

日本の情報通信技術 (ICT) の研究開発の方向に関する提言

九州大学 理事・副学長
安浦寛人

あらすじ

情報通信技術 (ICT) は、過去半世紀で飛躍的に進歩し、社会基盤の根幹である各種社会システム自身を変化させてきた。半導体集積回路技術やネットワーク技術の飛躍的な進歩と、その成果の社会への急速な普及、そして技術自身の成熟とともに、社会の中での ICT の地位や利用形態も大きく変化した。これにあわせて ICT の研究開発や産業的な価値創造の新しい戦略を構築すべきである。また、対象となる市場自身も大きく変化している。開発途上国などの新しい巨大市場を視野に入れた戦略も求められる。一方、技術的課題も大きく変化しており、応用技術やソフトウェアから LSI の製造技術までシステム全体の諸問題を総括的にとらえ、世界的分業体制の中でどの部分で競争力を確保するかという新しい技術マネジメントの確立が重要である。社会システムは、新しい ICT の実験プラットフォームとして重要であり、また、それ自身が、時間的にも量的にも安定した巨大市場となりうる。

1. はじめに

半導体集積回路技術を始めとする情報通信技術 (ICT: Information and Communication Technology) の長足の進歩により、我々の日常生活は過去 50 年間で大きく変化してきた。また、我々を取り巻く種々の社会システム (行政システム、経済システム、交通システム、エネルギー供給システム、情報通信システムなど) もその形態や機能を大きく変化させてきた。これらの社会システムの多くは、ICT が存在しない 19 世紀の後半から 20 世紀の前半にその原形が設計・構築されたものである。20 世紀後半は既存の社会システムの中に、新しく開発された ICT をその神経系として部分的に導入し、社会システムの機能と効率を飛躍的に向上させてきた時代であった。

20 世紀は、「実現したい夢」は、すでに準備されており、ICT を用いて技術的・

経済的な解を見つける時代であった。すなわち、「How to make」の時代であり、製造技術や生産技術の差が、産業競争力の中心である時代であったといえる。21世紀に入り、既存のシステムの部分的な置き換えという従来型の市場から、これまで全くなかった新しい社会システムの構築という、新しい市場が生み出されてきた。それは、インターネットによって接続されたグローバルネットワークであり、開発途上国における固定電話時代を経ない携帯電話の普及であり、グーグルに代表される全く新しい産業が支配する市場であった。そこには、「実現されるべき世界像」のコンセンサスは存在せず、既存のシステムの延長上にはない破壊的イノベーションが次々と創出されている。

「How to make」から「What to make」が問われる時代へ変わると言われるようになってすでに10年以上が経った。しかし、我が国のICT関連の産業政策や研究開発の方針は、まだ従来型市場を指向し、「How to make」重視の姿勢を基本としているように思われる。本稿では、ICTと社会の変化を概観し、そこから市場や技術課題の変化について考察する。

2. 技術の成熟と社会の中での価値構造の変化

20世紀後半のICTの爆発的な変化は、社会や文化における価値の構造の本質的な変化を引き起こしている。ICT自身は微細化に伴う物理的な限界、システムの複雑化による技術的な限界、世界的な普及による経済的な限界などにより、ある種の成熟期を迎えている。その中で、技術自身も以下のような変化を遂げている。

1) 専門的機器から生活必需品への変化

1960年代には、官庁や大企業でしか利用できなかったコンピュータを中心とするICTが、携帯電話に代表されるような大衆製品となった。高価で専門家しか使わない道具から、廉価で一般人が簡単に利用できる技術となった。

2) 単体から環境への変化

コンピュータのように単体として意識されるシステムから、人々の日常生活の中に溶け込んだ環境としての組み込みシステムが主流となった。一人当たり、100個を超えるマイクロプロセッサを日常生活で無意識に使っている。客観的な対象としてシステムを見る立場だけでなく、システム内で生活するユーザーの立場からの議論も求められる。

3) 製品中心から運用中心への変化

ICT を利用した産業のビジネスモデルも、専門家向けの B2B モデルから B2C モデルへと変化した（参考文献 1)）。しかも、大量の組み込みシステムが各種の社会システムに組み込まれ、製品を作って売るベストプロダクト型よりも顧客の利用時を意識したカスタマーソリューション型やシステムロックイン型の戦略が有効な産業へと変化した。設計、生産、試験、販売、運用、廃棄のシステムのライフサイクルの中で、最も時間が長い運用時を重視したビジネスモデルが成功を収めている。IBM のソリューションビジネスへの移行、インテルやマイクロソフトのように周辺産業を自らの技術に縛り付けるシステムロックイン方式、グーグルやアマゾンのようにユーザーの全く新しいニーズを開拓し運用で稼ぐモデルなどがその好例である。すなわち、ICT 産業は、ユーザーが利用する段階での価値の創造や投資の回収が鍵となる産業構造へと変化していると言える。

このような変化の中で、製造技術の優位性を中核においた旧来型のビジネスモデルに注力するだけでは、大きな構造の変化を見失うことになる。例えば、エジソン以前は、好きなときに好きな音楽を聴きたい人は、自ら楽器を所有しその演奏能力を身につけるか演奏家を自分で雇える資力を持つしか方法がなかった。しかし、レコードと蓄音機の発明は、「レコードやプレーヤーの所有によって音楽を聴く自由」を人々に与えた。その後、放送が始まるとラジオやテレビの受信機の所有が重要となり、今では音楽データへのアクセス権が最も重要な所有対象となっている。「音楽を聴きたい」という目的に対し、個人が所有すべき「手段」は技術や社会システムとともに大きく変化するのである。産業から見ると、レコード盤やラジオ受信機の生産などは一時的には大きな産業となりうるが、新しい技術やシステムへと移行すれば、その産業的価値は急速に小さくなる。

特に情報関連技術においては、このような変化が極めて短い時間で起ってきた。1960 年代に産業的基礎が確立したメインフレームコンピュータの産業では、ハードウェアとソフトウェアそしてその上で利用されるデータやサービスは、すべて政府や企業など組織が所有するものであった。1980 年代のパーソナルコンピュータの出現により、これらは個人でも所有できるものとなり、巨大な市場が出現した。1990 年代以降、インターネットとその上の新しい利用技術が開発され、データやサービスの共有化が可能となり、検索サービスのような新し

い産業が生まれた。さらに、現在議論されているクラウドコンピューティングにおいては、ハードウェアやソフトウェアまでも共有する議論が進められている。

貨幣の世界にも新しい変化が及んでいる。紀元前 10 世紀頃から用いられてきた金属硬貨の時代には、金や銀の採掘・精錬・鑄造技術が貨幣システムの維持に重要な技術であった。硬貨が持つ「価値」は金属の希少性によって維持されていた。10 世紀に紙幣が発明され、「価値」は印刷された「情報」によって担われるようになり、印刷技術や製紙技術が重要な技術となった。電子マネーの登場にあたり、「デジタル情報」によって「価値」を担うために必要な新しい技術の確立が実用化と並行して進められている。この場合、IC カードやソフトウェアの製造技術だけでなく、運用時において偽金を検出・排除する技術など全く新しい中核技術が出現する可能性がある。このような大きな変化を前提とした研究開発や産業政策が重要である。

社会や産業の5階層モデル

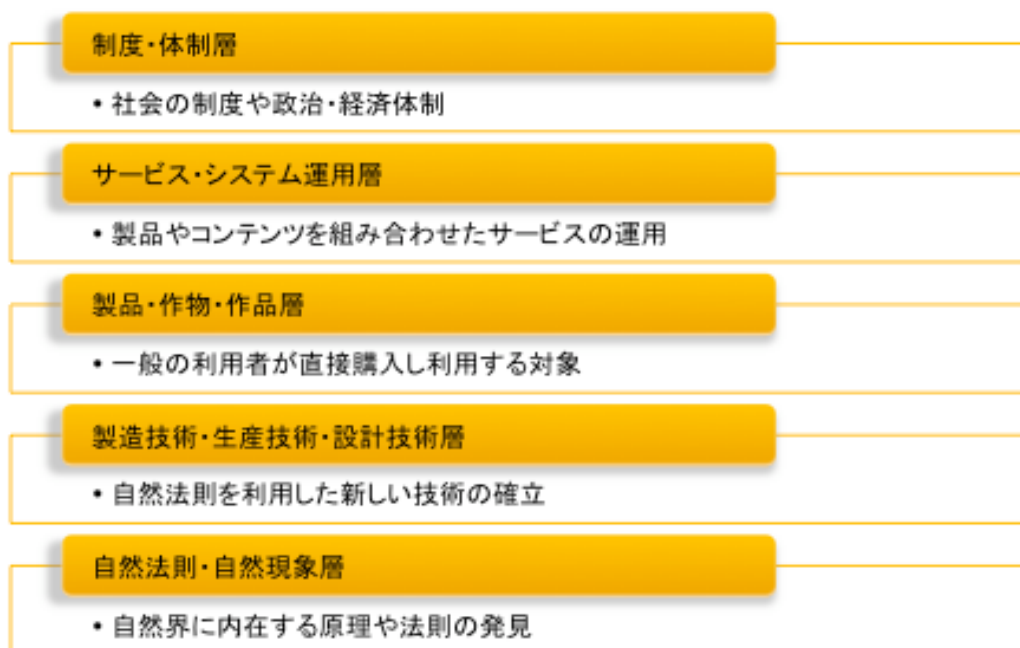


図1 社会・産業の階層モデル

17 世紀以降、人類は科学を武器として自然に内在する法則や未知の現象を解

明し、それをもとに新しい生産技術や製造技術を手に入れてきた。そして、大量生産を実現し種々の製品や作物を大量に市場に送り出す産業形態を作り上げた（図1参照）。20世紀は、新しい生産技術とそれによって製造された製品の大量販売が中心の時代であった。ICTもその文脈の中で生まれ、20世紀後半に飛躍的な発展をした技術であり産業であった。しかし、ICTは人類がかつて持ち得なかった高速で大容量の情報の収集・処理・蓄積・伝送を可能とし、人類の社会システムを根本的に変える原動力となった。経済のグローバル化は、その結果として引き起こされたと言っても過言ではない。ICTによって、各種の製品や資源を有機的に組み合わせるいろいろなサービスを展開するビジネスや、大規模で複雑なシステムを運用する産業が台頭した。インターネットサービスの他にも航空業や世界的物流サービスがその具体例として挙げられる。すなわち、ICT関連産業は、図1の製品階層から下を基本とした産業モデルからサービスや運用層、さらには制度や体制層が重要視される産業へと変化しているのである。このことを認識した研究開発戦略が必要である。

これまでの製造技術や製品に主軸をおいたベストプロダクト型の産業モデルから、サービスやシステム運用までを考えた産業モデルへの発展を考えるべきである。研究開発においても、製品の仕様を与えられたものと考えてのではなく、その製品を用いたサービスやシステム運用さらには社会制度まで考える思考ループを形成する必要がある。製品を用いたサービスの実験を行える研究開発のプラットフォームを構築し、製造技術や設計技術にフィードバックすることによって、サービスや製品の仕様決定において世界的な主導権を握れる産業構造を構築することが望まれる。

3. 主要マーケットの変化

ICT製品の市場も大きく変化している。1980年代までは、ICT製品の主要市場は、北米、西欧そして日本の約6億人であった。日本は、その中の20%の人口を占め、相対的に巨大なマーケットであった。日本市場で成功し、その後海外に進出する基本戦略は、非常に合理的なものであった。しかし、ベルリンの壁の崩壊後、東欧やBRICSの各国が市場となり、新たに約20億人がICT製品の購入層となった。この時点で、日本の1億2000万人は5%に満たない市場となった。もともと自国市場が小さな、韓国や台湾あるいはフィンランドの企業が、最初から世界市場を舞台とした戦略を構築したのに対し、日本企業の多くは従

来型の国内重視あるいは欧米中心の戦略のままであった。中国を中心とした新興市場の急速な拡大の中で、携帯電話や液晶テレビのビジネスでの日本勢の苦戦は必然的であったのかもしれない。

さらに、経済のグローバル化の中で、開発途上国を含む地球上のすべての地域が ICT の市場として認識されるようになってきた。既に、携帯電話は、固定電話はもとより、電力供給すら整備されていない地域においても、重要な社会インフラとして急速に普及している。特に、開発途上国を旧来型の援助対象と見るのではなく、新しいビジネスパートナーであり ICT の市場であるという見方が急速に拡大しており、それぞれの国の状況にあった技術を開発する活動が盛んに行われている（参考文献 2）。先進国市場で開発された製品が、数年遅れで開発途上国に利用されるというモデルではなく、開発途上国向けの新しい製品やサービスを創出し ICT の技術開発にフィードバックする研究開発が始まっている。このような世界的な流れにいかに対応するかが問われている。

開発途上国には、先進国にはない新しい技術的な要求がある。例えば、電力供給のインフラが整備されておらず、太陽光やバイオマスなどを用いた分散型の電力供給システムを同時に構築する必要がある。通信回線も基幹回線が十分に整備されていないので、長距離の無線通信の需要が大きい。保守や部品の供給の問題、高価な基幹システムの機器が先進国から中古品を輸入して構築されるという前提でのシステム構築、グローバル化を選択的に受け入れてローカル経済への打撃を小さくするシステム構築など、先進国市場では考えられない課題が数多くある。これらの課題の解決は、単純な先端技術開発の過程からは出てこない新しい技術ニーズであり、巨大な開発途上国市場を開拓することに直接繋がる。

今後の ICT 関連産業を支える主要市場としてどこに焦点をあてるかが、研究開発戦略を構築する上での大きな決断となる。

4. 主要技術課題の変化

主要な技術課題も変化してきている。ICT においては、微細加工技術の進歩に伴う製造プロセスや電源の揺らぎなどへの対応と、世界的なネットワークで接続された巨大システムの複雑さに起因する仕様や設計における不完全性への対応など新しい問題が表面化している。このような新たな問題が内在するにも関わらず、社会は益々 ICT への依存度を増している。各種社会システムを支える

ICTにおいては、社会全体の安全・安心を保障するための基本的な技術基盤の確立が求められている。ディペンダビリティ (Dependability) という新しい概念が広く議論されているのは、このような背景からである (参考文献 3) 4) 5))。

ディペンダビリティの議論においては、仕様・設計・製造・検査・流通・運用・廃棄 (あるいは更新) などシステムのライフサイクルの各ステージにおける物理的な故障、人的な誤りおよび攻撃などを総合的に障害の原因として考慮することが求められる。原因が物理的な揺らぎなどの自然現象、設計者・製造者・利用者などの人的なミス、ハッカーなどの悪意ある攻撃のいずれであるかにかかわらず、システムの障害を回避し、サービスを利用者が満足するレベルに維持し続ける技術が求められる。システムのライフサイクルの過程ごとの研究開発課題は以下ようになる。

- **仕様**：仕様策定段階においては、システムが利用される将来の環境を十分に予測し、対応策を設計段階に想定する必要がある。しかし、システムが大規模化・複雑化し、しかも当初想定できないような利用形態や他のシステムと接続される可能性がある状況での完璧な環境の予測は極めて難しい。仕様の策定に関わる技術の向上は、今後の ICT 関連産業の付加価値の大きな部分を占めると思われ、戦略的な研究開発の指針が求められる。
- **設計**：設計技術の重要性は、広く認識されている。我が国においては、製造技術の問題を設計技術でどのようにカバーするかに重点が置かれ、製品やそれによって構築されるシステム全体のディペンダビリティを向上するための技術開発の議論は緒に就いたばかりである。大規模で複雑なソフトウェアやハードウェアを十分なディペンダビリティを確保して設計する技術の確立に対して、より積極的な研究開発戦略が求められる。
- **製造**：我が国の ICT 研究開発、特に半導体を基盤とするハードウェア関連のプロジェクトは、製造技術の改良が中心であった。今後も、ものづくりの基本として、極めて重要な研究開発課題であるが、ライフサイクルの他の過程との連携を考慮しておかなければ、その効果は大きく削減される。
- **検査**：ハードウェアにおける製造後の検査工程は、物理的な故障を取り除く上で重要な工程である。検査の精度、検査中のミス、想定する故障の過程などが問題となる。我が国の品質管理の伝統的な強さを、ICT 全体

へ波及させる発想が必要である。

- **流通**：広く流通するシステムにおいては、製品の流通過程を単なる物の流れとしてみるだけでなく、市場と製造元や設計者を繋ぐ情報路としてとらえて、新しいビジネス形態を確立することが求められる。
- **運用**：運用時は、製品が利用される過程であり、ライフサイクルの中で最も長い段階である。ICT の特性を活かして、運用段階から得られる各種情報を、仕様や設計・製造に活かすとともに、運用状況に合わせて料金を回収するような新しいビジネスモデルの策定が重要になる。デバイスや部品の設計・製造であっても、この部分のビジネスモデルの違いの影響を極めて敏感に受けることを意識すべきである。
- **廃棄・更新**：環境問題や2次／3次利用などを考えた対応も重要である。新しい産業的な課題を生み出す重要な因子として認識する必要がある。

ICT においては、半導体の製造プロセスは2-3年で更新される。また、市場の好みによって変遷するアプリケーションソフトウェアなども1-2年の短期間で変化するものが多い。一方で、オペレーティングシステムや通信用のプロトコルは、5年から10年の比較的長い寿命を持つ。LSI やソフトウェアの設計ツールも5年以上の寿命を持つ。しかも、これら各階層の製品やツールの変化は同期しているわけではなく、ユーザーの利便性を犠牲にした技術変更が行われることもしばしばである。このような状況の中で、オペレーティングシステム、インターネットプロトコル、メールアドレスなど比較的息の長い技術を中心に、仕様や規格の核を握り、技術の主導権を持つことが研究開発戦略上、極めて重要になっている。

5. 技術開発プラットフォームとしての社会情報基盤

現代は、種々の社会システムを、ICT の存在を前提として設計し直す時代である。行政システムにおける電子投票システムは、民主主義や社会正義の実現の根幹に関わる問題を内包している。電子商取引や電子マネー等の経済システムの電子化は、徴税の方法や個人の資産管理等、国家の存在や個人の生活権に直接関わる社会構造ともつながっている。技術的にできることやその実現方法を議論するだけでなく、社会の安定性を確保し、安全で快適な社会生活を実現するためには「どのような社会システムを構築すべきか？」という原点に遡った

議論が必要である。さらには、ICTを利用して作る新しい社会システムの基礎となる価値観や社会自体の方向性に関する議論も技術と同時に議論されるべき問題である。人々が、その生命、財産、プライバシーなどを安心して委ねることのできる社会システムとそれを支える情報基盤（ディペンダブルな社会情報基盤）を構築する技術体系の確立が求められているといえる。

ICTの研究開発戦略の視点から見れば、これらの社会情報基盤の再構築は、ICTの新しい技術開発の格好のプラットフォームとなりうる。新しい技術開発の目標の明確化、仕様や規格の構築と世界的なイニシアティブの確立、新しい設計・製造・検査技術の研究開発、そして新しいビジネスモデルの考案と試行など、種々の挑戦を、新しい社会基盤の構築と並行して行えることは、非常に効率的である。例えば、電子コマース時代の徴税システムの構築など、技術的に世界で10カ国くらいしか挑戦できない開発においてイニシアティブがとれて、数十カ国に輸出できれば、その経済的・政治的効果は極めて大きなものとなる。

ディペンダブルな社会情報基盤の構築においては、

- 1) 数十年有効なグランドデザイン
- 2) 社会の安定と安全を確保する仕組み
- 3) 一般の人に分かりやすい原理
- 4) 個人を守るためのシステム
- 5) 地球環境に負担をかけないシステム
- 6) 長期間利用されるシステム

などの視点が重要である。「どのような社会を作るべきか」を考えて、技術開発を行う発想が、仕様や規格あるいは制度設計と連動した技術開発戦略となる。社会システムは、非常に長期間利用される。長期間有効なグランドデザインをいかに描くかが極めて重要である。この意味で、ディペンダブルな社会情報基盤の構築を国家的なグランドチャレンジと考えて、中期的・長期的なICTの研究開発を進めるためのプラットフォームとする構想は社会的にも必要である。

6. まとめ

情報通信システムを支える技術は、過去半世紀で飛躍的に進歩し、社会システム自身を変化させてきた。技術自身の成熟とともに、社会の中での技術の地位や利用形態も大きく変化した。これにあわせた研究開発や産業的な価値創造の新しい戦略を構築するべきである。

対象となる市場自身や技術課題も大きく変化している。開発途上国などの新しい巨大市場を視野に入れるべきである。ソフトウェアから LSI までシステム全体のディペンダビリティを制御する統一的な技術の確立が重要である。多くの社会システムが再構築される流れの中で、社会情報基盤は、新しい ICT の実験プラットフォームかつ巨大な市場となりうる。明確に国家的なグランドチャレンジを設定した上での、ICT の研究開発戦略の構築を提案する。

参考文献

- 1)アーノルド・ハックス、ディーン・ワイルド2世著、「デルタモデル—ネットワーク時代の戦略フレームワーク」サイコムインターナショナル訳、ファーストプレス、2007年。
- 2)C.K. プラハラード、「ネクストマーケット—「貧困層」を「顧客」に変える次世代ビジネス戦略—」、ウォートン経営戦略シリーズ、EIJI PRESS, 2005。
- 3) (独) 科学技術振興機構研究開発推進機構, 「戦略イニシアティブ：情報化社会の安全と信頼を担保する情報技術体系の構築—ニュー・ディペンダビリティを求めて—」, CRDS-FY2006-SP-07, 2006.
- 4) (独) 科学技術振興機構研究開発推進機構, 「戦略イニシアティブ：情報セキュリティの統合的研究推進—技術・法律・運用管理の一体化—」, CRDS-FY2006-SP-12, 2006.
- 5) (独) 科学技術振興機構研究開発推進機構, 「戦略プログラム：VLSI のディペンダビリティをに関する基盤研究—高信頼・高安全を保証する VLSI 基盤技術の構築—」, CRDS-FY2006-SP-13, 2006.