

シンビオティック・システムの実現に向けて

—人、社会、環境、情報システムの協調系—



情報システム基盤における Symbiotic Computing



原 良憲 *

hara@gsm.kyoto-u.ac.jp

山田敬嗣 **

kg-yamada@cp.jp.nec.com

* 京都大学経営管理大学院 ** 日本電気(株)メディア情報研究所

本稿では、Symbiotic Computing のコンセプトを、人に優しく、環境変化に強いしなやかなシステムと捉え、成熟ユビキタス社会での持続的な発展を支える情報システム基盤について言及する。しなやかなシステムの特性は、「見る・つなぐ・活かす」の技術統合を基本要素として実現できる。システム、情報、人のつながりへと順次適用することにより、新しい価値の創出をめざす。具体例として、パーソナルロボット、ディベングブルシステム、環境経営での適用を紹介する。システムを介した人と人とのかわり合いが促進され、企業・社会の活性化や、新しいビジネスの誘発が期待できる。今後は、システム実在化やライフライン化の進展が想定される。

ユビキタスをめぐる最近の動き

近年、「いつでもどこでも誰とでも」、また、「どんなものとも」つながるユビキタスシステムは、新しい社会インフラとして、急速に定着されつつある。「いつでもどこでも誰とでも」に代表される技術としてモバイルコンピューティングがあるが、それは、場所の利便性を高め、移動にも価値を見出すものである。また、「どんなものとも」に代表される技術は、コネクティドコンピューティングであり、それは、実世界と情報世界とをつなげるものである。この2つがユビキタスシステムの基本要素である。ユビキタスシステムを実現することにより、携帯電話の業務利用やおサイフケータイといったモバイル情報サービス、ワンセグや音楽・番組配信などの放送通信融合、無線LANによるホットスポット、RFIDを活用した生産流通革新など、新しい利用が限りなく広がっている(図-1)。

がっている(図-1)。

ユビキタスシステムの利点は、たとえば、オフィスの現場では、情報が発生した時点ですみやかに情報共有・意思決定が行えること(リアルタイム性)、オフィスにいらなくても仕事が途切れずにできること(継続性)、常に人や情報がつながっており、メディア情報等による分かりやすさがあること(利便性)などがあげられる。ユビキタスシステムの存在によって、仕事や生活をする空間は格段に広がり、また、情報処理の生産性や処理量も飛躍的に向上している。

しかしながら、一方では、情報爆発による種々の影響や、利用者がますます多忙になるといった過負荷の兆候も現れてきている。たとえば、インターネット上での情報検索やその応用サービスは、人々に能動的に情報活用を促進させた反面、活用の格差が広がったり、信頼性確保のための処理が増大してきたりしている。また、システム全体が複雑化、ブラックボックス化しており、システム利用に対する安心安全への要求も高まってきている。これらの課題は、情報システム中心の個別効率化を重視しすぎたり、場所など、機器の物理的な制限解消のみに目を向けすぎたりしていたことに起因する。いしかえれば、利用する人間側の状況を理解しないままでの一方的な効率化が進展して、結果的に、利用者の負担が増大してきたためではないかと考えられる。

Symbiotic Computing とは

Symbiotic Computing とは、成熟したユビキタス社会に向けて、人間や環境の側面を考慮した情報システムの利活用を促進するパラダイムである(図-2)。従来の情

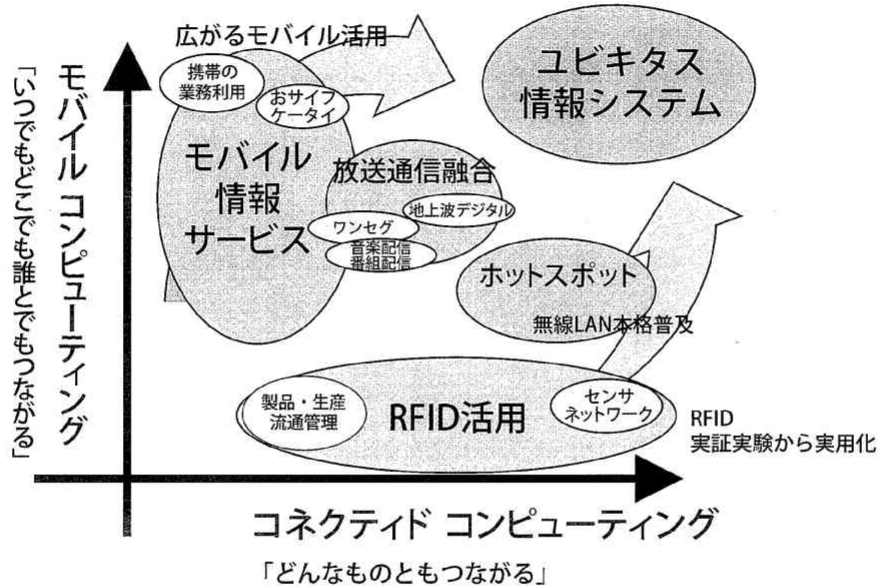


図-1 ユビキタスシステムの現況

人間や環境の側面を考慮した 情報システムの利活用 (新しい価値の創造)

Symbiotic Computing

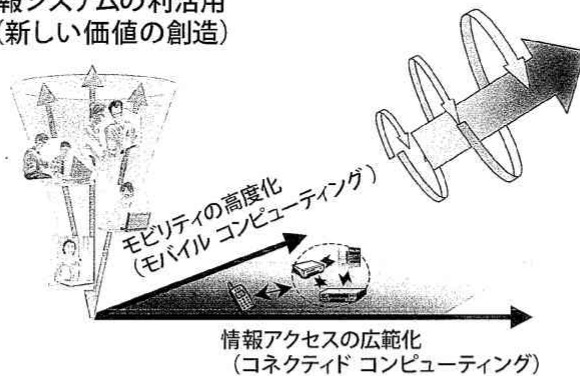


図-2 Symbiotic Computing

報システム基盤では、ハードウェアやソフトウェアの技術進歩を糧として、より性能の高い、より多機能な、また、より安価なシステムをめざしてきた。このような進展の背景には、人間側の情報処理や欲求・要求が十分に高度で、情報処理システム側がまだ匹敵できない道具であるという暗黙の前提があった。加えて、人間側の能力を活用することなく、情報処理システム側のみで技術革新の余地があることなども、前提とされていた。

ところが、近年では、このような前提が必ずしも成り立つ状態ではなくなっている。たとえば、「いつでもどこでも」情報の編集や共有が行えるユビキタスシステムは、従来組織における報告・意思決定に対する要求以上のことができる道具となる。このため、企業人は、より

早く、より広汎に、情報の編集や共有が行える反面、情報整理や創作にあてていた時間を削って対応せざるを得ないケースも増えている。これは、いわば、情報システムの処理サイクル高速化に、人間が組み込まれてしまう状況である。

また逆に、ムーアの法則の物理的限界など、従来型の技術革新のみでは、課題解決が本質的に困難になっている場合も顕在化してきている。たとえば、ユビキタスシステムにおける高度な認識や機械学習アルゴリズムは、CPU 高速化や並列処理化などと相まって進展してきたが、同時に、リアルタイムに精度よく処理するための限界も存在する。むしろ、入力情報を提供する人間・環境側で工夫することにより、このようなシステムのボトル

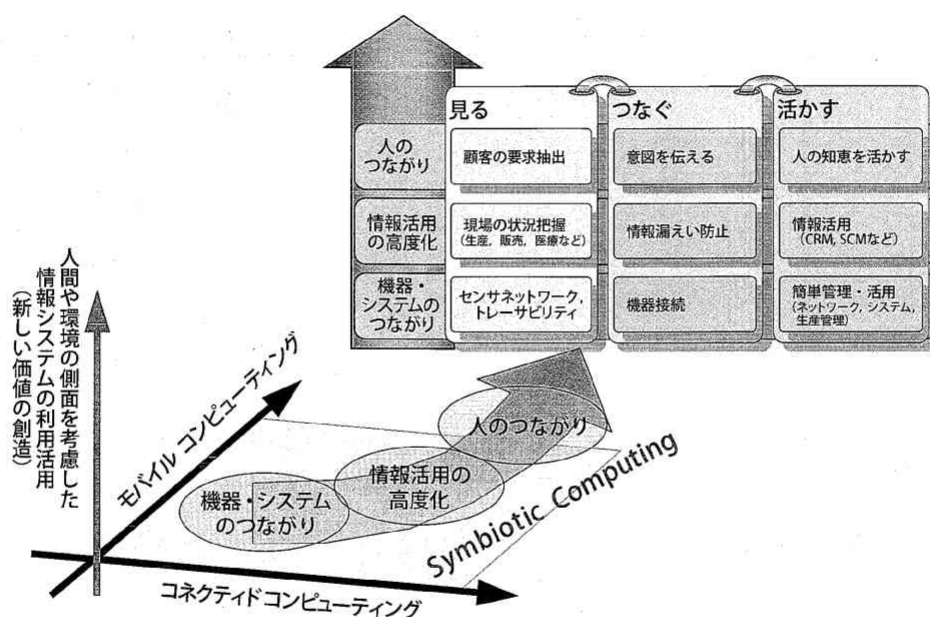


図-3 「見る・つなぐ・活かす」のアプローチ

ネックを回避できる場合がある。たとえば、機械翻訳における翻訳されやすい入力表現の考慮、映像認識における照明環境等の工夫などであり、いわば、情報システムの脆弱性を人間や環境側が補完するケースである。

我々は、このような状況を考慮しつつ、人間や環境を系に含む情報システムの全体的な最適化を Symbiotic Computing と捉え、本格的に到来するユビキタス時代の課題解決を図ろうとしている。

情報システム基盤において、Symbiotic Computing を具体化するための特性は、一言でいえば、人に優しく、環境変化に強い「しなやかさ」を備えることである¹⁾。人に優しいしなやかさとは、利用者である人間に負担をかけることなく、システム側で状況を察知して、問題解決が図れることである。加えて、システムを利用する形態が特別な条件である必要はなく、日常生活や仕事の場面で、ごく自然に(無意識的に)、利用できる状態である。もちろん、利用者が必要とあれば、どのように利用されているかが分かるように、追跡・理解・確認を行うことができる。

また、環境変化に強いしなやかさとは、社会や利用者の変化にも適応的に追従し、信頼でき、かつ、安心安全に、システムを持続する機能が備わっていることである。このような機能は、システム内部で自律的に運用管理されるのが望ましい。このためには、全体システムの状況を監視(モニタリング)し、状況に応じた分析・制御、ならびに、活用機構を有する必要がある。さらに、このようなしなやかさを持続させるために、システム内において、多様な要素を含む全体最適の計算処理メカニズムが

具備される必要がある。

見る・つなぐ・活かす— Symbiotic Computing をめざしたシステムの実現—

では、Symbiotic Computing で重要な要素となる「人や環境に対するしなやかさ」を、情報システム基盤としてどのように実現すればよいのであろうか。そのためには、人や環境の振る舞いの変化に対して、常に全体システムとしての特性が保たれる強靱さを持つと同時に、変化に対して、速やかに適応できる柔軟さを併せ持つ必要がある。これが、情報システム基盤に課せられる「しなやかさ」である。

筆者らは、このような強靱さと柔軟さとを確保するためには、システム本来の機能に加えて、「見る・つなぐ・活かす」という3つの情報処理プロセスを結合させ、現状の把握・分析による行動支援を行うことが基本であると考えた。そして、このような一連の処理を、「機器・システムのつながり」「情報活用の高度化」、さらには、「人のつながり」へと発展・適用することにより、情報システムの利活用を、より広汎なものとして、新しい価値創出をめざすことができるのである。このようなプロセスの実践により、システムを介した人と人とのかわり合いが促進され、企業や社会の活性化や、新しいビジネスの誘発が期待される。

図-3は、「見る・つなぐ・活かす」というプロセス、ならびに、個々の適用レベルに対して、価値創出の具体例を示したものである。特に「活かす」のフェーズの価値創出が重要であるが、「見る・つなぐ」のプロセスと一

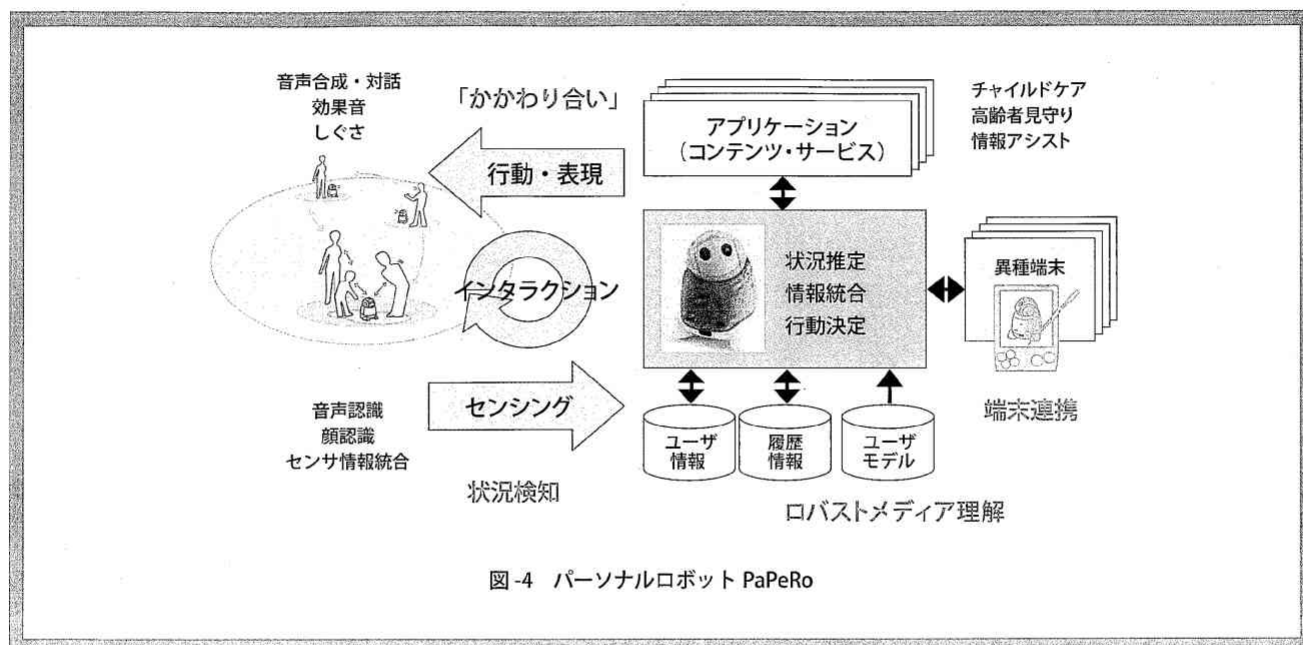


図-4 パーソナルロボット PaPeRo

体化することにより、タイムリーかつ高品質に実現が行える。

以下では、Symbiotic Computing をめざした活動の第一歩という位置づけで、「見る・つなぐ・活かす」のプロセスを具体的に理解していただくために、取り組み例を中心に説明する。

「人に優しい」PaPeRo

PaPeRo (パペロ) は、人と一緒に暮らしていくことを目標として開発されているパートナー型パーソナルロボット (Partner-type Personal Robot) である。単に便利な端末としてのロボットではなく、ロボットと一緒に暮らす生活という観点で研究を進めている²⁾。

人とロボットとの「かかわり合い」を円滑にするために、社会・臨床心理、認知・情報デザイン、倫理・哲学等の学際的な観点から、ロボットと接する人・家族・社会に着目して、調査を行っている。このような学際的な研究によって、たとえば、子供に対する無意識レベルでの影響や、実在的エージェントの有効性についての具体的な知見が得られている。これらの知見を活用して、PaPeRo では、チャイルドケアロボットや高齢者見守りロボットとしての応用が広がっている。

一方、情報システムの観点から考えると、人と一緒に暮らすためには、人やものの認識、人とのコミュニケーション、安全対策などの解決を行っていく必要がある。これは、Symbiotic Computing の要件である「人に優しい」振る舞いを実現することが、最も重要な共通要素であることを意味する。このために、ドメイン常識を組み込んだ状況検知フィードバック、音声・イメージのロバ

ストメディア理解、人とロボットとの協力によるタスク実行が重要である(図-4)。

日常生活においては、まわりの雑音や、利用者の声が大き過ぎたり、小さ過ぎたりする場合もあり、ロボットの音声認識としては、厳しい状況にも遭遇する。同様に、人とロボットの位置が近すぎたり、遠すぎたりする場合や、逆光など照明条件の厳しい場面で、イメージ認識を行わねばならない状況もある。

基本的には、従来の「雑音の少ない環境での高精度な認識技術」から、「悪環境でも利用可能な認識技術」に問題をシフトしている。音声認識エンジンでは、多くの雑音や距離の遠さに対応するハンズフリーロボスト音声認識技術や、くだけた日常語に対応する話ことば音声認識技術を実現している。また、イメージ認識エンジンでは、顔の向き、顔の表情変化、照明の変動、天候の変動など、さまざまな環境変化に強い顔・映像認識技術を実現している。

それでもなお認識が困難になる環境も想定できる。その場合にはロボットが自律的にすべての問題を解決しようとするのではなく、ロボット自身が状況の概略を判断し、ロボット自らにフィードバック対処行動をとる(システムが人に近づく)ことと、原因や対処法を利用者へフィードバックして、利用者にさりげなく協力を求める(人がシステムに近づく)ことを併用して、認識問題の解決をめざしている。このプロセスが、「見る・つなぐ・活かす」の統合による機能実現に相当するのである。実証実験では、認識エンジンの精度向上に加えて、認識失敗のケースが、このプロセスを導入することにより、さらに 1/3 に低減した結果が得られている。

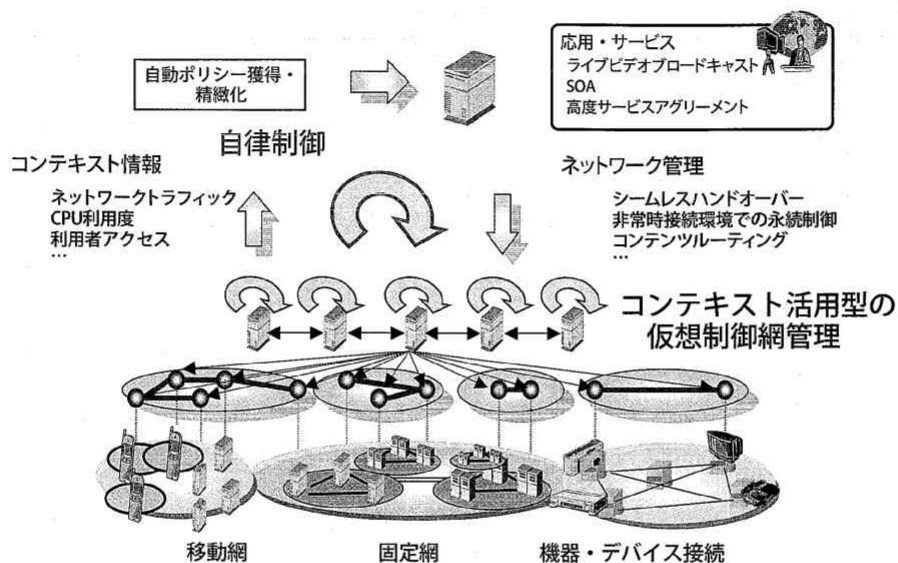


図-5 コンテキスト活用型の仮想制御網管理

「環境変化に強い」ディペンダブルシステム

次に、「環境変化に強い」Symbiotic Computing のシステム基盤例として、ディペンダブルシステムについて紹介を行う。ディペンダブルとは、まわりの環境変化に対しても、高信頼、かつ、セキュアな特性を提供できるという「頼りになる」状態である。ディペンダブルシステムは、特に、システムが大規模、複雑化してもこのような特性を維持できることが鍵である。

一例として、いろいろな端末がネットワークを介して接続され、端末同士が連携してサービスを提供する場合を考えてみよう。たとえば、利用者がテレビ番組を視聴する際に、自宅のパソコンや、移動中の携帯電話、さらには自動車のナビゲーションシステムなど、時と場所に応じた端末で、継続的に情報アクセス(=番組視聴)を行う場合などである。この場合においては、端末機能や性能の多様性、ネットワーク機能の多様性のため、ともすれば、切り替え操作が複雑になったり、接続品質の低下が引き起こされたりする。

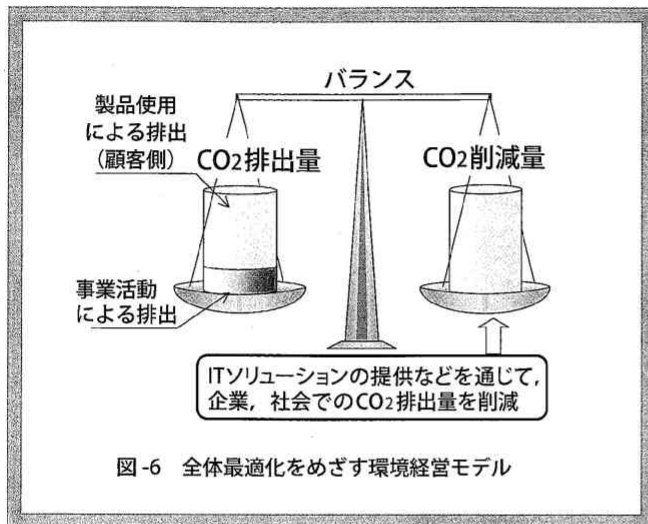
このような問題を解決するためには、ネットワークに接続されたさまざまな端末に対して監視・制御できること、また、状況に応じて、端末やサーバ間での情報共有・ハンドオーバーができることなどが必要である。つまり、車や組み込みデバイスを含む非常に多数の異種端末が、動的にネットワークに接続されたり切り離されたりしている状況(広域ヘテロ・非常時接続環境)において、ネットワーク監視管理の課題を解決することである。従

来は、あらかじめ設定したポリシー(実行・運用規則)に基づく監視管理を行っていたが、環境変化に動的に追従することはできなかった。

上記のような環境変化に動的に追従するシステムを実現するためには、Symbiotic Computing の考え方が役立つ。たとえば、コンテキストを活用してネットワークを自律的に監視管理することで、通信帯域やストレージの高信頼性を維持できる。具体的には、まず、ネットワークトラフィック、CPU 利用度、利用者アクセスといったコンテキスト情報を、動的に取得する。そして、ポリシーの自動獲得や精緻化を行って、動的かつスケラブルに、ネットワーク中継路制御や、アーカイブデータ管理を実行する(図-5)。

自律的な情報管理機構は、広域ネットワークを対象とするだけでなく、企業における基幹業務システムの運用へも適用できる。近年では、企業間の合併や分割に付随して、情報システムも統合・分離せねばならないケースが増えているが、企業間の異なったポリシーの調整や、新しい企業・組織に対応したポリシーの生成などを、速やかに実現する必要がある。このようなポリシーの生成・精緻化・統合化を実現するのが、自律管理機能のあるディペンダブルシステムである。自律管理機構の導入により、変化するビジネス環境への柔軟な対応が実現でき、システム状態の理解も分かりやすいものとなる。

また、ディペンダブルシステムは、高信頼性の追求だけでなく、企業情報システムセキュリティとして、安心安全面の担保にも役立つ。これは、ファイアウォールのような侵入防御のアプローチとは異なり、システム内部



の挙動をリアルタイムに分析して、セキュリティ向上の対策立案、ならびに、実施を行うものである。このようなシステムでは、セキュリティ防御境界も柔軟に変更することができる。環境変化により、万一、防御が破られたとしても、システムを維持する上で、必要な対策を講ずることができる。

上述のディペンダブルシステムの例でも示されているように、自律的な情報管理機構が、「環境変化に強い」技術の核となる。また、これ以外にも、最先端の機械学習技術や情報マイニング技術を駆使し、「見る・つなぐ・活かす」をサイクルによって実現するリアルタイム情報収集・分析・活用のエンジン・インフラ基盤の構築が進められている。Symbiotic Computingをめざしたこのような情報インフラ基盤の整備により、永続性、安定性、セキュリティなど、社会や人の依存度が増加するライフラインとしての特性が具備される。ユビキタスネットワークにおけるライフライン性の強化も、電力網や水道網が社会基盤として必要不可欠になったのと同様の経緯で、今後、発展していくものと想定される。

全体最適化をめざす環境経営モデル

Symbiotic Computing のコンセプトを具体化する別の対象領域として、文献3)に引用した環境経営モデルを紹介する。これは、環境および企業活動と、情報システムとの共生を図ることで環境バランスをめざすものである。CO₂総排出量を例にとると、製品使用による顧客側CO₂排出量と生産企業自体の事業活動によるCO₂排出量の総和に対し、次世代ユビキタス情報システムの提供を通じて、CO₂排出を削減できる量でバランスを図る(図-6)。具体的には、製品の省エネ化、情報システムを利用した環境負荷の小さな事業構造への転換、資源生産性の倍増、環境意識の向上などにより、排出量を相

殺させ、CO₂排出量の実質「ゼロ」をめざして行動するものである。

この環境経営モデルは、顧客や生産企業を含む企業の持続的発展を阻害することなく、環境に配慮した全体最適をめざす経営理念に基づく。すなわち、人間や環境の側面を考慮した情報システムの利活用を促進させるというSymbiotic Computingを企業経営に適用したものである。注目すべきは、個別削減目標のみの設定では、企業の持続的発展を阻害し、結果的に環境を悪化させてしまう場合も否定できないが、全体のバランスを目標におく環境経営では、企業発展を調和的に維持できることである。

このような考え方を反映した環境経営情報システムは、まだ実現できているわけではないが、社会厚生的にも有益なシステムである。いままでの議論から推察されるように、「見る・つなぐ・活かす」のプロセスを顧客、生産企業間に導入することにより、システム実現を行い、調和のとれた企業の持続的発展をめざすことができる。

Symbiotic Computing による価値の創造

人間や環境を考慮した情報システム利活用による価値創造の議論は、国内外の研究部門や組織などで、学際的になされている⁴⁾。関連する活動としては、たとえば、東北大学白鳥則郎教授グループ⁵⁾、MIT石井裕教授グループ⁶⁾や、本特集に寄稿している研究グループなどがあげられる。まだ、共通のコンセンサスが得られているわけではないが、このような価値創造にまつわる動向は、以下のようにまとめられる(図-7)。

(1) 人間への適応

個別の人間の違いに着目し、創造性実現の支援、脆弱性や処理限界に対する支援への価値創造を行う。人に近づくコンピュータ、気づき、対話、メンテナビリティなど。

(2) 情報(コンテンツ)処理の高度化

大量情報の中から意味あるものを収集・統合・分析・提示し、人間やシステムが処理しやすい形態で価値創造を行う。リアルタイム情報活用、信用創造、セマンティックコンピューティング、パーセプチュアルウェアなど。

(3) システムの高度化

ITネットワークやデバイスの処理高度化による価値創造を行う。自律制御、自己組織化、クロスレイヤ設計、ネットワークウェア、アンビエントエレクトロニクスなど。

(4) ビジヨナリー性

ユビキタスにまつわる新しいコンセプト、使い方、サービスを規定し、価値創造を行う。Calm Computing、

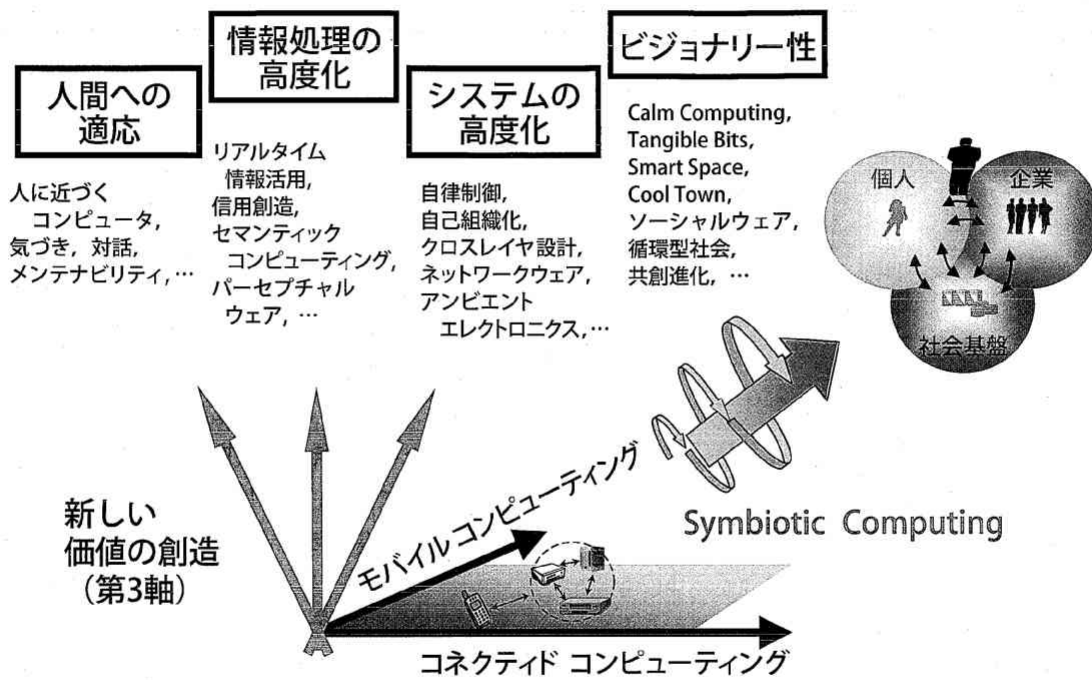


図-7 Symbiotic Computing による価値の創造

Tangible Bits, Smart Space, Cool Town, ソーシャルウェア, 循環型社会, 共創進化など。

今後の展開

以上, Symbiotic Computing に対する考え方と, その実現をめざした第一歩として, 具体的システム事例を交えて説明した。「しなやかさ」のあるシステム特性は, 「見る・つなぐ・活かす」の技術統合を基本要素として実現できる。システム, 情報, 人のつながりへと順次展開することにより, システムを介した人と人とのかわり合いが促進される。そして, 人間や環境と共存する情報システム基盤の実現により, ユビキタス社会が成熟し, その持続的な発展を支えるライフラインが完成する。このようなめざすべきシステムの一端を, パーソナルロボット PaPeRo, ディベンダブルシステム, 環境経営といった具体例を用いて紹介した。

今後の Symbiotic Computing 実現に向けての発展方向としては, フロントエンドとしてのシステムの実在化(タンジブル化)が進むと同時に, バックエンドとしてのシステムのライフライン化(無意識化)も進展していき, 二極化が進むと想定される。前者は, システム・人間相互の状況共有の促進を進める自然な流れから分化し, また, 後者は, さらなる安心安全や, 高信頼を担保すべく,

ユビキタス・コンピューティングの本来である Mark Weiser が提唱した Calm Computing⁷⁾の原点に立ち返っていくのではないかと考えるためである。

このような技術の展開を図る際には, 以前にもまして, 異分野・異種技術の融合が重要になる。特に, Symbiotic Computing としては, 社会・経済系の知見の適用や, 生物・生態の情報処理プロセスの適用などが有用になってくるであろう。また, 新しい計算規範に基づくプロダクトやサービスの実現と, その市場, 社会への還元も, 非常に興味深く, 挑戦的な目標である。

参考文献

- 1) Hara, Y. and Ebino, Y. : Advanced Ubiquitous System Technologies for Symbiotic Evolution, NEC Journal of Advanced Technology, Vol.2, No.2, pp.164-169 (2005).
- 2) <http://www.incx.nec.co.jp/robot/papero/index.html>
- 3) <http://www.nec.co.jp/eco/ja/management/vision2010.html>
- 4) 佐川, 林, 原, 水田, 船橋 : 産業界が次に目指す AI 世界, 人工知能学会誌, Vol.21, No.3, pp.320-337 (2006).
- 5) Shiratori, N. and Sugawara, K. et al. : Flexible Networks : Basic Concept and Architecture, IEICE Transaction on Communications, E77-B, 11, pp.1287-1294 (Nov. 1994).
- 6) Ishii, H. and Ullmer, B. : Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, ACM CHI'97, pp.234-241 (1997).
- 7) Weiser, M. : The Computer for the Twenty-First Century, Scientific American, pp.99-104 (1991).

(平成 18 年 7 月 3 日受付)