発は5年、10年先を見通して（図2）

私は普段偉そうに「開発とは…」などと述べていますが、親父ほどの見通しはありません。いつも後出しじゃんけんです。それでも後から考えると、ある程度感覚的にも見通せていたものもあるのかと自分を納得させています。それを因果応報と考えましたし、途中で道を変えてもセレンティビティと言い換えたのかも知れません。

真空ポンプをドライ式に変えたらガスが筒抜けになってしまったり、めっきを開発しても超純水を開発しても全く売れなかったりしました。でもおかげでガス処理やCMPや機能水などの素晴らしい開発へと進むことができました。

この歳になってもまだまだ反省することばかりです。

でも、いつか親父のように、人から見て「あれ、辻村さんは何故こんなものを用意しているんだろう」と思わせ、3年後に「あれ、辻村さんはこんなことまで考えていたんだ」とうならせるような開発をしたいと、いつも考えています。

図1 初めから計画を

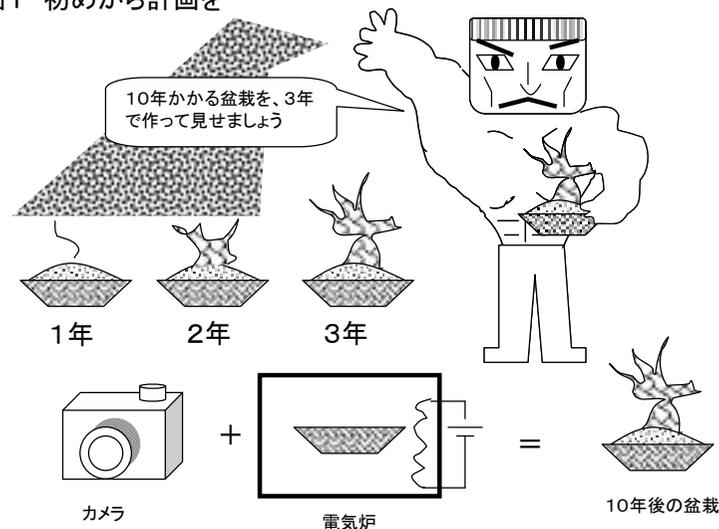
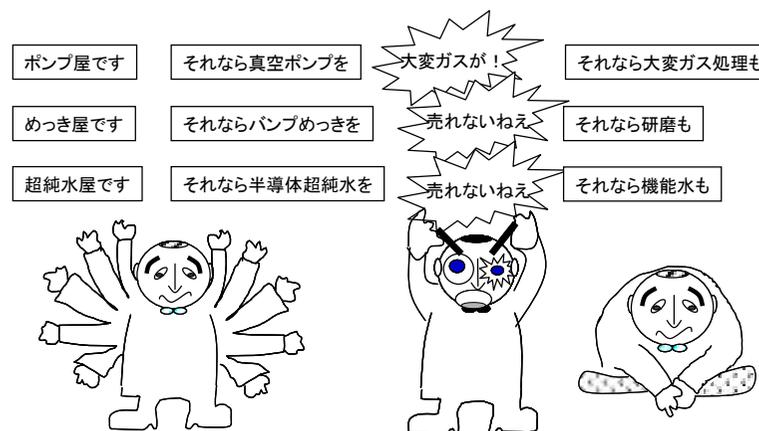


図2 因果応報と開発ルールの4保有技術から



太陽電池はブームですか？

太陽電池が大流行（図1）

最近太陽電池が大流行です。

太陽電池はかなり昔から開発されています。何故今ブーム？

平成20年6月9日、時の首相福田さんから「低炭素社会への転換」と題するスピーチがありました。要約しますと、

- 1 クールアース構想として、CO₂排出量を2050年までに世界全体で半減しよう
 - 2 そのためには革新技術が必須であり、太陽電池はその主要施策の一つです
- またドイツでは太陽電池に対する補助があり、ついでイタリア・スペインでも大流行でした。これらの事情が重なって、太陽電池は半導体、FPDにつぐ第三の電子技術として俄かにクローズアップされました。

でも大丈夫？

太陽電池って？（図2）

太陽電池はpn接合型ダイオードですから、半導体の歴史と全く同じです。発端を1954年ベル研究所のM. B. Prince氏の論文発表とすれば既に50年以上の歴史がある古い技術です。日本では1974年の石油ショック以来開発が進みました。正に現在の石油高時にブームが再燃しているわけです。

太陽電池の詳細は専門書を読んで欲しいのですが、大きく分けますとシリコン系と化合物系があります。シリコン系にはシリコンインゴットから切り出して作るインゴット型と、FPDと同じようにガラス基板にシリコンを成膜して作る薄膜型があります。ポイントは全てコストです。大雑把に言えば現在はKWh当たりの電力単価は約50円です。これを将来は10円以下にしたいと考えています。とにかく太陽電池は発電コストです。

でもブームで補助があるなら、やっても良いですよ。

ブームは、ブームに乗れる人、乗り遅れる人がいるので注意です。

図1 太陽電池でCO₂低減社会を

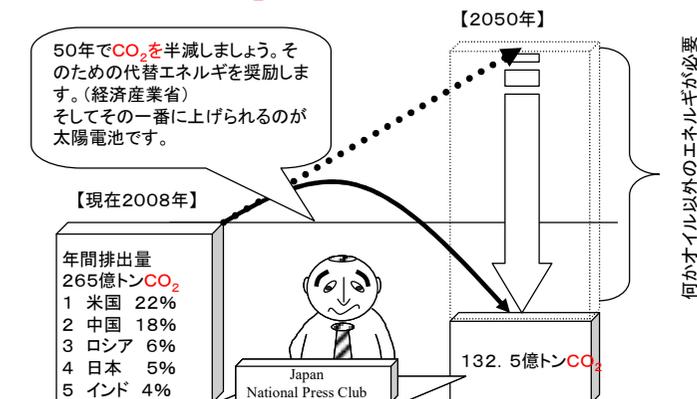
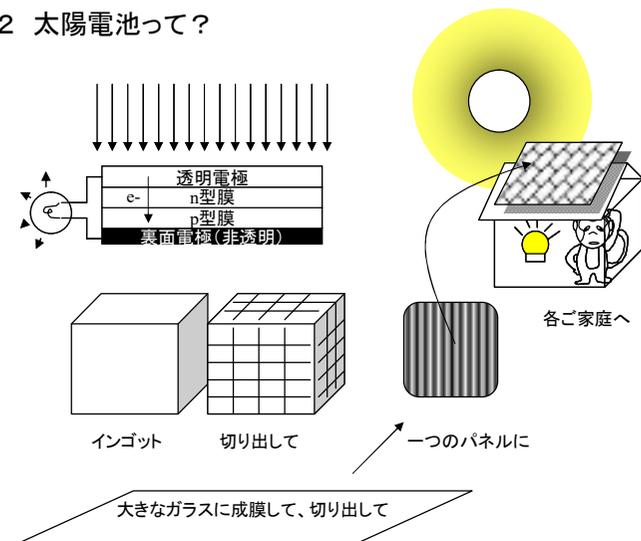


図2 太陽電池って？



IT-FPD-PVの森を俯瞰しよう

開発は暗中模索、まずは全体を俯瞰して見ましようと言いました。太陽電池もブームだ、と言っているだけでは行けません。半導体(IT)とフラットパネル(FPD)そして太陽電池(PV)の全体像を比較してみましょう。

大きさを比較して見よう (図1)

まずは大きさからです。

半導体は150mm、200mm、300mmと大口径化が進み2012年には450mmへと進もうとしています。

でもフラットパネルは？ 既に2000mm以上の基板を使用しています。半導体の450mmなんて並べてみると小さい小さい。

さて、では太陽電池は？ インゴット型では200mm以内の大きさで扱っています。薄膜型ではできるだけフラットパネルに近づけようと努力しています。つまり、太陽電池は半導体並みの大きさのインゴット型と、フラットパネル並みの薄膜型の競争です。どちらが勝つかは全て発電コストです。

もう少し詳しく見てみます？ (図2)

図2を見て下さい。横軸に加工寸法、縦軸に基板の大きさを示してIT-FPD-PVの比較をして見ました。半導体は微細化と大口径化の歴史であり、フラットパネルは基板の薄膜化と大口径化の歴史です。太陽電池はこの半導体やフラットパネルをベンチマークにしてどの位置にいるのでしょうか？ かなり大胆ですが、載せてみました。

半導体の大口径化は450mmが最後の大口径化と言われていますし、微細化は16から11nmが最後と言われています(いろいろな意見がありますが、ここではその議論は忘れて下さい)。

フラットパネルは加工寸法の微細化はあまり必要ではありません。数ミクロン程度です。ただし基板はどんどん大きくなり3000mmに近づこうとしている勢いです。

では太陽電池は？

加工寸法はフラットパネルよりも大きいのに、基板の大きさはインゴット型では半導体基板より、薄膜型ではフラットパネルよりも小さい状況です。よって技術的にはまだまだ進めることができます。ここでも要は発電コストです。発電コストが下がるような進化を進むのでしょうか。

図1 基板の大きさ比べ

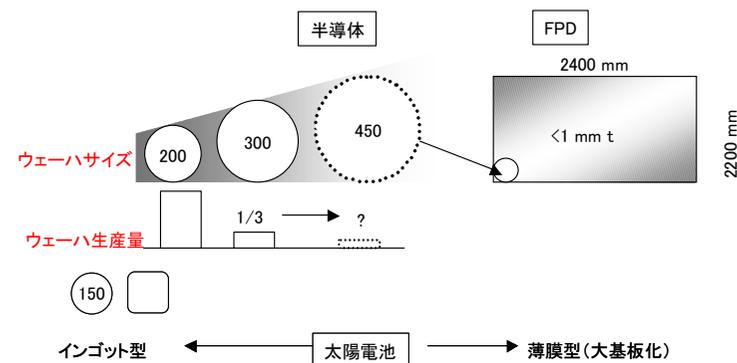
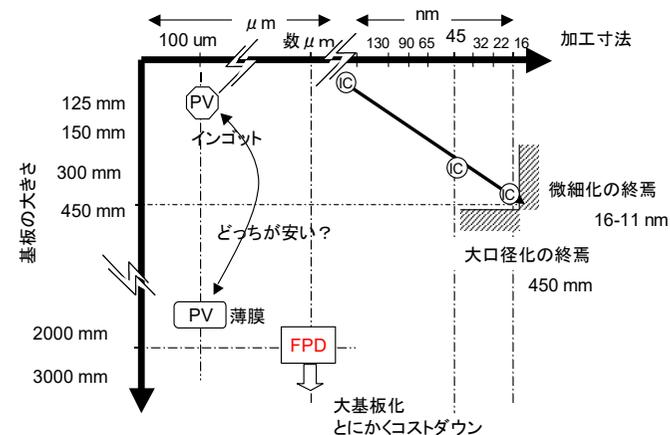


図2 IC-FPD-PVの森俯瞰図



ニューヨーク大停電！

実は太陽電池には良いことばかりではありません。ここ数10年、新エネルギーと称して太陽電池ばかりでなく、風力発電や燃料電池などいろいろな電力が開発かつ使用されています。良いことばかりなのでしょうか？ ちょっと問題も。

ニューヨークの明かりが消えた（図1）

2003年8月14日午後4時10分、ホテルの電気がゆらゆらと不安定になりました。そしてその直後、電気が消えました。

ニューヨーク大停電勃発です。

その後電話も通じなくなり、水道も1時間後には止まりました。

その時ニューヨークにいた私は正に歴史の証人です。

午後6時 ホテル内部はおおわらわ。あたりはまだ明るいのでセントラルパークにはまだ事態を把握していない旅行者が楽しげに歩いています。久美子(妻)がチャイナタウンから歩いて帰ってきました。顔は硬直、事態の大変さをこの時に実感しました。実際私はホテルにいましたのであまり緊迫感が無かったのですが、妻は違います。地下鉄に乗りちょうど地下鉄を降りたところで停電です。地下鉄に乗っていた人は閉じ込められもっと悲惨だったのですが、不幸中の幸いです。それでも帰りはホテルまで3時間かけて歩いてきました。ホテルでは私が心配しているはず？ 急がなければという思いと暴動は起こらないかという不安と共に歩いた3時間はいかかなものだったか？ 経験した者でないとうわからないでしょうね。8月15日朝4時セントラルパーク前のインタコンチネンタルホテルは電力復帰、チャイナタウンに灯が戻るのはその後まだ12時間を要しました。幸いなことに、今回は暴動も無く、NY政治がうまく行っていることを示しました。

原因は分散発電だ（図2）

原因はカナダの発電所が事故による電力供給停止が発端で、これに繋がる東海岸全体の電力ネットワークに連鎖停電を起こしたものと後日わかりました。この時の東京での反応は「何で連鎖停電など起こるのか理解できない」と言うものでした。ニューヨークでは「電力の自由化が悪い！」という意見が多かったと思います。

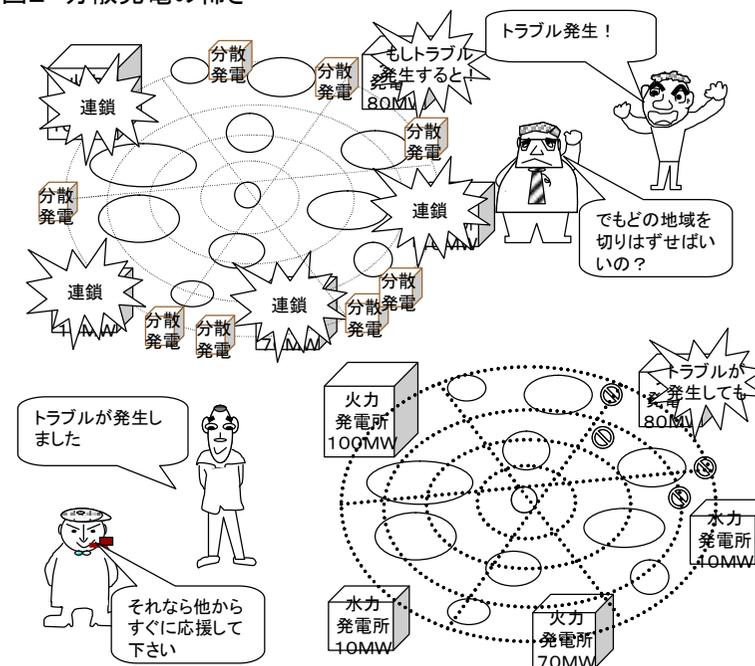
もし太陽電池による発電が売電されるようになると、そしてその量が増えれば同じような問題が発生するかも知れません。

20XX年、東京大停電。その時私は・・・

図1 ニューヨーク大停電



図2 分散発電の怖さ



パラダイムシフト 45μから

TSVってご存知ですか？ Through Silicon Via の略で貫通電極と訳します。前述のPVと共に2008年にハイライトされている評判技術です。現在PV同様にTSVに誰も彼もが群がっていますが、TSVとはどのような技術なのでしょう？ これも開発技術として俯瞰して見ましょう。

パラダイムシフト45から（図1）

前述のパラダイムシフト45を思い出して下さい。半導体デバイス開発が、微細化が45nmで行き止まり、大口径化は45cmで逡巡しているなら今こそ3次元実装だ、と言いました。その3次元実装での問題はウェーハ(チップ)の薄膜化ですが、45μm以下にするのはそう簡単ではありませんよ。と申し上げました。

実装はいろいろな専門用語が飛び交って覚えるのも大変です。図1には本当に代表的なものだけを示しました。

もともとはSOB(System on board)と言って基板の上に各チップを載せていくものです。その後チップの高集積化を目指してSoC(System on chip)というアイデアが出ました。メモリもロジックも一緒にデバイスとして作ってしまおうという究極の高集積化です。ですが、なかなか一緒にならないものもある、ということがわかり次に出てきたのがSiP(System in package)でした。これはメモリやロジックをパッケージの中に組み込んでしまうという妥協案です(すみません、これが本命と言う方もおられます)。

図1にはSiPからSoCと描きましたが、歴史的にはSoCからSiPへやり戻した感じですか。ここまで来るともう実装は何でもありです。CoC(Chip on chip)やPoP(Package on package)といわれても読者はそんなものかと思って下さい。先ずはその程度で構いません。とにかく沢山の用語が氾濫しています。

3次元実装は何でもあり？（図2）

実は3次元実装というのは、今まで2次元の世界で配置していたデバイス構造を3次元にまで広げてしまおうというのですから、どんなことでも可能です。なんの制約も無い新しい陣地で好きなことができます。正に、子供が積み木をやっているという叱られるかも知れませんが、そんなイメージです。

TSVはその3次元実装で、今日一番注目されている技術です。何故か？それを次に述べます。

図1 パラダイムが変化して

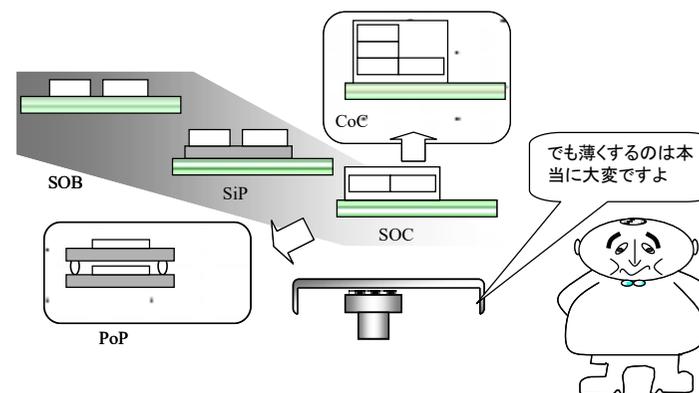
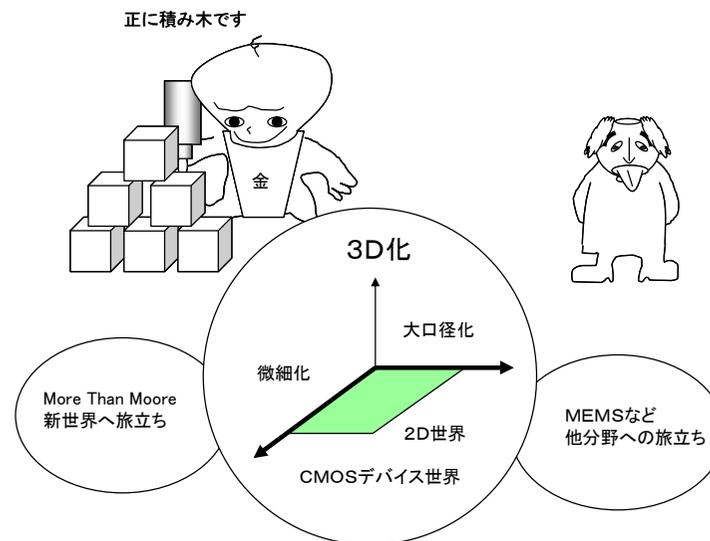


図2 2次元から3次元の世界へ



めっき技術から

めっき技術からのTSV（図1）

それでは次にTSV技術を私の（当社の）保有技術から俯瞰してみたいと思います。図1に示しますように半導体デバイスに用いられているめっき技術は大きく分けて4種類です。

歴史的に言えばまずはデバイスの電極であるバンプめっきです。これは半田や金、そして銅などの材料をめっきして作ります。

次に半導体多層配線の銅めっきです。これはアルミよりも低効率の低い銅をダマシオン技術で作るといふものでした。

さらにこの銅配線の上に蓋をするキャップめっきというものが開発されています。CoWなどを無電解めっきで成膜する技術です。

そして、従来のインターポーザなどで担当していた再配線部分をデバイスの続きとして作る再配線めっきの4つです。

TSVはさらにこの先の第5の用途としてハイライトされてきました。従ってめっき装置そのものはバンプや再配線に近いものとなります。

TSVはスプリンター？（図2）

TSVは現在はCMOSイメージセンサにしか採用されていません。目的はこのセンサの小型化でした。TSVを目的別に分けると①小型化 ②高性能化 ③多様化です。ただしコストは常に付きまといますので注意が必要です。

ワイヤボンド式に比べますと明らかに①小型化していますよね。それと配線長さが圧倒的に短くなりますのでデバイスが高速化されます。

正に痩せてて（小型）素早いスプリンターのようです。

TSVはめっきで埋めて（図3）

参考までにTSV孔をめっきで埋めていく様を図3に示しました。正に20μmの孔に底から埋められていく様は圧巻でしょう？

これがTSV技術です。

図1 いろいろなめっきから

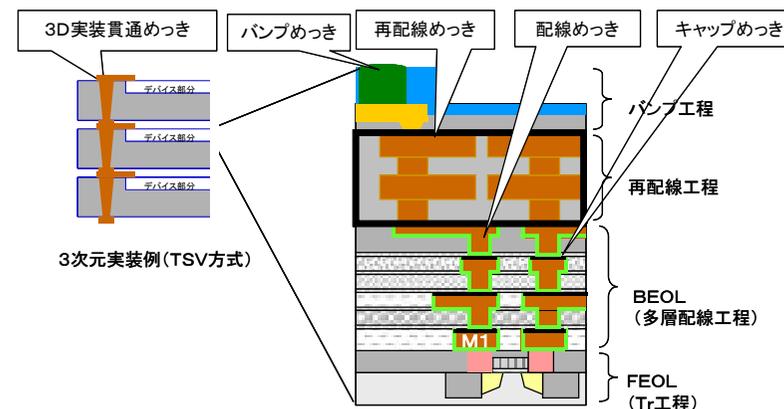


図2 TSVの目的

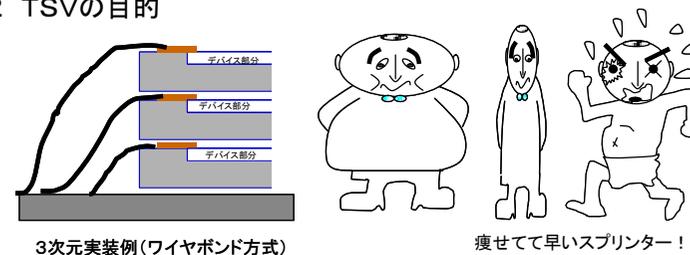
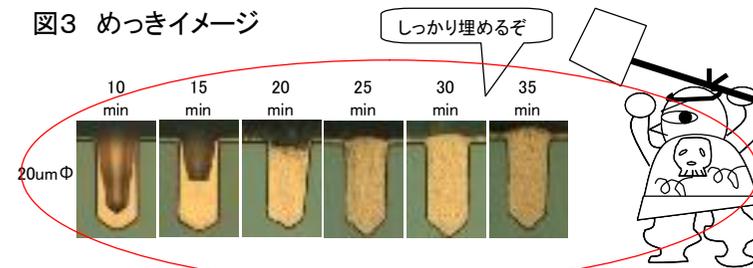


図3 めっきイメージ



MEMSが流行ってます

MEMSの定義から (図1)

MEMSとは(Micro Electro Mechanical Systems)の略称です。その他にマイクロマシンとかマイクロシステムテクノロジーなどの呼び方がありましたが、今日ではMEMSに統一されたようです。さらにナノレベルに関して特別にNEMS (Nano Electro Mechanical Systems)と呼ぶ場合もあるようです。

その応用分野は半導体関連・メカトロ関連・化学プラント・バイオなどいろいろ多岐にわたり、技術は半導体加工技術などの応用が中心です。そして、目的は「小型化—微小化—微細化—極小化」であり、そのサイズがmm、 μm 、nmなどこれも多岐にわたっています。因みに今までのDNAチップから化学プラントなどの寸法イメージを図1に示します。

MEMSはどんな進化を経てきたのかを俯瞰しましょう (図2)

3つの流れがあります。

初めは、シリコンテクノロジーからの進化です。半導体デバイスのロジックやメモリを一つのパッケージに詰め込んだSiPから、一つのデバイスに詰め込むSoC、さらにセンサーやアクチュエータを盛り込んだものがメカトロ(現在のMEMS)です。さらにこれらが μTAS やジーンチップ、加速度センサーやインクジェットなどへと広がってきました。これが最近のSiテクノロジーを基本としたMEMS発展の一例です。

次は、メタルテクノロジー(メカ)を基本とした進化です。マイクロリアクタは正に大規模化学プラントをmmサイズ又は μ サイズまでに微小化した技術です。特にICとの組み合わせは規定していないので、メカトロの分野には入らなかったものと思われます。

最後は、有機化学からの進化です。現在、有機化学メーカもボトムズアップ技術を基本として機能化・小型化技術に進出してきています。

注)半導体で配線を成膜して削るという方法などを上からの形成と定義します。これと比較して、カーボンナノチューブなどの応用で下から配線をはやすような技術をボトムズアップ技術と言います。

図1 応用分野とその寸法

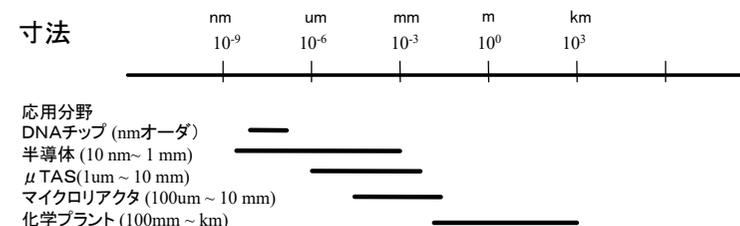
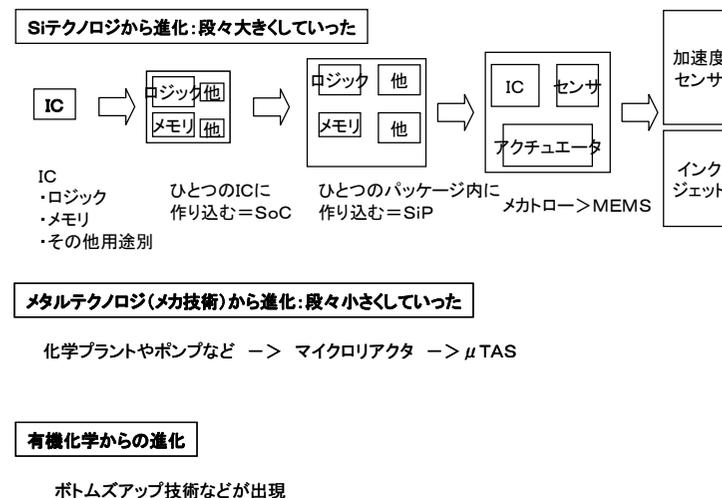


図2 3つの進化の流れ



DNAチップもMEMSから

DNAチップって？

DNAチップ・バイオチップ・ジーンチップなどの言い方がありますが、いずれも同じものです。μTAS (Total Analysis System) やバイオMEMSなどの言葉も近い意味で用いられています。

人間の身体を理解しよう (図1)

人間は約60兆個の細胞からできているんだそうです。たしか、地球人口も60億くらいですよ。その細胞は核と染色体からできていますが、その染色体はDNA (デオキシリボ核酸) という長〜鎖状の化学物質です。そのDNAはリン酸・糖・塩基で構成されていてこの塩基が遺伝子には重要なもので(A) アニデン (T) チミン (G) グアニン (C) シトシンの4種類あります。

このDNAこそが人間の違いを明確にするものであることは最近のニュースでもご存知だと思いますが、実はこの4つの塩基がその鍵です。この4つの塩基の繋がり方を調査すれば人のあらゆる情報がわかります。それを調べるのがDNAチップです。

DNAチップと半導体工場 (図2)

DNAチップにはいろいろなタイプがありますが、半導体技術を使ったものもあります。遺伝子の数は30億個くらいありますが、それと同じレベルの数を扱っているのは半導体だけでしょう。30億とは3ギガです。

先ほどの4つの塩基をうまくウエーハ上に並べていくのですが、その技術は正に半導体のリソグラフィ、成膜、削膜、洗浄技術そのものです。

図2には半導体工場とDNAチップ工場の類似性を示しました。実際にあるDNAチップ会社が半導体の6インチ工場を買って、DNA用に作り変えたという話を聞いたことがあります。半導体は既に12インチ工場が主力ですから、6インチ工場を安く買ったのだと思います。

どうです？

これもMEMS技術をバイオに応用した例ですよ。

図1 DNA・ゲノム・遺伝子

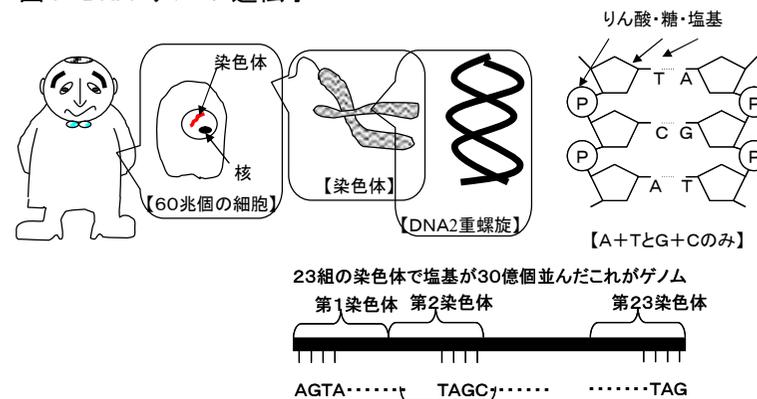
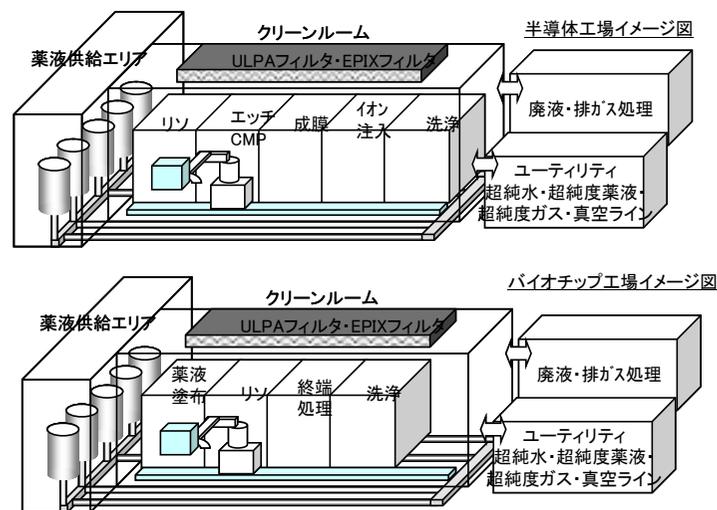


図2 半導体工場とDNAチップ工場の類似性



開発では見通せないこと

情報化社会では (図1)

ネット社会とか情報化社会で世界はどのように変化するのでしょうか？

半導体分野に少しでも拘わっている私は、それを考える権利と義務があります。将来は明るいのか、暗いのか、パラダイスなのか、地獄なのか、いろいろな考えをめぐらせてみました。

まず、情報化社会とはどんな社会なのでしょうか？

ブロードバンド？ Web2.0？ 一般には何のことかわかりません。

「チデジってテレビが映らないことだって」と私の母が言いました。「確かに・・・」

私は一言で言うと、情報の(量)と(スピード)がかつて無いほどに大きくなってきたということだと思います。かつてはおとなしい情報も今後益々扱いにくくなっていくと思います。

何がなんだか分からない情報の嵐の中で、移り気な人が増え、どうしようも無い世の中にすべく、私達半導体分野のエンジニアは邁進しているのでしょうか？

映画を見よう IT/BT/NT(図2)

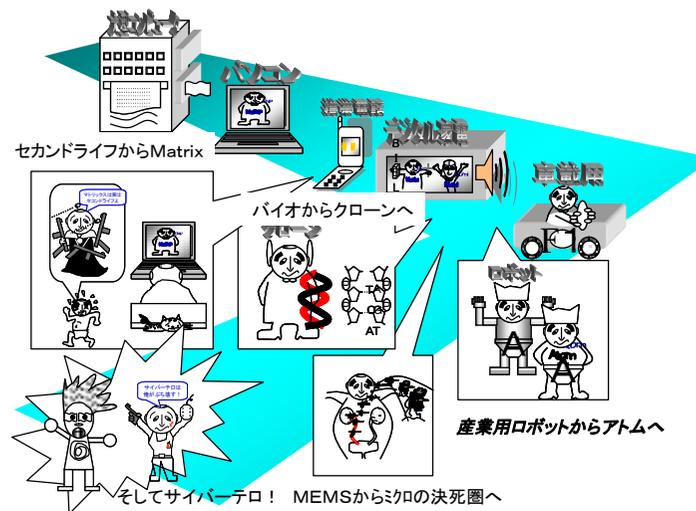
映画では未来のことを扱っていますが、変に当たっていることもあるので驚きです。ここでのお勧めは①鉄腕アトム②ミクロの決死圏③アイランド④マトリックス⑤ダイハードIVです。

- ①(IT技術)鉄腕アトムほど精巧では無いにしても、既にロボット時代に突入します。
- ②(IT+BT+NT技術)ミクロの決死圏では人が人の中に入りましたが、現在ではMEMS監視カメラが人体に入り込みます。
- ③(BT技術)アイランドでは人が培養されていました。ここまでは無理ですが、再生医療はかなり進んでいます。
- ④(IT技術)マトリックス(特に第一回目)で見た世界は、すでにセカンドライフ社が実現させそうです。
- ⑤そして最後はダイハードIVです。このようにIT/BT/NTが融合された高度社会でもしサイバーテロが発生したら？ どんなことになるのでしょうか？

図1 情報が溢れてる



図2 映画を見よう



それでもあなたが地球を救う

5つのルール (図1)

開発は暗中模索、とにかく先ずはドクトリン、そして5つのルールに従いましょう。

JOY 常識を破ろう (図2)

常識を破ろう。でもその常識って何？ JOYと大きな声で叫びましょう。(J)常識(O)を(Y)やぶろう！ね

開発で生き抜く方法教えます (図3)

新入社員の山田君、常識が何か、そしてどうやって常識を破るのか、理解できましたね。全ての会社が、全ての部署が開発力を発揮すれば、あなたもあなたの会社もハッピーです。

開発は教育から (図4)

その開発は教育から生まれます。企業内教育しかり、社外で勉強するのもよし、でももしあなたが開発エンジニアでしたら、学位を取得することを推奨します。きっと世界が変わります。

特許と論文の書き方教えます (図5)

特許は会社のため、論文は社会のためです。シッカリ会社に貢献した後に、社会貢献をしましょう。それがあなたのためにもなります。

5大神現わる (図6)

必要は発明の母、強い欲求は革新技術の父です。5つの開発神が革新技術例を紹介して下さいました。皆さんの参考になりましたでしょうか？

いろいろな開発の森を俯瞰してみよう

ということで、本書もいよいよ最後になりました。

57歳の若輩者が開発とは何かを説くには、少々どころでは無い抵抗はありましたが、大学や企業で紹介する中で、役に立つと評価して下さいました方々も少なからずおられたので思い切って出版して見ました。木を見て森を見ないという毎日ですが「開発の森を俯瞰する」という大変な作業を、本書を通じて私もできました。是非、皆様のお役にもたつこと祈って筆を置きます。ありがとうございました。

図1 5つのルール

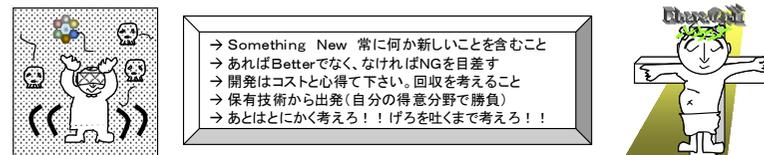


図2 JOY 常識を破ろう

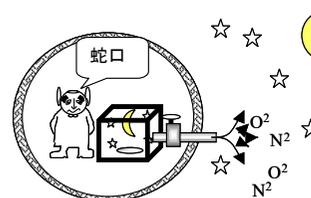


図3 開発で生き抜く方法教えます



図4 開発は教育から

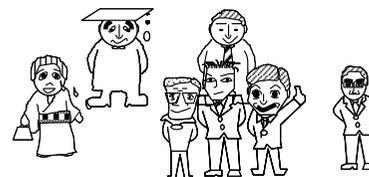


図5 特許と論文の書き方教えます

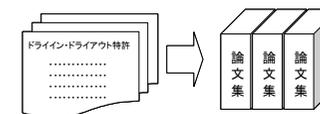


図6 5大神現わる



開発の森の住人から

私は誰かって？

それはさておいて、人間どもは何をやっておるんだろなあ。

先日も毒(ダイオキシン)がもくもく出ている真っ黒な煙を買いに来た人間がおった。

こんなものが役に立つなら、どんどん出せば良いのに、無くそうとしている人間もおる。

わからんの～人間ってヤツは。

えっ、違うって。

地球温暖化対策で二酸化炭素の排出権を買いに来た？

益々わからん。

昔は皆、物と物を交換をしておったもんだ。

それが何時の間にか米と紙っぺら(紙幣)と交換しだした。

と思ったら今度は少し固い紙っぺら(カード)で米でも何でも買えると。

最近じゃあ、地球上を駆け回るブンブン電波(インターネット)で買占めじゃあ。

人間は現在65億人、直ぐに90億人になるはずじゃ。

地球はそれほどの人間を耕す肥やし(食料や資源)は持ち合わせていないよ。

人間にも二種類あるようじゃ。

なんでもかんでも儲けようとする輩と、弱いながらも地球を救おうというもの。

わしは彼らにわしの部下を遣わせた。

5大神よ、かれらエンジニアを助けよ！

このままではわし(地球)はお終いじゃ。

わしの息があるうちに…

こんな夢を見ました。

私達エンジニアの一人一人の力は小さいですが、壊れ行く地球を救うにはやっぱり開発力しか無いと断言できます。科学者とエンジニアが力を合わせて、地球を救う開発をしましょう。私も微力ながら粉骨砕身がんばります。皆さんも一緒にがんばりましょう。

