

第 15 章 故障解析技術タスクフォース

15-1 はじめに

故障解析技術タスクフォース(故障解析TF)は 2003 年 12 月から活動を開始した。2003 年度はロードマップのタタキ台を短期間で作成し、提示した。2004 年度は故障解析TFの基盤固めを目的として、各種テーマによる議論を行うとともに、相互のベンチマークの基礎となる情報を得るためのアンケート調査を実施した。昨年度の報告では故障解析TFで扱う範囲や基本的故障解析技術の内容についても報告したので、本報告ではそのような基礎的な事項については、割愛する。必要に応じて昨年度の報告書も参照されたい。

15-2 議論した内容の概要

議論内容は多岐にわたる。以下、議論した順に列挙する。()内は講演者または話題提供者である。

- ・ SiP(System in Package)の故障解析ケーススタディ (恒松浩治:ソニー)
- ・ 光を使った動作状態解析 (平井伸幸:浜ホト)
- ・ ソフト利用故障診断の現状 (佐藤康夫:STARC)
- ・ 物理化学解析の現状と今後 (益子洋治:ルネサス)
- ・ 電子線ホログラフィーによるシリコン内極微量ドーパントプロファイルの解析
(平山 司:ファインセラミックスセンター)
- ・ アトムプローブの現状と LSI 故障解析への適用の可能性
(大久保忠勝:物質材研)
- ・ FIB(Focused Ion Beam)によるアトムプローブ用試料作製
(皆藤 孝:SII ナノテクノロジー)
- ・ 最近の解析技術紹介:学会、セミナー、技術資料等からの調査
(益子洋治:ルネサス)
- ・ 「LSI動作解析研究会(電子情報通信学会)」の活動状況と発表された特筆すべき技術について
(中島 蕃:ヴァン・パートナーズ)
- ・ 応力の観測と応用 (高口雅成:日立製作所)
- ・ 最新の分析技術への取り組み (橋本秀樹:東レリサーチセンター)

後で報告するアンケート結果の「今後注目する技術」(図表 15-11)と見比べてみると、まだまだ議論の範囲が不十分であることが分かる。すなわち、そこであがった 8 項目の技術のうち、主テーマとして議論されたのは電子線ホログラフィーとアトムプローブの 2 項目の技術だけである。来年度は不足したところを補っていく予定である。

15-3 アンケート結果概要

故障解析技術の各社の現状というものは普段なかなか表にでてこない。学会などで報告されるのは成功例のみであり、そこから日本の故障解析技術の全体像を掴むことはできない。今回のアンケートでは、各社が現状を出しやすく、また各企業がベンチマーク可能なように、以下のような方法をとった。

- ① ブラインドアンケート:どの企業がどの回答をしたかは分からない。
- ② Web 上で回答:回答が容易。
- ③ 統計データのみ開示:自企業の位置付けは分かる。

アンケート対象は、半導体製造会社 11 社で、故障解析TFの委員が窓口となり、自社内で調査した結果を回答した。なお、アンケートは 2 回にわたり行い、1 回目では不備のあった項目を 2 回目では補足・修正した。

アンケート項目は 129 項目 (小分類まで入れると 300 項目以上) にのぼる。その中から抜粋して、組織、技術といった側面から順にみていく。

15-3-1 組織に関連したアンケート項目

組織に関する質問の項目は以下に列挙する46項目である。

[1] 組織体制・投資

- (a) 組織体制: Q1~5
- (b) 組織規模: Q6
- (c) 設備投資: Q7~9
- (d) 人の投資: Q10~13
- (e) ソフトウェア解析開発: Q14~16
- (f) 技術開発全般: Q17~20
- (g) 主たる解析部門技術者の経験年数: Q21
- (h) 技術者の経験(主たる解析部門が対象): Q22~27
- (i) 外部機関への解析委託: Q28~31
- (j) 受託解析: Q32
- (k) ベンチマーク(他社品解析): Q33
- (l) ファンドリ関連: Q34~36
- (m) 会社として故障解析遂行上の重点: Q37

[2] 組織運用(主たる解析部門が対象)

- (a) 勤務体制: Q38
- (b) 業務分担(研究開発専任者を除く): Q39~43
- (c) 技術者育成: Q44~45
- (d) 解析費用: Q46

Q1	主たる解析部隊組織規模 (除: 回路動作検証機能のみ) (1つのみチェック)			
	回答不可		0	0%
	事業本部相当の独立解析部門		0	0%
	事業部相当の独立解析部門		1	9.1%
	部相当の独立解析部門		2	18.2%
	課相当の独立解析部門		2	18.2%
主たる解析部隊組織規模(除: 回路動作検証機能のみ)	事業本部レベル組織に所属する1部隊		1	9.1%
	事業部レベル組織に所属する1部隊		1	9.1%
	部レベル組織に所属する1部隊		1	9.1%
	課レベル組織に所属する1部隊		3	27.3%
	その他		0	0%
		合計		11

図表 15-1 主たる解析部隊の組織の規模・位置付け

この中で、まず主たる解析部隊の組織の規模・位置付けを聞いたのがQ1である。結果を図表 15-1 に示す。大は事業部相当の独立組織や事業本部レベルに属するものから小は課レベル組織に属するものまで多岐にわたっていることが分かる。規模を解析専任者の人数で聞いたのが、Q10である。その結果を図表 15-2 に示す。専任者がいないところから 50 名以上いるところまで多岐にわたっている。

Q10 主たる解析部門での、解析専任者の数は何人？ (1つのみチェック)				
解析部門の解析専任者人数	回答不可		2 18.2%	
	専任者は存在しない		1 9.1%	
	5人未満		0 0%	
	5人～10人未満		0 0%	
	10人～20人未満		4 36.4%	
	20人～30人未満		2 18.2%	
	30人～50人未満		1 9.1%	
	50人～80人未満		1 9.1%	
	80人～120人未満		0 0%	
	120人～170人未満		0 0%	
	170人～230人未満		0 0%	
	230人以上		0 0%	
	合計		11	

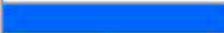
図表 15-2 主たる解析部隊の解析専任者の人数

主たる解析部隊の所属部門を聞くことで、性格あるいは目的を聞く結果となったのが図表 15-3 である。品質保証部門に属する部隊がもっとも多く 4 件で、プロセス技術部門とデバイス技術部門に属する部隊が各 2 件、設計技術部門に属する部署が 1 件であった。テスト技術部門に属する部隊が 1 件もなかった。

Q2 主たる解析部隊の所属部門 (独立部門は上位部門) (1つのみチェック)				
主たる解析部隊の所属部門 (独立部門は上位部門)	回答不可		0 0%	
	全社直属		0 0%	
	事業本部		1 9.1%	
	事業部		1 9.1%	
	製造部門		0 0%	
	設計技術部門		1 9.1%	
	プロセス技術部門		2 18.2%	
	デバイス技術部門		2 18.2%	
	テスト技術部門		0 0%	
	品質保証部門		4 36.4%	
	研究所		0 0%	
	その他		0 0%	
	合計		11	

図表 15-3 主たる解析部門の所属部門

性格あるいは目的を別の側面から聞いた結果が図表 15-4 である。すなわち、不良品を対象とするのか、故障品を対象とするかを聞いた。結果は1社のみ、不良品のみを主な対象としているが、他の 10 社は両方に重点を置いていることが分かった。

Q111 主な解析部門／部隊(各社で解析技術の核をなす部門)の主な解析領域はどこですか。				
主な解析部門の主な解析領域	(A)主はウェーハプロセス段階での不良品の解析のみ		1	9.1%
	(B)主は製品の信頼性試験や実使用で発生する故障品の解析のみ		0	0%
	(A)と(B)の両方の解析		7	63.6%
	(A)と(B)の解析は別々の組織で技術の核をなしている		3	27.3%
	その他		0	0%
合計			11	

図表 15-4 対象は不良品か故障品か？

では、開発と運用はどのように分けているのであろうか。まず、物理的配置である。図表 15-5 にみるように、開発拠点を一箇所に集中している企業は半数近いが、運用拠点を一箇所に集中しているところは一社だけである。

Q3 解析技術の開発／運用の物理的拠点配置 (1つのみチェック)				
解析技術の開発／運用の物理的拠点配置	回答不可		0	0%
	開発・運用ともに1拠点集中		0	0%
	ほぼ開発・運用ともに1拠点集中		0	0%
	開発…1拠点集中、運用…部隊各拠点分散		5	45.5%
	開発・運用ともに各拠点分散		4	36.4%
	開発なしの運用1拠点集中		1	9.1%
	開発なしの運用各拠点分散		1	9.1%
	その他		0	0%
合計			11	

図表 15-5 開発・運用部隊の物理的拠点配置

開発と運用の人員配分でみたのが、図表 15-6 である。開発専任人員がいない企業が過半数を占めるが、開発専任人員の割合4割が1社、3割が1社、2割が2社である。

では、運用面で、どの程度の数解析しているかをみたのが図表 15-7 である。総件数と一人当たりの処理件数を聞いた。総件数は企業の規模を反映してか二桁近いバラツキがある。一人当たり件数でも一桁のバラツキがある。この項目は、1件のカウントの仕方に企業間で統一性がない。今後改善していく必要がある項目のひとつである。

次に、少し観点を变えて、主たる解析部隊に限らず、また解析専任者に限らず兼任(50%以上)の人まで含めて、絶対数ではなく、半導体事業の全従業員に対する比率で聞いてみたのが Q11 である。図表 15-8 にその結果を示す。0.2%以下から5%以上と、これも多岐にわたっている。

このようにみていくと、各社、故障解析に対する姿勢が大きく異なることが分かってくる。ここでの紹介はこの程度に止める。詳細はワークショップのハンドアウト資料(pp.4F.1-26,2005/3/4)や各社の委員の手持ち資料をご覧ください。

Q5 主となる解析部門での、解析技術開発部隊と運用部隊との人数割合は？ (1つのみチェック)					
開発:運用の割合	回答不可		1	9.1%	
	開発と運用、明確には分離していない		4	36.4%	
	技術開発部隊(人)は存在しない		2	18.2%	
	開発1:運用9		0	0%	
	開発2:運用8		2	18.2%	
	開発3:運用7		1	9.1%	
	開発4:運用6		1	9.1%	
	開発5:運用5		0	0%	
	開発部門(者)半数以上		0	0%	
	その他		0	0%	
	合計			11	

図表 15-6 解析部隊と運用部隊の人数割合

Q6 主となる解析部門の年間解析処理件数(2003年度実績) <件名、依頼ベース等でのカウント> (総件数および一人当たりの件数、各々1つのみチェック)				
総件数	10件以下		0	0%
	10~20		0	0%
	20~50		0	0%
	50~100		1	9.1%
	100~200		1	9.1%
	200~500		2	18.2%
	500~1000		1	9.1%
	1000~2000		3	27.3%
	2000~5000		3	27.3%
	5000件以上		0	0%
一人当たりの件数	10件以下		0	0%
	10~20		0	0%
	20~50		5	45.5%
	50~100		2	18.2%
	100~200		3	27.3%
	200~500		1	9.1%
	500~1000		0	0%
	1000~2000		0	0%
	2000~5000		0	0%
	5000件以上		0	0%
合計			22	

図表 15-7 主たる解析部門での年間処理件数

半導体事業 全従業員数に対する解析業務従事者(専任と兼任)の割合 (1つのみ)			
Q11 チェック者	(注)兼任者の定義:50%以上の従事者		
解析業務従事者(専任と兼任)の割合	0.1%未満		0 0%
	0.1~0.2%		2 18.2%
	0.2~0.5%		1 9.1%
	0.5~1%		2 18.2%
	1~2%		2 18.2%
	2~5%		1 9.1%
	5~10%		1 9.1%
	10~20%		0 0%
	20%以上		0 0%
	回答不可		2 18.2%
	合計		11

図表 15-8 半導体関連全従業員に対する故障解析従事者の割合

15-3-2 技術に関連したアンケート項目

技術に関する質問の項目は以下に列挙する 65 項目である。

[3] 技術

- (a) 装置:Q47~66
- (b) 解析時間:Q67~69
- (c) Design for Analysis:Q70~73
- (d) 解析成功率:Q74~80
- (e) 解析難易度:Q81~83
- (f) 解析データのシステム化、ネットワーク化:Q84~88
- (g) 解析対象品の内訳:Q89~90
- (h) 設計情報利用:Q91~92
- (i) 試料形態など:Q93~97
- (j) 新解析手法利用の有無:Q98~100
- (k) ソフトウェア解析:Q101~105
- (l) その他:Q106~111

ここでも数項目みるにとどめる。詳細はワークショップのハンドアウト資料(pp.4F.1-26,2005/3/4)や各社の委員の手持ち資料をご覧いただきたい。

よく使われている故障解析技術・装置と今後注目すべき技術・装置について聞いてみた。よく使われている故障解析技術・装置として、まずはソフトによる絞込みをどの程度実施しているかを聞いた(Q60)結果が図表 15-9 である。実施していないところから 50%も実施しているところまで多岐にわたる。過半数は 10%~30%の間である。

Q60 故障箇所の絞込みに絞込みソフト(故障診断のみ。メモリのFail Bit Mapは除く)を使用する割合は？ (1つのみチェック)				
絞込みソフトを使用する割合(故障診断のみ)	回答不可		2	18.2%
	0%		2	18.2%
	10%		2	18.2%
	20%		1	9.1%
	30%		3	27.3%
	40%		0	0%
	50%		1	9.1%
	60%		0	0%
	70%		0	0%
	80%		0	0%
	90%		0	0%
	100%		0	0%
	合計			11

図表 15-9 ソフトによる絞込み実施の割合

次に、物理的現象を利用した絞込みと物理化学解析を含めた故障解析装置の稼働率で聞いた(Q64)結果が図表 15-10 である。絞込みではテスト、エミッション顕微鏡、OBIRCH(Optical Beam Induced Resistance CHange)、物理化学解析では FIB、SEM(Scanning Electron Microscope)、TEM(Transmission Electron Microscope)/STEM(Scanning-TEM)の稼働率が高い。

Q64 稼働率が高い装置 (3つまでチェック可) (注)装置は故障解析装置で対象は全社(連結)				
稼働率が高い装置	回答不可		1	9.1%
	テスト		4	36.4%
	EBテスト		1	9.1%
	LVP		0	0%
	エミッション		3	27.3%
	OBIRCH		2	18.2%
	TRE		0	0%
	FIB		7	63.6%
	SEM		7	63.6%
	微小領域プロービング装置		0	0%
	TEM/STEM		3	27.3%
	SIMS		1	9.1%
	Auger		1	9.1%
	ラマン		0	0%
	SCM/SSRM		0	0%
	その他		0	0%
	合計			30

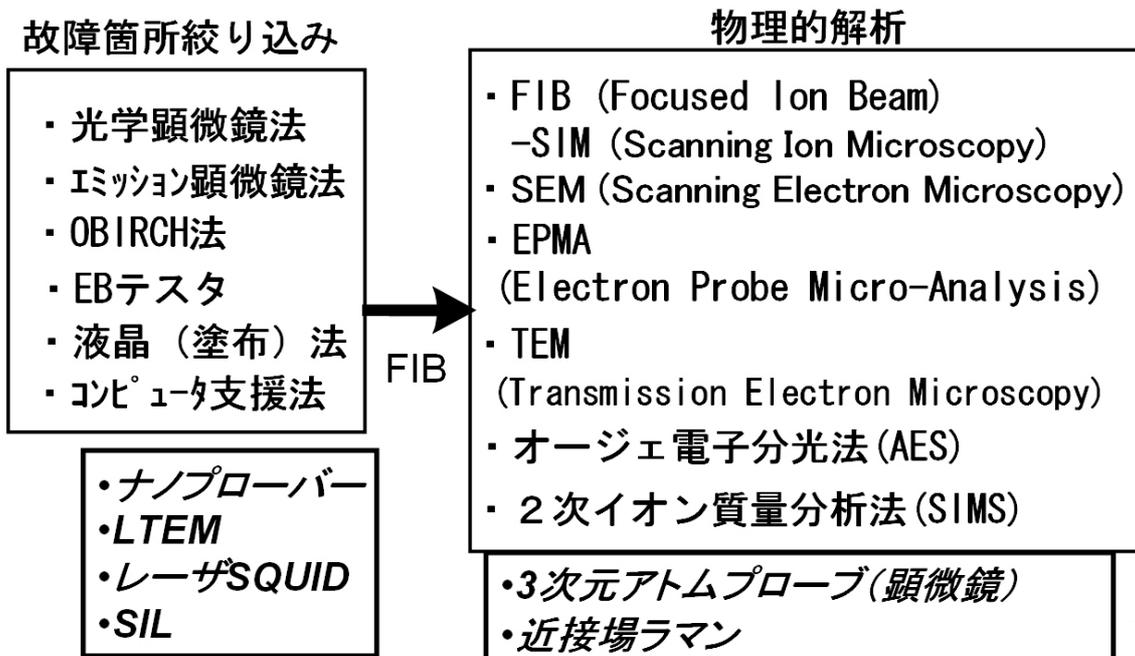
図表 15-10 稼働率の高い装置

将来に向けた技術では何が注目されているかを聞いた(Q20)結果が図表 15-11 である。ナノプローバ(微小領域プロービング装置)が最も注目を集めている。これはすでに実用段階に入っている。2 番目に注目の多い LTEM(Laser Terahertz Emission Microscope、レーザテラヘルツエミッション顕微鏡)はまだ開発初期の段階である。3 番目に多いアトムプローブ顕微鏡は金属が対象の場合は研究ツールとして盛んに利用されているが、故障解析技術への応用となるとまだ課題が多い。4 番～6 番の技術の内、レーザ SQUID (Scanning Laser-SQUID Microscope、走査型レーザ SQUID 顕微鏡)と近接場ラマンはまだ開発途上であるが、SIL (Solid Immersion Lens、固浸レンズ)は実用化がはじまっている。おおまかな内容を示すために、その位置付けを図表 15-12と図表 15-13 に示す。図表 15-12 は故障解析手順の中での位置付けである。4 つの技術が絞

込み技術であり、2つの技術が物理化学解析技術である。4つの絞込み技術の位置付けをより具体的に示したのが図表 15-13 である。図表 15-13 では表から観測するのか裏から観測するのか、裏面や表面に接触して用いるか、というおおまかな観点から見ていただければよい。技術的内容の説明はここでは割愛するが、ワークショップのハンドアウト資料(pp.4F.1-26,2005/3/4)には簡単な説明を記載したので、興味のある方はご覧いただきたい。

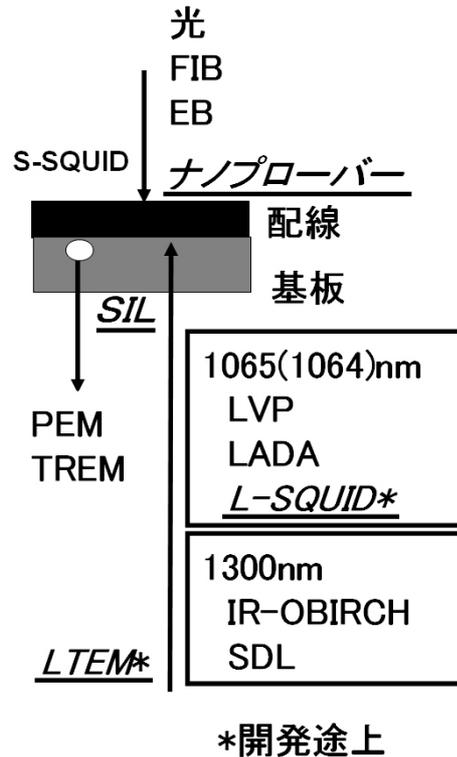
Q20 今後注目する技術 (複数チェック可)				
今後注目する技術	回答不可		0 0%	
	レーザSQUID		3 27.3%	
	LTEM		5 45.5%	
	SIL		3 27.3%	
	電子線ホログラフィ		2 18.2%	
	アトムプローブ顕微鏡		4 36.4%	
	EBSP		2 18.2%	
	近接場ラマン		3 27.3%	
	ナノプローバ		7 63.6%	
	その他		1 9.1%	
	合計		30	

図表 15-11 今後注目する技術



図表 15-12 今後注目する技術の故障解析手順の中での位置付け

- S-SQUID: Scanning SQUID Microscope
走査SQUID顕微鏡
SQUID:超伝導量子干渉素子、
Superconducting Quantum Interference Device
- PEM: Photo Emission Microscope
エミッション顕微鏡
- TREM: Time Resolved Emission Microscope
時間分解エミッション顕微鏡
- LTEM: Laser Terahertz Emission Microscope
- LVP: Laser voltage Probing
- LADA: Laser Assisted Device Alteration
- L-SQUID: Scanning Laser-SQUID Microscope
走査型レーザSQUID顕微鏡
- IR-OBIRCH: Infrared-OBIRCH
OBIRCH: Optical Beam Induced Resistance Change
- SDL: Soft Defect Localization
- SIL: Solid Immersion Lens



図表 15-13 物理現象を利用した故障絞込み技術の中での注目 4 技術の位置付け

最後に、微細化や多層化の進展が故障解析時間や故障原因解明率にどの程度影響をおよぼしているかを見る。ここではロジック領域についてだけみるが、メモリ領域に関してもアンケートを行っている。その結果の詳細はワークショップのハンドアウト資料(pp.4F.1-26,2005/3/4)や各社の委員の手持ち資料をご覧いただきたい。

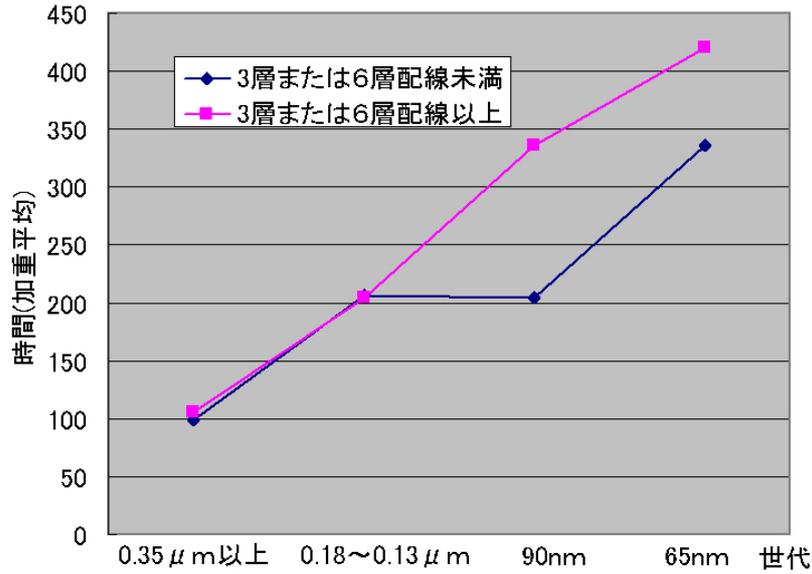
故障解析時間は図表 15-14 にみるように、世代が進むとともに大幅に増加している。配線層数(0.35 μ mは3層を、それ以外は6層を境に層別)は古い世代では影響がないが新しい世代では影響が出てくるのが分かる(有効回答数は、古い世代から順に、少層分で、9、9、3、2 件、多層分で、9、8、4、2 件)。故障原因解明率は図表 15-15 にみるように、世代が進むとともに少しずつ下がっている(65nm は有効回答数が 1 件なので傾向とはみない。有効回答数は、古い世代から順に、少層分で、9,9,4,1 件、多層分で、8,8,5,1 件)。

15-3-3 アンケート結果まとめ

ここでは述べなかったことも含めて、アンケートの結果をまとめると次のようになる。

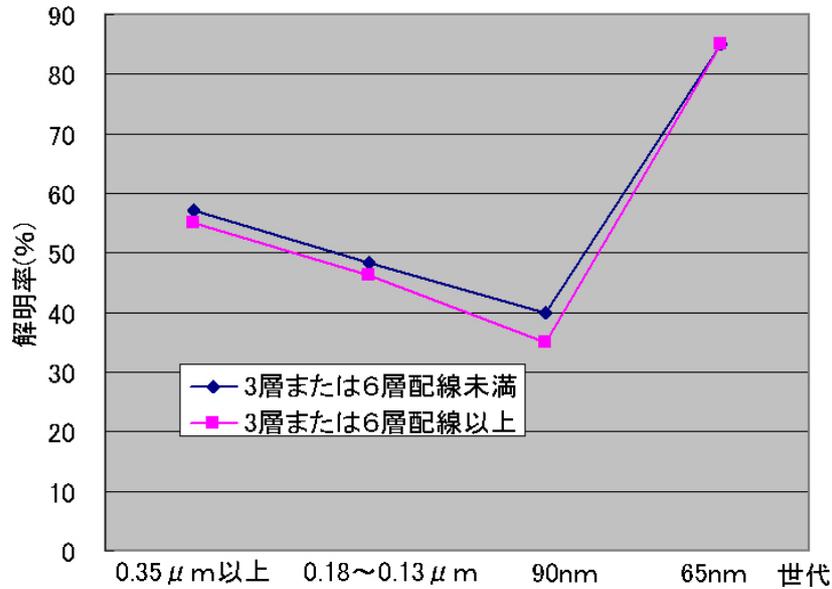
- ・ 主たる解析部隊の規模・解析目的などは企業間で大きく異なる
- ・ 故障解析への投資は設備・人ともハード偏重
- ・ 今後の注目技術のベスト 6 は 3 社以上が注目
- ・ 故障原因解明率
 - 微細化、配線の多層化に伴い、特にロジック部分で、解析時間が長期化し解明率が低下する傾向がある。
 - 先端品での故障原因解明率の企業間格差は 10%未満から 80%以上と大きい

ロジック領域1件当たりの解析時間(Q68)



図表 15-14 ロジック領域 1 件当たりの解析時間 (加重平均)

ロジック領域故障原因解明率(Q80)



図表 15-15 ロジック領域故障原因解明率 (加重平均)

15-4 まとめと今後の課題

今年度の活動は、故障解析TFの基盤固めを行うために、全体的な議論は光利用絞込み、診断(ソフト絞込み)、物理化学解析などに関して行い、動向調査は全般的に行うとともに動作解析研究会(電子情報通信学会)などからも行った。また、個々のテーマについての議論は電子線ホログラフィー、アトムプローブ、応力測定、SiP などについて行った。また、日本全体の状況把握のためと各社のベンチマーク基礎資料とするためのアンケートも実施した。来年度は、故障解析 TF の基盤固めのための議論を継続するとともに、ロードマップ(2003 年度作成)の見直しを行う予定である。

