

# ビジョン研究会報告書

2007年3月31日

技術研究組合 超先端電子技術研究開発機構(ASET)  
ビジョン研究会

## 目次

	ページ
はじめに	2
第1章 半導体産業の発展と ASET の設立経緯	
1.1 半導体産業の発展と市場の変化	3
1.2 海外のコンソーシアム	8
1.3 日本のコンソーシアム活動と ASET 設立の経緯	8
第2章 ASET を取り巻く環境の変化	
2.1 半導体業界における事業環境の変化	10
2.2 技術環境と技術革新の変化	11
第3章 ASET が進むべき方向	
3.1 イノベーションを通じた日本エレクトロニクス産業への寄与: チャレンジする ASET	13
3.2 「超先端電子技術」の研究開発	20
3.3 デバイスメーカーと装置メーカー、材料メーカーとの連携	20
3.4 デバイスメーカーとユーザ・システムメーカーとの連携	21
3.5 世界標準・デファクトスタンダードに結びつく研究開発の提案	21
3.6 大学、独立行政法人研究所等アカデミアとの連携強化	22
3.7 システムを取り込んだ開発重視: ハード、ソフトの一体化	22
3.8 地球環境問題の解決、及び新規産業の創出	23
むすび	24
委員名簿	25
付録 ASET の成果〔別冊〕	

## はじめに

近い将来、人類にとって嘗て経験したことの無いほど個人の生活をより快適で豊かにするネットワーク社会が到来すると考えられる。その社会では、高度な電子デバイスが家電製品、携帯電話、デジタルカメラ、ゲーム、車などの民生製品や医療機器、産業機器の中に組み込まれると共に、情報の処理、伝送等の機能を実現するサーバ、情報通信機器を通じてネットワークに接続され、社会システムを形成する。言い換えれば、電子デバイスは社会の頭脳、神経として、インターネット、情報処理などを通じて情報や意思の伝達を担い、金融や物流において取引・決済を支え、社会の安全を支え、個人の家庭・生活、環境、交通も支える。即ちそれは国家の全産業を支えると同時に、その波及効果も含めると社会における重要性はきわめて高い。このような電子デバイスの中で、頭脳、神経に相当する部分を半導体、光・無線通信網が担当し、大容量の記憶に相当する部分を磁気・光ディスクが担当している。また、人とのインターフェースに相当する部分をディスプレイ、センサ等が担当している。

技術研究組合 超先端電子技術開発機構（Association of Super-Advanced Electronics Technologies : ASET）が1996年に設立されて以来、11年が経過した。この間、ASETは半導体から磁気記録、液晶まで、電子デバイスを中心とした幅広い分野に亘り多数の成果を上げてきた。ASETを含めあらゆる組織は、10年も経過すれば組織を取り巻く環境が変化するため自ら変革することが求められる。そこで、昨年11月に組合員及びユーザ産業界幹部有志、並びに学識経験者をメンバーとする「ビジョン研究会」を組織し、以下の2点をミッションとして精力的(親委員会3回、ワーキンググループ5回開催)に検討を行った。

- ① ASETがこれまで開発してきたデバイス・プロセスや製造装置の成果について、その経済的波及効果も含めて一般の人々にわかりやすいパンフレットを作成すること。
- ② 日本の産業の競争力強化に寄与するASETを目指して、その存在意義にまで立ち返り、ASETの今後の研究開発の方向を定め、近い将来に取り上げるべき研究開発テーマを発掘すること。

本報告書はこのビジョン研究会の活動をまとめたものであり、最近の半導体産業を取り巻く環境変化を踏まえ、課題を明確化するために作成したものである。

最近、国家プロジェクトに対して「その成果をもっと広く国民に知らせるべきだ」との批判があり、①については個々のプロジェクトの経済的波及効果も含めて最大限ビジュアル化に努めたつもりである。読者各位のご批判を仰ぎたい。

また、②に関しては、ASETの今後の新規研究開発テーマについて多くのご提案をいただき、ASET事業に組み込むことが可能かどうかを審議した。今後、さらに詳細な研究課題摘出が必要なものについては参加の意思を表明された企業から委員を選出していただき、ワーキンググループ等を通して具体化し、ASETの今後の事業テーマに育成していただきたいと思います。

2007年3月

委員長 高橋 栄

# 第1章 半導体産業の発展と ASET の設立経緯

## 1.1 半導体産業の発展と市場の変化

半導体産業の原点は1947年、ベル研究所のショックレーによるトランジスタの発明と1958年のテキサスインスツルメンツ(TI)のキルビー、および1959年のフェアチャイルドのノイスによる集積回路(IC)の発明である。1960年代には、現在、主流になっているCMOSがRCAで発明された。これらの初期の発明、開発は殆ど米国企業によっており、米国が1980年代初頭まで圧倒的な技術力、生産力を持っていた。

1980年代前半、日本の半導体メーカは、とくにDRAMを中心とした半導体LSIの分野で飛躍的発展を遂げた。図1に示したように、日本の半導体売上高シェアは1986年に米国を抜き、1988年にはピークに到達した。半導体産業においては生産技術の重要性が他の産業分野に比較して極めて大きく、生産技術が米国では軽視されていたが、日本では重視され、生産技術が飛躍的に進歩したのが大きな要因であった。そして、現場の生産技術改善を実現するために、装置・材料産業に対して開発ニーズが開示され、それに装置・材料産業が応えた成果が実り始めたこともその要因であった。また、日本では、垂直統合型の企業が多く、装置、材料、生産技術がインテグレートされて開発されたこと、米国企業に比較して投資力が高かったこと、半導体部門と半導体の応用部門である家庭電器部門、或いは、メインフレームコンピュータ部門、通信機器部門が社内存在し、ニーズに基づいた応用向けLSIやメモリ、マイクロコントローラなどが生産されたことも発展の要因である。また、日本の半導体企業では、システム部門と半導体部門が連携し、研究所が協力することによって活発な研究開発投資が行われたことも要因であろう。その結果、信頼性、半導体のコストを決定するプロセス歩留の点で米国を凌駕する生産技術が生まれ、その結果として1980年代に日本の半導体産業が躍進した。例えば、1980年、日本製DRAMの品質が米国製より優れているとするヒューレットパッカード社のアンダーソンレポートが話題を呼んだ。

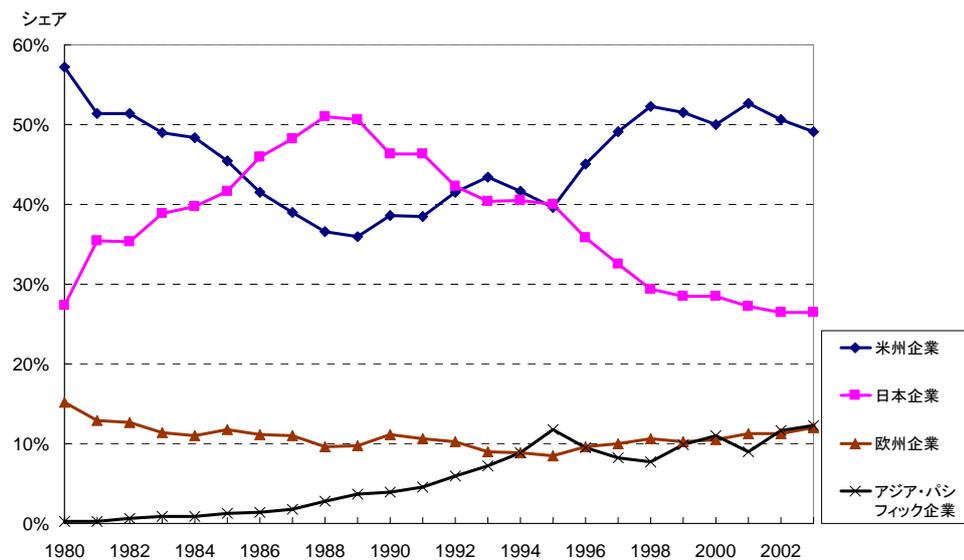


図1 各国の半導体売り上げ高シェア(半導体産業研究所)

一方、米国では、米国半導体企業が存亡の瀬戸際に立たされたこともあり、「自国の防衛は半導体に依存する」ということを強く意識し、米国半導体産業の将来について危機意識が高まった。この動きを見て 1985 年 6 月、米国の半導体工業会(SIA)は米国通商法 301 条を適用して日本の半導体業界をダンピング提訴した。これを受けて、日米での交渉が開始され、同年 9 月に日米半導体協定が締結された。その結果、日本市場へのアクセスを改善することと、ダンピング防止のため FMV(Fair Market Value)が定められた。この協定は、その後約 10 年に亘って日本の半導体産業およびエレクトロニクス産業を拘束することになった。日本市場へのアクセスについては日本における米国半導体のシェア 20%が暗黙的な目標として設定された。

1980 年代後半にかけ、市場はアナログ家電製品やメインフレームから小型の PC へ、90 年代に入ると携帯電話、マイクロプロセッサ、DSP、無線用 LSI、デジタル応用向 LSI 等にシフトする。もともと米国企業はこの分野の製品が強く、米国企業ではヤングレポート(1985 年：米国産業競争力委員会報告書)や「Made in America」(1989 年：MIT 報告書)に代表されるように生産技術の強化に努めたこともあって、急速に競争力を回復した。一方日本は、国内に市場が存在する MCU(マイクロコントローラユニット)やゲーム機応用のプロセッサ、或いは、ディスクリートや CCD など一部に強い製品を有するものの、全体としては市場変化やユーザーニーズに対して迅速に対応できず、1992-93 年、1996-1999 年の 2 回の半導体不況、及び 2001-2003 年の IT バブル後の不況において、投資を継続する体力を持てなかったため、急速にシェアを失い、最近では図 1 に示すように日本の半導体シェアは 20%台で推移している。

エレクトロニクス機器は、最終的なユーザである人間の知識、知恵、感情に訴え、或いは人間の意思や感情に応えるという特徴がある。したがって、人間、或いは生活者にとってどのような価値をもたらすかが極めて重要であり、その価値観は個人により異なる。一方、過去のモバイル機器の進化から分かるように、モバイル PC、携帯電話、デジタル再生機器のように、機器の大きさ、重量が劇的に小さくなると使用形態やシステムが変わり、自身の進化が新しいパラダイムを創造するという他の製品には見られない特徴がある。すなわち、破壊的創造であるイノベーションが更なる微細化、低消費電力化をもたらすという特徴を持っている。ASET が設立された 11 年前を振り返ると、現在のよう  
に携帯電話等が普及し、インターネットの利用が一般化する社会が到来するとは予測できなかった。**図 2** は現在のエレクトロニクス製品における半導体、磁気ディスク、液晶などの用途を示している。情報機器、通信機器は従来から技術進歩が激しいが、今後、情報ハイウェイを通して、毎秒数百テラバイト(TB)もの情報が通信され、PFLOPS(ペタフロップス：Peta Floating Operations Per Second、毎秒  $10^{12}$  回の演算回数)のスーパーコンピュータがネットワークに接続される日もそう遠くは無い。家庭においても PC、プリンタにとどまらず、デジタル TV、DVD、カメラ、ゲームなど各種のデジタル機器が接続され、洗濯機、掃除機、IH など生活家電機器、鍵システム、ホームセキュリティも接続されるとともに、ロボットによる家事や介護、センサを通じた健康機器による健康維持も近い将来実現するであろう。自動車、交通の分野においてもすでに車載コンピュータは 1 台当たり多いもので 100 個にも達し、車内 LAN を通し、エンジン、走行安定性、安全設備等の制御が行われ自動車は走るエレクトロニクス機器となっている。今後、レーダ、自動走行など外部情報とのやり取りを通じた安全性・快適性の確保とともにハイブリッド、或いは燃料電池とそれらを制御するインテリジェンス、パワーエレクトロニクスを通じてエネルギー効率の抜本的向上も可能となるであろう。

半導体、磁気ディスク、ディスプレイ製品は、エレクトロニクス機器に対しては部品であり、その製造に当たっては多種類の材料が使用される。また、磁気ディスク、ディスプレイには、信号処理、ドライブ、制御を行う多種類の半導体を使用される。また、それらの製造には高度で大規模(半導体は300mm ウェハを使用し、ディスプレイは対角数メートルの基板を使用)かつ高価な製造装置や検査装置が使用される。また、半導体、磁気ディスク、ディスプレイを用いたエレクトロニクス機器群はその上位であるシステム、サービス、ネットワークで使用され、家庭、産業、社会、国のインフラストラクチャを構成する。したがって、これらの産業が形成する産業連関は極めて規模が大きいため、半導体、磁気ディスク、ディスプレイ等は単に部品にとどまらず、日本の産業全般や社会に極めて大きい影響を与え、産業の米とも言われる基幹産業となっている。半導体産業とその応用分野を統計的に見ると、わが国半導体産業は半導体の市場規模 2.7 兆円に加え、約 32 兆円規模 (製造業 GDP の 35%) の巨大な半導体応用システム市場や約 44 兆円のコンテンツ・サービス市場の基盤を形成している。また、半導体産業で 15~19 万人の雇用を創出している。このように半導体産業は我が国の基幹産業となっており、半導体産業が我が国経済に及ぼす影響は極めて大きい。

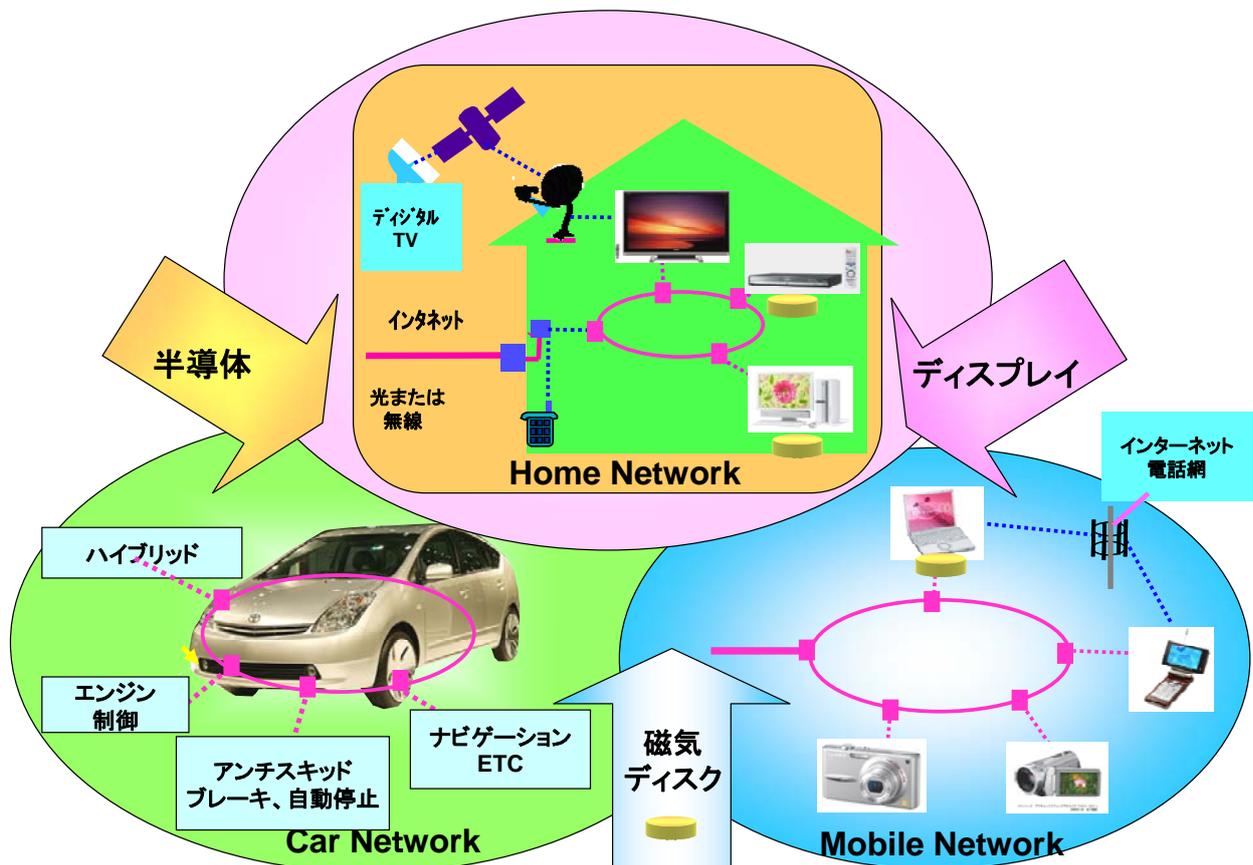
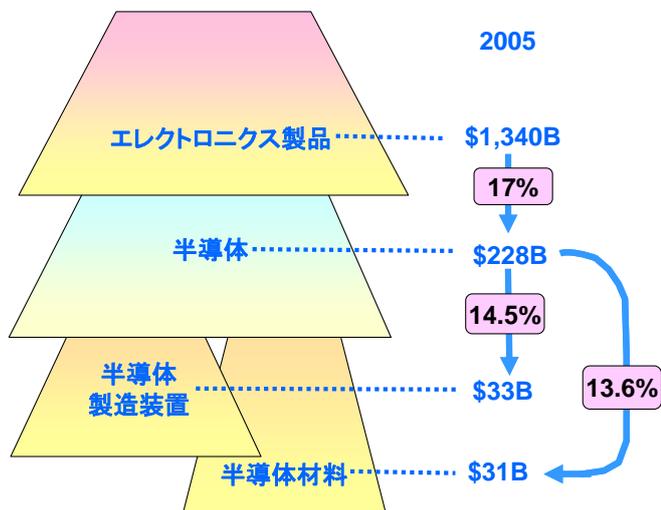


図 2 今後のエレクトロニクス製品の方向と半導体、磁気ディスク、ディスプレイの用途

また、世界的に見ると、図 3 の SEMI 統計に示すように、2005 年には、半導体産業市場規模はエレクトロニクス製品市場規模の 17%を占めている。また、半導体産業は、半導体産業市場規模の 14.5%の装置を装置産業から購入し、材料産業からは、半導体産業市場規模の 13.6%の資材を購入している。又、図 4 に示す経済産業省 2006 年 8 月資料によると、半導体が最終製品に占める割合は年々増加しており、2008 年には民生機器で 49%、コンピュータで 38%、通信機器で 37%、自動車電装品で 28%に増大すると予想されている。

図 5 はエレクトロニクス産業、半導体産業、半導体製造装置産業、半導体材料産業の産業連関、及び ASET が過去に開発してきた技術領域を示している。図に示されているように、半導体産業の製品である、MCU、マイクロプロセッサ、デジタル信号処理プロセッサ、メモリ、センサ、パワーデバイスなど、多様な LSI や半導体は、エレクトロニクス機器の中で使用される。また、半導体産業は材料産業から提供されるウエハ、レジスト、配線材料などの材料や、半導体装置産業の製品である半導体製造装置を使用している。

この中で ASET が過去に開発してきた技術領域は、プロセス、製造装置、材料に近い領域が多いが、今後、どのような技術領域を開発対象としてゆくか大きな課題である。コンソーシアムで開発が行われる場合、特にそれが産業間に関わる場合は、非競争領域の定義を見直し、今後の日本の産業発展に寄与し、投資効果が大きい技術分野にシフトしたプロジェクトフォーメーションを構築することが重要となる。



Source: Semi  
図 3 エレクトロニクス市場、半導体市場、製造装置・材料市場規模

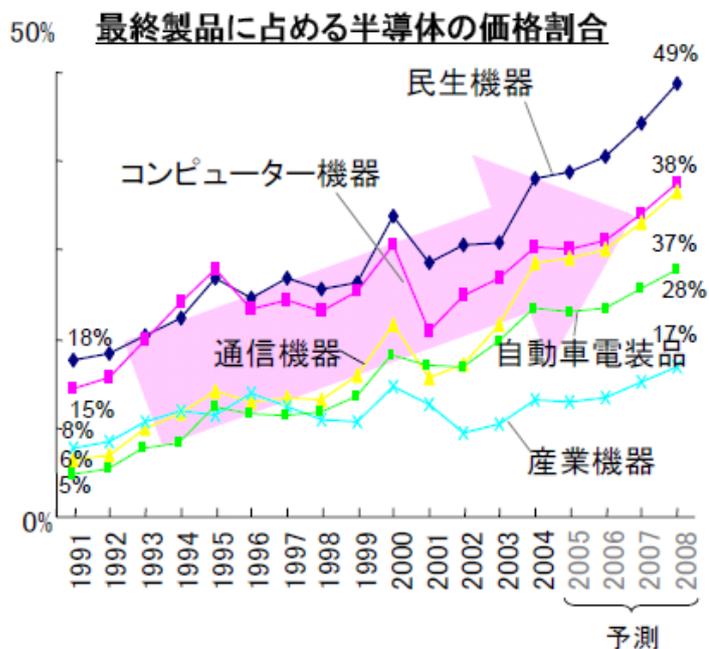


図 4 最終製品に占める半導体の価格割合

応用を上位とした半導体関連産業の階層とASETが開発してきた半導体技術のマッピング

ASET開発技術

分野 レイア	情報通信、ネットワーク	コシューマ、ホームネット	国・社会インフラストラクチャ		
サービス 応用システム・ ネットワーク	インターネット、金融、流通 移動無線、コンテンツ	エンタテインメント、 家庭セキュリティ	交通、運輸	健康、医療 福祉、安全 防衛	
機器					
半導体	MPU, Chipset Storageプロセッサ DRAM, Flash	MPU, DSP, 暗号 RF, AD, Power CCD, Flash	MCU, 画像プロセッサ RF, AD, パワー, センサ CCD, Flash, DRAM	MCU パワー、センサ IGBT	MPU, DSP 各種センサ CCD, 画像メモリ
設計・ 生産 技術	システム技術(仕様・標準等)	設計技術(高位)	設計技術(物理)	マスク設計・検査	
	ウエハ(FEP, BEP)プロセス技術		生産・製造技術	パッケージ・後工程技術	
材料 装置 クリーンルーム	ウエハ 配線材料 パッケージ材料 (リドフレーム、レジン、テープ他) 材料	レジスト、ターゲット 水、ガス、薬品	リソグラフィ装置 成膜装置(CVD, PVD) 検査・分析装置・テスト 製造装置	エッチング装置 搬送・除害装置 CR設備 プラント クリーンルーム クリーンルーム、ファブ	

図 5 エレクトロニクス産業、半導体産業、半導体製造装置産業、半導体材料産業の産業  
連関と ASET で開発を担当してきた技術領域

## 1.2 海外のコンソーシアム

1.1 で述べたように、米国は 1985 年、SIA が日本の半導体業界をダンピング提訴した。この結果、数次の交渉を経て日米半導体協定を締結した後、1990 年代後半にかけて、ナショナルポリシーとして米国半導体産業強化に向けた政策を、国を挙げて推進した。各企業はプロセス、生産技術開発の努力を行うと同時に、SIA が主導していくつかの組織を設立した。1982 年には企業と大学が連携して研究開発の強化を行う SRC(Semiconductor Research Corporation)を設立し、1987 年には各企業の共通的な生産技術開発や製造設備仕様を発信する SEMATECH(Semiconductor Manufacturing Technology)を設立し、政府、産業界資金により米国企業 14 社で開発活動を開始した。1990 年代後半になって、技術開発が難度を高めるに従い、1997-1998 年には MARCO (Microelectronics Advanced Research Corporation) 経由の DARPA 資金により大学中心の連携プログラムを推進する FCRP (Focus Center Research Program)も強化された。その後、SEMATECH において国際活動を行う I-SEMATECH も 1998 年から発足させた。ニューヨーク州政府は Albany/Nanotech を 2003 年に開始した。また、産業界では IBM が主導して、Infineon, Chartered, 三星を含めた IBM Initiative が 2004 年に開始された。

欧州では 1984 年、ベルギーに IMEC が設立された。また、MEDEA (Microelectronics Development for European Application) が半導体からシステムに亘る幅広いプログラムを推進しており、2001 年から MEDEA+という新プログラムに衣替えた。フランスでは Leti (Laboratoire d'Electronique de l'Information) のもとに MINATEC (Centre for Innovation in Micro and Nano Technology) を 2001 年結成し、マイクロテクノロジーに関して活動を強化している。また、ST マイクロの Crolles サイトを利用した Crolles2 というプロジェクトを 2002 年に開始している。

また、韓国では、三星が DRAM を中心として 1990 年代に急速に成長を遂げた。韓国は半導体企業が少ないため国内より、欧米のコンソーシアムに積極的に参加しているが、COSAR(韓国半導体研究組合)が中心となり、システム IC2010 事業を行っている。台湾では 1980 年代 ITRI(工業技術研究院)、ERSO(電子工業研究所)を中心として 1980 年代に半導体産業を立ち上げ、1990 年代からファウンドリ企業が台頭し、先端プロセスにおける技術力、生産力を急速に強化した。最近ではシンガポールが同様の動きを示している。

2007 年 1 月になって、商用 32nm (hp45nm) 世代の技術について、TI は設計中心にシフトし、32nm 以降の技術はアジアのファウンドリから導入すると伝えられている。また、Freescale は Crolles2 の開発から手を引き、IBM Initiative に参加する、と伝えられている。

以上のように半導体関係の研究開発とくにフロントエンドプロセス開発にかかわる部分は、微細化技術や新材料開発、更にはこれらの計測技術が限界に近づくにつれて、一社だけでは研究開発を維持することが不可能となっており、コンソーシアム化の動きが活発になっている。

## 1.3 日本のコンソーシアム活動と ASET 設立の経緯

日本では米国の半導体技術をキャッチアップするための国プロジェクトとして、1976-80 年にかけて「超 LSI 技術研究組合」が結成され、国研や企業からの技術者により、電子ビーム描画装置やステッパなどの製造装置技術を中心とした研究開発活動が行われた。

1990 年代、図 1 に示した日本半導体産業の急速な競争力低下と、海外におけるコンソーシアム活動が進展する中、日本の半導体産業界の国際協力、社会貢献、活性化等に関する産業政策、技術

開発促進を行う機関として半導体産業研究所(SIRIJ: Semiconductor Industry Research Institute of Japan)が1994年に設立された。そして、SIRIJの提言に基づき、1995年に大学への委託・共同研究を目的とする組織として半導体理工学研究センター(STARC: Semiconductor Technology Academic Research Center)が設立され、1996年、半導体プロセス技術の開発を行う半導体先端テクノロジーズ(Selete: Semiconductor Leading Edge Technologies)が設立された。これらは半導体11社が株主である共同研究開発会社であった。その後、2001年から、STARC、Seleteを中心として、半導体開発の共同プロジェクト、あすかプロジェクトIが2001-2005年に亘って推進された。その対象は65-45nm世代のプロセス技術開発と設計技術開発である。2006年以降、45-32nm世代のプロセス技術開発と設計技術開発を目指したあすかIIプロジェクトが推進されている。

このような背景にあつて、「技術研究組合 超先端電子技術開発機構：ASET (Association of Super-Advanced Electronics Technologies)」は、日本のエレクトロニクス産業の競争力を強化するため、基盤技術の研究を行う技術研究組合として1996年に設立された。当初、半導体製造技術・製造装置、磁気ディスク技術、液晶ディスプレイ等のエレクトロニクス製品に応用する基幹的電子デバイスを開発対象とした。技術研究組合という性格上、半導体産業のみならず、磁気ディスク、液晶ディスプレイ産業、或いは、これらに使用する材料産業、製造装置産業やユーザ産業までを視野に入れている点で、前述した半導体産業の会社だけが株主となっているSTARC、Seleteとは設立のコンセプトが異なっている。また、事業の形態としては政府出資の委託、補助事業と産業界の自主資金による自主事業の両方が可能となっている。以上の米、欧、日の主要プロジェクトを纏めると表1のようになる。

表1 先端エレクトロニクス、半導体分野の米、欧、日の主要コンソーシアムとプロジェクト

地域	コンソーシアム	設立	目的
米国	SRC	1982	半導体研究・開発に関する、大学での革新的な半導体研究に資金を配分
	SEMATECH	1987	当初政府資金、後には産業界資金により製造技術を中心に開発
	ISMT	1998	ITRSの困難な課題に対して、を参加企業との連携によるプロセス技術開発
	MARCO/FCRP	1997/1998	MARCOはSIA、DARPA資金で、FCRPのプログラムを管理・運営 FCRPIはプレコンペティティブな半導体関連の大学間連携研究プログラムを推進
	Albany Nanotech	2003	New York州、Albany大学を中心にナノエレクトロニクス、ナノシステムの技術開発
	IBM Initiative	2004	最先端プロセスのグローバル共同技術開発
欧州	IMEC(ベルギー)	1984	Microelectronics、Nanotechnology、設計、情報通信システム技術開発
	Leti/MINATEC(仏)	2001	マイクロ・ナノテクノロジーにおける技術開発
	Crolles2(仏)	2002	300mm先端プロセス技術プラットホーム共同開発
	MEDEA+	2001	欧州電子産業の国際競争力強化のため、応用から技術の共同研究開発
日本	STARC	1995	大学との連携。2001年からあすかプロジェクトによりシステムLSI設計技術開発。2006年からあすかIIプロジェクト推進
	Selete	1996	45-32nm先端プロセス技術開発。2006年からMIRAIを推進。2006年からあすかIIプロジェクト推進
	ASET	1996	半導体、磁気ディスク、液晶、電子システム集積、省エネルギー半導体ファブなど、超先端電子技術の研究開発を推進
	MIRAI	2001	2001-2005:産総研-ASETで45nm先端プロセス・材料・マスク基盤技術開発。2006以降、産総研、Selete、ASETで45nmを超えるCMOS、ナノシリコン集積、EUVの先端技術を開発

## 第2章 ASETを取り巻く環境の変化

### 2.1 半導体業界における事業環境の変化

ASET 設立以来 11 年の間に世界の半導体事業環境には大きな変化があった。市場で見ると、欧州は横這いであるが、日本、米国市場の規模が縮小し、アジア・パシフィック市場が急激に台頭した。中国、インド等の市場規模の増大とともに、家電、PC、携帯等の米国、欧州、日本企業がアジアに展開し、その結果としてアジアでの半導体購入規模が増大したからである。米国半導体企業は PC の主力部品であるマイクロプロセッサとチップセットや携帯電話の主力部品であるアナログ、DSP など競争力ある製品群を持っていたが、日本半導体企業はそれまで競争力を持っていた DRAM において韓国、米国企業との戦いに敗れ、また、競争力を持った製品をアジア市場に浸透させる力も弱かった。その結果、国内向けの企業活動に留まり、減少する国内市場のパイを争奪する競争を行った結果疲弊するというパターンに陥った。

一方、海外では企業のリストラクチャリングが先行した。米国では 1996 年、AT&T から半導体会社 Lucent Technologies が独立し、Lucent はその後 2006 年、Alcatel と合併して Alcatel-Lucent となった。また、Motorola は 2004 年、半導体部門を Freescale として独立させた。欧州では 1987 年イタリアの SGS Microelettronica とフランスの Thomson SGS の半導体部門が統合され STMicro が設立された。Siemens は 1999 年半導体部門を Infineon として独立させた。Infineon は 2006 年 DRAM 部門を独立させ Qimonda を設立した。Philips は半導体部門を 2006 年分離させ、NXP Semiconductors を設立した。

日本では、1990 年代後半及び 2000 年代前半の半導体不況に対して、総合家電、総合電機、及びエレクトロニクスメーカーはそれぞれ、半導体部門を独立させたり社内分社化を行った。例えば 1999 年には、NEC、日立により DRAM を専業とするエルピーダメモリが設立され、更に NEC はシステム LSI 等を主力とする NEC エレクトロニクスを分社化した。さらに、日立・三菱の半導体部門が合体して 2003 年、ルネサステクノロジが設立された。東芝、三洋も社内分社化を行った。富士通はフラッシュメモリ事業において AMD との合弁の Spansion を 2003 年に分離独立させた。開発においては、東芝・富士通の事業包括提携、東芝・ソニー・IBM の次世代 MPU 製造技術提携、ルネサス・松下の次世代システム LSI 技術提携が行われた。これらの半導体産業の再編と同時並行して、各企業はキャッシュフローを充実させる必要に迫られ、数年に亘り、投資の絞込みを行った。その結果、量産ライン設備が更新されず、生産性向上が停滞し、競争力に影響を及ぼした。

アジアにおいては韓国の半導体会社三星、ハイニックスを中心に大きく成長すると共に、台湾のファウンドリが TSMC、UMC 等を中心に躍進し、シンガポールでは Chartered が 1987 年に設立された。中国にも中芯国際集成电路制造有限公司 SMIC(2000 年)、上海先進半導体製造有限公司 ASMC(1995 年に Philips・上海合弁企業が社名変更)等の 300mm ウエハ工場を持つ半導体企業が出現した。インド、ベトナム等にも設計を中心として新興企業が興りつつある。このように、半導体産業の事業環境は大きく変化して、現在もその変化の途上にある。

## 2.2 技術環境と技術革新の変化

半導体技術ロードマップをまとめる動きが米国を中心として 1980 年代後半から起こり、1992 年、1994 年、1997 年に米国において NTRS(National Technology Roadmap for Semiconductors)が発行された。1998 年より国際活動が開始され 1999 年に初めての国際版の半導体技術ロードマップ ITRS(International Technology Roadmap for Semiconductors)が発表された。1990 年代の半導体技術ロードマップにおいては、各世代 3 年で技術世代(ITRS では 2004 年までテクノロジノードと呼んでいた)が交替してゆくシナリオが設定されていた。しかし、各社が競ってロードマップより前倒しに次の世代の技術を開発する結果、毎回の半導体技術ロードマップでは前倒しの見直しが行われてきたのが実情である。この期間は、CMOS のスケーリングの障害も少なかったため、リソグラフィ装置、プロセス、ドライエッチング、CMP などの加工技術の進歩が顕著であった。2003 年の ITRS 以降技術世代の前倒しはなく、2007 年に hp65nm、2010 年に hp45nm というタイミングが設定され現在に至っている。図 6 には過去の微細化技術の進展と、その結果集積素子数が増加してきた様子が LSI の代表的なものである DRAM とマイクロプロセッサを例に示されている。

21 世紀に入って微細化をはじめとする技術の難度がどんどん高くなった。また、従来、技術世代を牽引してきた DRAM の微細化にも限界が見え始めた。たとえば新しいリソグラフィ装置・プロセス開発のハードルは極めて高くなり、ゲートリーク電流が小さく等価酸化(SiO<sub>2</sub> に換算した)膜厚の薄いゲート絶縁膜、ソース・ドレインのリーク電流に起因するオフ電流が小さく、オン電流が大きい低電圧動作 MOS トランジスタなどが必要となった。配線では低誘電率のポーラス層間絶縁膜が必要となってきた。このため、High-k ゲートスタック、Low-k 層間絶縁膜、高移動度ひずみシリコン MOS トランジスタ等、開発・実用化の難度が極めて高い新材料の開発が必須となった。さらに、集積規模

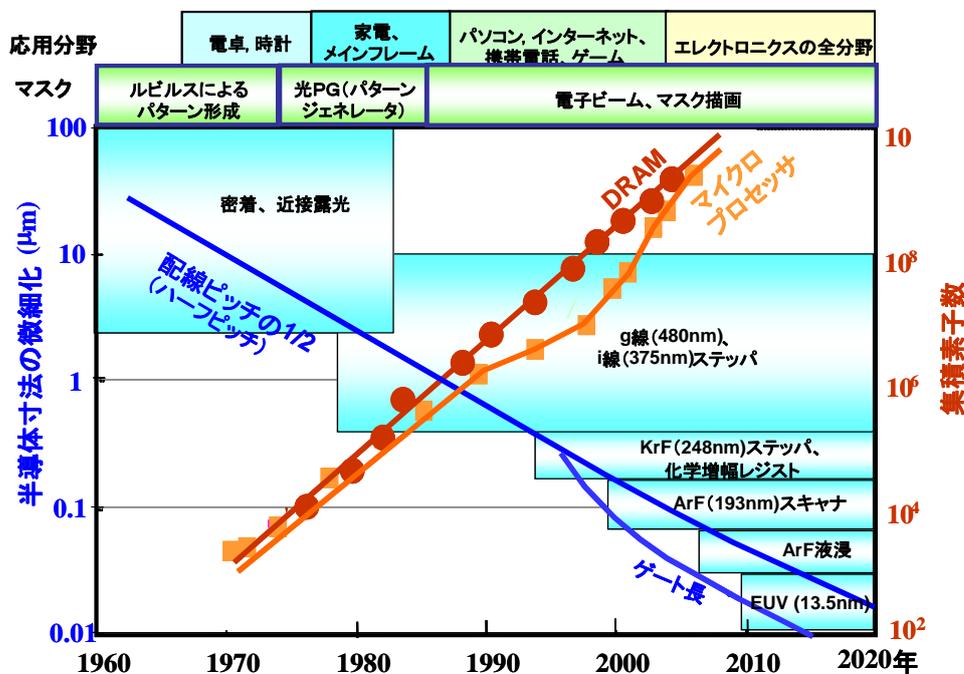


図 6 LSI 技術における微細化推移、それに伴う DRAM、マイクロプロセッサの集積度向上。それを実現したリソグラフィ技術の進化



### 第3章 ASET が進むべき方向

ASET の設立時である 11 年前には日本の多くの半導体企業の事業分野は類似し、ロードマップで示された技術の方向に対する見識も共通するものが多く、したがって基盤技術に関する産業界、国のプロジェクトに関するニーズは各企業で共通していた。装置、材料企業も半導体企業と同じ歩調を示していた。しかし、第1章及び第2章で示したように現在では、日本の各半導体企業は事業分野も異なり、必要とする基盤技術も大きく異なる時代に入っている。装置、材料企業も異なる視点を持っている。この状況を踏まえ、本研究会は、今後 ASET が進むべき方向として 3.1～3.8 に示す 8 項目の提言を行い、ASET において可及的速やかに実行に繋げることを期待する。

#### 3.1 イノベーションを通じた日本エレクトロニクス産業への寄与

##### 3.1.1 新しいイノベーションの方向

イノベーションとは多様な知の融合によって新たな知を生み、既存の仕組みを破壊するようなインパクトを与える破壊的創造であり、その能力が企業や国の経済の命運を左右するものである。過去を振り返ってイノベーションのコアとして成功している技術の例を見ると、システム技術では 1940 年代のストアプログラム方式コンピュータ技術の開発、1980 年代のデジタル通信網及びインターネットの開発、2000 年代のグーグルを中心としたインターネットを通じた高速の検索技術等が挙げられる。

半導体技術においてはすでに述べたトランジスタ、IC、CMOS、DRAM、LOCOS 技術、CCD 等の発明・開発がある。これらは企業で創造されたものが多い。しかし、近年、これだけ技術が進化し高度化したため、もはや全ての分野の技術を組織内に抱え込むことは不可能で、外部の知識に積極的にアプローチし、活用していくオープンイノベーションが合理的と考えられるようになってきた。オープンイノベーションとは全ての成果をオープンにすることではなく、強みを活かすために外部のリソースも使うということであり、既存の投資成果を活用できるため、コスト削減・リスク分散も可能になるという考え方である。一方で一部の成果をオープンにしようとする姿勢は、更に外部の情報の入手を容易にし、イノベーション能力を高めるとともに、仲間作りに役立ち、国際標準やデファクトスタンダードを作る際の土壌形成にも役立つ。しかし、オープンイノベーションと云っても、企業間で協業を行う場合、その相手が、同一業種の企業、或いは異業種の企業、或いはコンソーシアムの場合も、企業間、または大学や独立法人研究所を含む場合でその組織や推進手段が異なる。また、対象とする技術分野が、プロセス技術、CAD、実装であるかによっても、その内容は一様ではない。

このような観点から半導体産業を眺めると、「デジタル家電」などの世界の市場が拡大する中で、企画・設計の付加価値が高まる一方、製造プロセス自体は、コスト競争主体の産業構造へ大きく転換しつつある。他方、我が国の半導体産業は、従来から、製造プロセス技術に競争力を有していたものの、競争力が強く数量が多い製品が少ない。システム LSI 製品は製品ライフがきわめて短く、ソフトを含めた開発コストが大きく、製品は低価格に抑えられるため、開発費用の回収が難しい。また、DRAM、フラッシュメモリ等の販売数量の比較的大きい製品では企業間競争が激しく、急速な価格下落に見舞われている。更に、最近の半導体産業に特有の「膨大な製造装置投資競争」では、東アジアの企業などの資金力、或いは「ファブレス・ファンドリ形態」ビジネスモデルの企業群の台頭にあって、我が国の半導体産業は投資力に劣り、市場シェアは減少している。これらの結果として、企業利益率は低迷し、将来に

向けての技術開発の「余力」を失いつつある。半導体産業の技術開発の特徴は、技術進歩が速いことと、EUV リソグラフィ、LSI への新材料の導入・実用化で見られるように、基礎的な研究開発に膨大な資金を要し、一企業、一国で負担する限界を超えていることにある。我が国の情報産業のコア技術を担う半導体産業がグローバルな競争の中で「勝ち残っていく」ために、競争領域においては、各社の選択と集中によりコアコンピタンスを確立すると共に、物理限界に近く難度の高いプリコンペティティブ段階の技術開発については、ASET のようなコンソーシアムを組んで世界を視野に入れたオープンイノベーションを行うことが効果的であると考えられる。

ASET は、「議決権、選挙権は平等である(鉱工業技術研究組合法第 3 条)」組合員によって構成され、「超先端電子事業に関する試験研究その他組合員の技術水準の向上を図るための事業を行う(定款第 1 条)」技術研究組合でありオープンイノベーションに適した組織である。ASET は今後も超先端電子事業に関する組合として日本の産業に貢献することがその使命である。

### 3.1.2 ASET における研究テーマ候補の提案

2006 年 5 月に経済産業省から「技術戦略マップ 2006」が発表され、半導体、情報関連技術の重要技術分野として表 2 に示した技術が提示された。この資料を基に本研究会において検討した結果、表 2 の重要度欄に示す分野に関する研究開発に取り組むことが重要であるという結論に至った。(最重要と思われる分野を◎(3点)、重要と思われる分野○(2点)、要検討分野△(1点)として本研究会参加企業に対して調査を行い、それをもとにWGで検討を行った。)重要とされた分野のベスト 10 は全て半導体分野であった。最も重要とされた分野は、リソグラフィ、計測技術、実装技術、そして将来デバイスであった。次いで重要とされたのは、システムレベル設計・検証、シリコンプリメンテーション技術、LSTP(低消費電力)デバイス技術、プロセス技術、配線、装置基盤技術、ソフトウェアセキュリティ、認証・攻撃等に対するセキュリティ技術等の分野であった。さらに半導体の歩留向上技術、設計コンテンツ、テスト技術、ストレージ技術、不揮発性メモリ、セキュリティアーキテクチャ技術等が重要であることが指摘された。したがって、すでに述べた先端技術分野に加え、ASET の研究開発分野に半導体やエレクトロニクス機器のセキュリティや自己修復機能等新しいシステムや機器の創造に向けた先端技術開発を加える方向も必要であろう。

本研究会を通じて、表 3 に示す研究テーマ候補が提案された。これらは ASET にとどまらず日本の産業界、産学独等、適切なコンソーシアムにおいて推進されうるテーマ候補であるが、本研究会で審議した結果、下記の 2 テーマは ASET において早急に着手することが必要であるという結論に至った。

- ①「8. 三次元 LSI 積層技術の開発」
- ②「15. セキュアプラットフォームの開発」

また、今後取り組むべき新規テーマとして以下の 4 テーマが重要であるとの結論に至った。

- ①「1. 高スループット電子線直接描画技術の開発」及び「2. ダイレクトイメージング半導体露光システム技術の開発」の合体テーマ
- ②「3. 半導体内部構造高分解能観察技術の開発」
- ③「6. 光電気融合超高速・大容量接続用高機能チップの開発」及び「7. 超高速高密度光インターコネクション技術の開発」の合体テーマ
- ④「12. 小型 CO<sub>2</sub>リアルタイム分解技術の開発」、「13. 二酸化炭素再資源化プロセス技術の開発」、「14. バイオリアクタによるコジェネレーションシステム技術の開発」を統合した、環境・エネ

ルギー関連テーマ

このうち①と②は表2で最重要とされた技術分野(赤)に属し、③も重要分野(青)の一つである。表2は半導体・情報関連分野に限られるが、委員会ではこれらの分野以外に、エネルギーや環境分野も非常に重要とされた。④はその分野のテーマである。これらのテーマについては、今後、ASETにおいて、研究テーマやプロジェクトに向けた具体的な検討が行われ、実行に繋げることが期待される。

表2 経済産業省戦略技術マップ(2006年度)とビジョン研究会で重要と判断した技術(1)

重要技術(経産省) ……経済産業省が選んだ重要技術  
 ビジョン研究会での評価 点数 : 3;最重要、2;重要、1;要検討 として総計を算出  
 ■ 13点以上 ■ 12点から9点 ■ 8点から5点 4点以下は非表示

技術分野	分野構造			重要度	総計
	分野	大項目	中項目		
半導体	デバイス・プロセス技術	LSTPデバイス技術	デバイス微細化、ナノCMOSへ向けた新技術、混載技術、新混載技術 デバイスシミュレーション技術	■	11
		プロセス技術	微細化プロセス、洗浄技術、プロセスシミュレーション技術、シリコン基盤	■	11
		リソグラフィ	露光装置・レジスト・プロセス技術、マスク技術	■	17
		配線	多層配線技術、層間絶縁膜、配線材料、配線のモデリング、新規配線技術	■	10
		実装	単一チップ実装、3次元実装、MEMS実装	■	15
	支援技術	歩留り向上技術	欠陥検出・故障解析技術、歩留りモデルの構築	■	6
		計測技術	測長技術・形状観察技術、新材料の評価解析技術、ばらつき評価技術	■	17
	設計 (SoC設計)	設計コンテンツ	システムドライバ、モジュール間通信技術、マルチコア技術、 リコンフィギュラブルロジック	■	5
		システムレベル設計・検証	高位モデリング技術、合成・最適化技術、検証技術、 性能・コスト見積り技術、システム高付加価値化技術	■	12
		シリコンインプリメンテーション技術	システム複合化対応、低消費電力化設計、 製造性考慮設計(DFM、DFR、MASK)、アナログ混載、 IPベース設計、ライブラリ設計、回路設計	■	12
	テスト	DFT	上位DFT、BISR	■	6
		テスト・故障解析	故障診断、故障モデル・不良モード解析	■	9
		テスト環境	標準準拠のテスト環境	■	7
	製造	装置基盤技術	プロセス・加工高度制御技術、装置クリーン化技術、新技術、 装置・プロセスシミュレーション	■	10
		Factory-Integration (ITRSに準拠)	工場運用(意思決定支援、製造実行)、装置、搬送、 モジュール制御システム、ファシリティ(工場のモデル化による可視化)		
	SoC開発/製造 工程のエンジニアリング	開発プラットフォーム (新技術の早期取込、 再利用、開発の柔軟性と 予測を可能とする)	Siプロセス開発の構造化と標準化、設計メソッドロジーの構造化と標準化、 製品開発環境の構造化、Engineering-B2B	■	6
		Factory-Integration (SoC製造工程の エンジニアリングに 基づいたPLM) [PLM: Product-Lifecycle -Management]	製造コスト削減(マスクコスト削減を含む)、歩留まり垂直立上げ、 装置の安定稼働とプロセス制御性の向上維持、 製品のPLMと製造TAT短縮		
	ディスクリートデバイス	高周波デバイス	超高周波ワイヤレスデバイス技術、高周波大電力デバイス		
		パワーデバイス	大容量・低損失パワーデバイス	■	6
	将来デバイス	情報処理デバイス	ナノチューブデバイス、ナノワイヤデバイス、分子・有機デバイス、 超電導デバイス、スピントロニクス、回路再構成スイッチ その他(量子計算など)	■	14
ストレージ・メモリ	ストレージ	利用形態	ネットワークサーバー用ストレージ、ホームサーバー・PC用ストレージ、 モバイル用ストレージ、コンテンツ配布用ストレージ、 コンテンツ保存・アーカイブ用ストレージ		
		実現技術	磁性系ストレージ技術、光系ストレージ技術、新規ストレージ技術	■	7
	不揮発性メモリ	利用形態	コンテンツ保存用メモリ(固体ストレージ)、メインメモリ用、 SoC混載用メモリ、不揮発性ロジック		
		実現技術	FLASH、FeRAM、MRAM、PRAM、新規不揮発性メモリ技術	■	7

表2 経済産業省戦略技術マップ（2006年度）とビジョン研究会で重要と判断した技術（2）

技術分野	分野構造			重要度	総計	
分野	大項目	中項目	小項目			
コンピュータ	スーパーコンピュータ	科学技術計算用サーバー				
		ハイエンドサーバー				
	サーバー、PCクラスタ	高密度・低消費電力サーバー(ブレードサーバー・PCクラスタ)				
		汎用プロセッサ	ハイエンド、低消費電力			
	プロセッサ内蔵SoC (System on Chip)	アプリケーションアクセラレータ	DSP、メディアプロセッサ、ネットワークプロセッサ、グラフィックプロセッサ、コンフィギュラブル/リコンフィギュラブル・プロセッサ			
		チップマルチプロセッサ				
		チップ内インタコネク				
		オペレーティングシステム		汎用、組込み		
	システムソフトウェア	コンパイラ	マルチスレッドプロセッサ用、共有メモリ型マルチプロセッサ用、チップマルチプロセッサ用、クラスタ及びグリッド用			
		ミドルウェア			5	
		ソフトウェア・セキュリティ			9	
		ソフトウェアエンジニアリング				
		グリッド基盤(ビジネス系・e-Science系)				
	グリッドコンピューティング	グリッド標準化				
		グリッド基幹ミドルウェアおよびその技術				
		アプリケーションソフトウェア		情報検索・データマイニング		
	アプリケーションソフトウェア	次世代Web				
		データベース	超高スループットトランザクション処理と自立管理機構、先進ストレージシステム及びデータベース管理システムの融合、センサーストリームデータベース、XMLを用いた認証、権利データ管理に基づく情報流通基盤			
		コンテンツ	製作、配信、管理			
		科学技術計算				
アーキテクチャ技術		サービスアーキテクチャ				
無線システム		デジタル地上波、携帯電話・無線LANシステム統合				
超広帯域網利用技術		EPS(電気信号(制御のみ電気)によるパケットスイッチ)、パス割り当て型、光パケットスイッチ(OPS)技術、光バーストスイッチ(OBS)技術				
FMCIに向けた取り組み	ネットワークのシームレス性					
ネットワーク	コンテンツ配信					
	IPv6	BA/FA/HA、センサネットワーク				
	セキュリティアーキテクチャ			5		
	ネットワーク技術	パーソナル/ホームユース	ワイヤレス系、有線伝送系、アプリケーション系(プロトコル)			
		プライベートユース	映像コンテンツ、フローファレンス			
		ワイドエリア	コアネットワーク、メトロネットワーク、アクセスネットワーク、多重化スイッチ、ブロードバンド高速モバイルアクセス、閉空間無線アクセス、通信放送連携			
		NGN (Next Generation Network)	All IPトランスポートネットワーク、固定移動統合サービス制御			5
		ユビキタス	コンテキストウェアネットワーク、センサネットワーク			
		移動体ネットワーク	車車間ネットワーク/路車間ネットワーク			
	セキュリティ技術	基礎暗号技術	高速通信暗号技術			
応用暗号技術		プロトコルモニタ技術、プロトコル中継技術、未知プロトコル検出技術、不正コンテンツ検出技術				
認証技術		分散レポジトリ、認証基盤、アイデンティフィケーション			9	
攻撃防御		リアルタイム検知技術(ネットワークウィルス防御)、アプリケーションレベルフィルタリング技術(Application Firewall、IDS/IDP)、ネットワークトレーサビリティ技術			9	

表2 経済産業省戦略技術マップ（2006年度）とビジョン研究会で重要と判断した技術（3）

技術分野	分野構造			重要度	総計
分野	大項目	中項目	小項目		
ネットワーク	ネットワークノード技術	コアノード	大容量化・高速化、アドレス空間の拡大、ノードの省電力化		
		エッジノード	大容量化・高速化、アドレス空間の拡大、ノードの省電力化		
		LAN/SANノード	大容量化・高速化、ノードの省電力化		
		共通技術	システム間/システム内通信の大容量化・高速化		
	伝送技術	公衆網	コアネットワーク、メロネットワーク、アクセスネットワーク(加入者系)		
		非公衆網	構内ネットワーク、ホームネットワーク		
	デバイス技術	ホームネットワーク(情報家電ネットワーク)	ホームLAN、パーソナルエリアネットワーク(PAN)		5
		アクセスネットワーク	光アクセス、無線アクセス		5
		光メトロNW(ノード系)	ROADM、光バースト、光パケット		
		光メトロNW(伝送系)	広帯域WDM、中継器		
		超長距離ネットワーク			
		超高速SAN(Storage Area Network)/LAN	100GbE、光インターコネクション		9
光インターコネクションセキュリティNW		量子情報通信			
ユーザビリティ(ディスプレイ等)	ヒューマンインタフェース	知覚インタフェース	音声認識、画像認識、状況理解		
		表現インタフェース			
		インタラクション技術	GUI/実世界インタフェース、翻訳・通訳		
	セキュリティ	プライバシー			9
		認証			9
		アクセス制御			9
	基盤ソフトウェア	情報検索/情報アクセス			
		知識発見/データマイニング			
		セマンティックWeb/エージェント			
		コンテキスト情報処理			
		ネットワーク相互接続			
		組込みOS			
	デバイス・機器類	ディスプレイ	据置型ディスプレイ、モバイル型ディスプレイ、フレキシブルシートディスプレイ、共通・新技術等		6
		電子ペーパーメディア			
		ホームサーバ			
		センサ/スマートタグ			5
	ソフトウェア	ソフトウェアの品質及び生産性の向上	組込みソフトウェア開発力強化		
エンタプライズ系ソフトウェア開発力強化					
応用分野への展開					
オープンソースソフトウェア		オペレーティングシステム(Linuxなど)、プリンターへの対応等周辺環境の整備			
セキュリティ		アクセス制御			9
		デジタル・フォレンジック技術			9
		電子署名・認証			9
		暗号技術			9
		セキュリティ評価技術			9
新技術への対応		マシンとマシンをつなぐ技術	ミドルウェア・プラットフォーム、ネットワーク・インターネット応用		
		人間とマシンをつなぐ技術	インタフェース・ユーザビリティ		

表3 ビジョン研究会で提案されたテーマの総括表。

早急に着手すべきもの  。着手に向け研究すべきもの  。

分野	プロジェクト候補	概要	期間	国予算	
リソグラフィ 及び 関連装置	1	高スループット電子線直接描画技術の開発	電子線直接描画技術(マルチカラム等)、高分解能かつ高感度レジスト、描画データ量を削減する設計パターンレイアウトインフラを開発	平成20年度～3年間	200億円
	2	ダイレクトイメージング半導体露光システム技術の開発	マスクを必要としないダイレクトイメージングにより超微細半導体を実現する露光システム技術とマスクレス露光ワークフロー技術を開発	平成20年度～3年間	15億円
	3	半導体内部構造高分解能観察技術の開発	半導体素子の内部構造が観察できる高分解能顕微鏡技術を開発し、デバイスシミュレーションと結合	平成20年度～3年間	6億円
	4	高出力EUV光源モジュール技術の開発	出力200W以上の第2世代高出力光源を目指し、現在開発中のLPP方式とDPP方式の限界を超える新しい方式(FEL等)の光源技術を開発	平成20年度～3年間	50億円
新CMOS 技術	5	スピンCMOS技術の開発	スピンとCMOSを組み合わせ、電荷CMOSを凌駕する論理演算素子を開発	平成20年度～5+5年間	10億円+10億円
光電気接続 チップ・ システム	6	光電気融合超高速・大容量接続用高機能チップの開発	超高速・大容量通信を可能とする、光多重素子の集積技術、化合物半導体素子のSi基板上集積技術、Si基板上に光通信システムを搭載した集積化チップを開発	平成20年度～4年間	50億円
	7	超高速高密度光インターコネクション技術の開発	CMOS直接駆動OE変換パッシブインターポータ、等化技術、伝送リソース・電力効率を向上する多値・多重化伝送技術、高密度光電気複合バックプレーン、光電気複合実装技術等を開発	平成20年度～3年間	10億円
実装技術	8	三次元積層技術の研究開発	従来の、チップ積層やパッケージ積層でワイヤボンド等を使う三次元技術の限界を打ち破る、高速・低消費電力・低コストの三次元積層技術を立ち上げるために、設計・プロセス技術の両面から研究開発を行う。	平成19年度～5年間	50億円
その他 半導体 関連	9	大口径ダイヤモンド単結晶基板及びダイヤモンド半導体デバイスの開発	シリコンに比べ5倍の高温動作、30倍の高電圧化を可能とする大口径ダイヤモンド単結晶基板技術を開発し、紫外線発光デバイス、通信デバイス等を研究	平成20年度～3年間	10億円
	10	自己判断・修復半導体製造装置技術の開発	加工中に自己判断を行うことが可能であり、自己修復可能な半導体製造装置技術を開発	平成20年度～4年間	50億円
	11	安価な人工光合成デバイスの開発	ポスト太陽電池として革新的な人工光合成デバイスとその製造技術を開発	平成20年度～	50億円
エネルギー 及び バイオ テクノロジー等	12	小型CO <sub>2</sub> リアルタイム分解技術の開発	環境保護の為、公共交通機関・公共施設等に搭載・設置可能な大気中開発のCO <sub>2</sub> をリアルタイムに分解するデバイスを開発	平成20年度～	50億円
	13	二酸化炭素再資源化プロセス技術の開発	エネルギー消費時に発生するCO <sub>2</sub> を再利用・再資源化するためCO <sub>2</sub> →CH <sub>4</sub> 、CH <sub>3</sub> OHの生成において、変換効率向上に寄与する最適生体触媒の探索、試作・評価及び触媒の活性化向上に必要な遺伝子操作等、バイオ技術の探索とプロセス技術を開発	平成20年度～4年間	100億円
	14	バイオリアクタによるコジェネレーションシステム技術の開発	石化資源に頼らず、気候・天候条件に左右されないコジェネ発電の有力候補として、家庭用燃料電池への応用を目指し、バイオマスからグルコースを廉価/容易に抽出・生成するプロセス技術を開発し、高効率に水素を発生するバイオリアクタを開発	平成20年度～4年間	100億円
ソフトウェア	15	セキュアプラットフォームの開発	情報システムのセキュリティを向上させる為の統合アクセス制御基盤として、サーバー統合及び情報アクセス制御の手段としての仮想マシンの仕様や仮想マシン制御インタフェースの標準化を提案すると共に、リファレンス実装技術を開発	平成19年度～3年間	45億円

### 3.2 「超先端電子技術」の研究開発

3.1 で述べたように、半導体の最先端技術は今後益々、高度化、複雑化することが予想され、それらを全て1社で自前開発することはもはや不可能である。このため海外においても最先端の技術開発をIMEC、SEMATECH、Albany Nanotech等のコンソーシアムに集約しつつある。

このような状況下、個々の半導体デバイス企業の収益が減少したため、キャッシュフローを確保するという理由で最先端の技術開発を放棄することは、わが国半導体産業とそれに関係するエレクトロニクス産業の根幹に係ることで、絶対にあってはならないことである。わが国においても産学が連携して、コンソーシアム体制を作ってプリコンペティティブな最先端技術を常に保有し続けることが肝要であり、国際競争力の源泉である。我が国はこれまで微細化を「超先端電子技術」と認識して国家プロジェクトを推進してきた。しかし近年、微細化に伴ない、消費電力の増大、素子ばらつき増加に起因してLSI全体が動作しなくなる問題、CAD・DAツール等を含めた設計の難度増大、マスクや装置コストの増大といった様々な問題が顕在化してきている。このため、チップの設計、検証、モデリング、テスト容易化技術、三次元実装等の非微細化技術も「超先端電子技術」と認識して、研究開発を進めるべきであると考え。すなわち、微細化の軸、及び微細化以外の軸を「超先端電子技術」の車の両輪と考えてASETのようなコンソーシアムによって国の支援も戴きながら研究開発することが重要である。すなわち、我が国としてはコンソーシアムを通じた「超先端電子技術開発」と、各企業が製品開発の段階で実施するアライアンスによる協業を両立させるべきであると考え。

表3に示した本研究会で提案されたテーマのうち、「1.高スループット電子線直接描画技術の開発」、「2.ダイレクトイメージング半導体露光システム技術の開発」、「3.半導体内部構造高分解能観察技術の開発」、「4.高出力 EUV 光源モジュール技術の開発」は微細化のエッジとなる超先端電子技術である。また、「5.スピン CMOS 技術の開発」、「8.三次元 LSI 積層技術の開発」、「9.大口径ダイヤモンド単結晶基板及びダイヤモンド半導体デバイスの開発」、は微細化以外の次元でエッジを切り拓くことが期待されている非微細化の有力技術である。

### 3.3. デバイスメーカーと装置メーカー、材料メーカーとの連携

わが国には、品質などについて要求水準の高い消費者やユーザ産業が存在すると同時に、高度な部品材料やモノ作り技術でこれに対応できる企業群が比較的狭い国土に高密度に集積している。これらの企業群の切磋琢磨と川上・川下企業間の信頼関係に基づく共同開発などで次々と新製品を生み出してきたのがわが国の強みであり、このことはわが国の半導体産業にも当てはまる。

ASETにおいてはこれまで組合の特徴を活かし、異分野産業間でのデバイスメーカー、装置メーカー、材料メーカーの関係にある企業群がイコールパートナーとして連携事業を推進し、様々な成果を挙げてきた。その結果、各種規程や知財取扱いを通じた研究開発マネジメントについても特色があるコンソーシアムとなっている。今後もこの強味を活かす事業を行うことが望ましい。特に半導体分野は技術革新が著しく、最先端の技術を常にウォッチし、多少のリスクがあっても積極的に評価、検討する姿勢が重要である。例えば、装置メーカーや材料メーカーが新技術、新製品等の提案を行った場合には、半導体デバイスメーカーがASETの場（プロジェクト）を活用して、先行的な評価を行うことも重要である。

過去においても研究開発活動で COE(Center of Excellence)的な活動が自然発生し、ベンチャーの創生や人事面で産業分野間の交流も起こっている。ASET の活動が、知識・人材交流の促進の場として活用されること、すなわち、ASET の活動が今後とも、デバイスメーカ、装置メーカ、材料メーカ間の連携の場となることを期待する。

表 3 に示した本研究会で提案されたテーマのうち、「1.高スループット電子線直接描画技術の開発」、「2.ダイレクトイメージング半導体露光システム技術の開発」、「3.半導体内部構造高分解能観察技術の開発」、「4.高出力 EUV 光源モジュール技術の開発」、「10.自己判断・修復半導体製造装置の開発」、は装置、デバイスメーカの協業が必要であり、「9.大口径ダイヤモンド単結晶基板及びダイヤモンド半導体デバイスの開発」、「11.安価な人工光合成デバイスの開発」は材料・装置・デバイスメーカの協業が必要である。また、「6.光電気融合超高速・大容量接続用高機能チップの開発」「7.超高速・高密度光インターコネクション技術の開発」、「8.三次元 LSI 積層技術の開発」はこれらにユーザを加えた協業が必要となる。

### 3.4. デバイスメーカとユーザ・システムメーカとの連携促進

世界では MEDEA+や IMEC 等のコンソーシアムにおいて、ユーザとの連携を目指したプロジェクトが推進され成果が出ている。ASET においても、半導体のユーザであるシステムメーカやセットメーカと、半導体デバイスメーカが共同研究事業を推進することは可能であったがこれまでは限定的にしか行われてこなかった。例えば、HALCA プロジェクトにおいてトヨタ自動車に参加した、省エネルギー、小規模投資可能なミニファブを開発したプロジェクトがその例である。これらの活動の結果、各種規程や知財取扱い等を通じて、研究開発マネジメントの手法の知識も ASET に蓄積されている。今後は、ASET 自体がもっとユーザのニーズを積極的に反映し、ユーザやシステムメーカを巻き込んだ研究開発活動を強化することが望ましく、その体制を構築することが必要である。わが国においては、このようなユーザを巻き込んだ交流の場は少なく、ASET が知識・人材交流の促進の場となることは極めて意義深いと考えられる。

前述したとおり、「6.光電気融合超高速・大容量接続用高機能チップの開発」「7.超高速・高密度光インターコネクション技術の開発」、「8.三次元 LSI 積層技術の開発」ではデバイスメーカとデバイスのユーザとなるシステムメーカの連携が必要不可欠である。

今回の研究会でもその重要性は各委員から積極的に発言された。今後、具体的提案に繋がる提案を各社から ASET に積極的に行うとともに、提案された具体的なテーマに対してはシステムメーカやセットメーカと半導体デバイスメーカの協議の場を ASET に設置したり、或いは ASET の研究開発活動を通じて業界で標準化できる可能性を持ったものについては業界団体と協議するなど、具体化に向けた積極的な議論を行うよう期待する。

### 3.5. 世界標準・デファクトスタンダードに結びつくような研究開発の提案

米国では Wintel と呼ばれる、PC の Windows と Intel アーキテクチャのマイクロプロセッサが平行してシェアを伸ばし、事業でも巨大な成功を収めた。欧州では移動無線システムとして GSM を開発し、この分野の移動無線、携帯電話端末企業がシェアを大幅に伸ばした経験がある。また、日本においても TRON プロジェクトを推進し、その結果として i-TRON OS 仕様を用いたコントロールマイ

コン MCU のシェアが大きく伸びている。このようなデファクトスタンダードが提案され、それに勝利した企業が世界の大きな市場シェアを獲得した例は多々ある。ASET ではこのような事業を推進した経験がない。しかし、今後は ASET においてもオープンイノベーションのマインドを持って最初から世界標準やデファクトスタンダードを目指した研究開発を戦略的に行うとともに、海外との仲間作りを目指した体制を整えることが重要である。

また、ASET 自身が世界の他のコンソーシアムとの交流を積極的に行うとともに、世界標準やデファクトスタンダードに結びつくような国際共同研究を進め、標準化を推進する業界団体に標準化提案活動を行うことが期待される。

### 3.6. 大学、独立行政法人研究所等アカデミアとの連携強化

米国では 1990 年代、日本に実用技術面でリードされたという反省から大学が実用に近い研究に展開するとともに、企業研究所が大幅に縮小された。日本でも、その後を追い、2000 年代に企業研究所が大幅に縮小されている。その結果、今後、長期的な研究開発を行うことが難しく、単なる最適化技術のみの開発に陥る危険性が大きくなっている。今後のチャレンジングな研究開発を実施する際には、物理、化学、電気、機械等の科学的な知識にまで遡ることなしに実施すると骨太な研究とはなりにくい可能性が高い。

最近、企業でも大学の研究成果の活用や、産業交流が行われるようになってきたが、欧米の大学との交流が多いのではないかと思われる。日本の大学の成果を積極的に活用し、学生に半導体の面白さを伝えたり、若手研究員を育成する観点からも、もっと日本の大学を活用することが期待される。

従来から ASET では独立行政法人研究所や大学からのプロジェクトリーダーやテーマリーダーをおいたり、或いは共同研究体を構成することにより大学、独立行政法人研究所との連携を意欲的に推進してきた。共同研究、再委託、NDA の締結も数多く行っている。その結果、プロジェクトを通じて論文、学界報告、特許等共同の成果が創生されているのみならず、プロジェクト活動を通じて博士を取得した例も多く出ている。ASET は今後もこのような活動は強化すべきであり、アカデミアが参加できるテーマ設定、制度面での補強が必要であるとともに、組合員とアカデミアとの交流を促進するためのサロンを開催することも検討に値するのではないだろうか。

表 3 に示した本研究会で提案されたテーマについては、材料、デバイス、プロセスの研究開発に関する現象の物理・化学的メカニズムの理解や計測、これらに基づく深い基盤技術に対する知識体系を構築するために、独立行政法人研究所や大学などアカデミアとの協力が不可欠なものが殆どである。

### 3.7. システムを取り込んだ開発重視：ハード・ソフトの一体化

ソフトウェアには、対象となる応用の問題を解決するアプリケーションソフトウェアと、ソフトウェアが実行されるプロセッサや LSI 等ハードウェア環境との相乗効果で初めて価値を発揮するシステムソフトウェアと、大きく分けて二種類がある。組み込みソフトウェアは後者に属する。前者はハードウェア・プラットフォーム間の可搬性を追及するのに対し、後者は特定ハードウェアとの密な結合によってサブシステムとしての最適化を図ることを主眼とする。後者の例として、サーバやプロセッサがネットワークを形成して計算あるいは検索等の処理を実行する場合、このネットワークにおいてソフトウェアの実行性を確保したり、メモリを如何に効率的に使用して、全体の性能を向上させる

かをソフトウェアで行う場合、システムとしてのセキュリティを確保する必要がある。今後のネットワーク社会においてもネットワークに導入される機器の性能や機能性、セキュリティ、ディペンダビリティを確保する手段として、最終製品の構成要素(部品)をなすシステムソフトウェアの重要性が益々高まると予想される。

ASET はこれまでハード中心に開発を行ってきたが、今後はハードウェアの機能や性能に密接に結びつくシステムソフトウェア等の開発にも積極的に取り組む必要がある。

表 3 に示された、「15.セキュアプラットフォームの開発 (H19 年度にスタートする予定)」はその例である

### 3.8. 地球環境問題の解決、及び新規産業の創出

地球環境問題の課題を解決するような新たな産業の創出が期待されている。超先端電子技術はこれらの課題を解決する鍵としての役割が期待されている。

ASET はこれまでも半導体の製造工程で使用する PFC(パーフルオロカーボン; CO<sub>2</sub> の 6000 倍以上の温暖化効果を持つガス)の削減プロジェクトに取り組んだことがあるが、今後は社会的ニーズの高いテーマにもっと積極的に取り組むことが必要である。例えば、半導体の LCA (ライフサイクルアセスメント) や、有害物質・化学物質 (PFOS、鉛等) の削減・トレース等、重要、かつ緊急の課題が指摘されており、ASET や他の団体を含め、業界横断的研究開発になりうるテーマが多い。

20 ページ表 3 の「12.小型 CO<sub>2</sub>リアルタイム分解技術の開発」、「13.二酸化炭素再資源化プロセス技術の開発」、「14.バイオリクターによるコジェネレーションシステム技術の開発」のテーマに見られるように、本研究会においても地球温暖化や環境、資源問題の解決に結びつくテーマの重要性が指摘されている。

また、ASET 参加の組合員企業は比較的大企業が多いが、組合員企業の新規事業部門となる産業、或いはベンチャー企業を通じて新産業分野となるものを創生する活動は極めて重要である。前記した地球環境問題を解決するプロジェクトはこれらの可能性を持っているテーマ候補でもある。これまでも ASET の研究成果を事業化に結びつけるためにベンチャーを起こした例があるが、今後は、ASET テーマにベンチャー企業が積極的に参加しやすい環境を作ることも重要である。また、開発した成果を持ってベンチャー企業が生み出されやすい環境を作ることも重要である。

ASET(技術研究組合 超先端電子技術開発機構)が1996年に設立されて以来、11年が経過したので、2006年11月から2007年3月に亘り、組合員及びユーザ産業界幹部有志、並びに学識経験者をメンバーとする「ビジョン研究会」を組織し、今後のASET事業に対するビジョンを検討した。その結果を本報告書にまとめた。

まず、経済産業省「技術戦略マップ 2006」に示された、半導体、情報関連技術の重要技術分野を基に本研究会において、重要と認識する分野を選定した。その結果、最も重要とされた分野は、リソグラフィ、計測技術、実装技術、そして将来デバイスであった。次いで重要とされたのは、システムレベル設計・検証、シリコンプリメンテーション技術、LSTP(低消費電力)デバイス技術、プロセス技術、配線、装置基盤技術、ソフトウェアセキュリティ、認証・攻撃等に対するセキュリティ技術等の分野であった。さらに半導体の歩留向上技術、設計コンテンツ、テスト技術、ストレージ技術、不揮発性メモリ、セキュリティアーキテクチャ技術等が重要であることが指摘された。

次に、今後 ASET で事業を推進すべきテーマ候補を委員に募った結果、15 テーマが提案された。これらについて本研究会で審議した結果、①「8. 三次元 LSI 積層技術の開発」、②「15. セキュアプラットフォームの開発」、の2テーマは ASET において早急に着手することが必要であるという認識に至った。

更に、今後取り組むべき新規テーマとして、次の4テーマが重要であるとの結論に至った。すなわち、①「1. 高スループット電子直接描画技術の開発」及び「2. ダイレクトイメージング半導体露光システム技術の開発」の合体テーマ、②「3. 半導体内部構造高分解能観察技術の開発」、③「6. 光電気融合超高速・大容量接続用高機能チップの開発」及び「7. 超高速高密度光インターコネクション技術の開発」の合体テーマ、④「12. 小型 CO<sub>2</sub> リアルタイム分解技術の開発」、「13. 二酸化炭素再資源化プロセス技術の開発」、「14. バイオリアクターによるコジェネレーションシステム技術の開発」を統合した、環境・エネルギー関連テーマ、である。以上の4テーマについては、平成19年度に有志企業による研究テーマへの提案可能性を検討するタスクフォース等を経て、研究テーマやプロジェクトに向けた具体的な検討が行われ、実行に繋げてゆくことを期待している。

以上に述べたように、本研究会としては ASET において、第三章に取り纏めた8項目の大きなミッションの基に、上記研究テーマの実施に向けた具体化検討が行われることを期待する。また、ASET がこれまで開発してきたデバイスや製造装置の成果については、その経済的波及効果も含めて一般の人々にわかりやすいパンフレットを作成し、付録に添付した。同時にご参照いただければ幸いである。

## ASET ビジョン研究会 委員会及びWG 会議の開催状況

### 委員会

第1回委員会 : 平成18年 11月30日(木)

第2回委員会 : 平成19年 1月24日(水)

第3回委員会 : 平成19年 3月29日(木)

### WG 会議

第1回WG会議 : 平成18年 11月16日(木)

第2回WG会議 : 平成18年 12月21日(木)

第3回WG会議 : 平成19年 1月10日(水)

第4回WG会議 : 平成19年 2月15日(木)

第5回WG会議 : 平成19年 3月13日(火)