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—

1 Symbiotic Computing
—ポスト・ユビキタス情報環境へ向けて—

白鳥則郎 * norio@shiratori.riec.tohoku.ac.jp
菅沼拓夫 * suganuma@shiratori.riec.tohoku.ac.jp
小出和秀 * koide@tohoku.jgn2.jp
菅原研次 ** suga@net.it-chiba.ac.jp
藤田　茂 ** fujita@cs.it-chiba.ac.jp
* 東北大学電気通信研究所　** 千葉工業大学情報科学部

共生社会へ向けた Symbiotic Computing

高度な情報通信技術に立脚したユビキタス情報環境のもとで，いつでもどこでも利用者が，利便性の高いサービスを享受できるユビキタス情報社会を迎えつつある．しかしながら，利便性がもたらす光の部分に対して，情報洪水，ディジタルデバイド，IT 犯罪など影の問題が発生している．このような課題を解決し，約 10 年後の 2015 年のポスト・ユビキタス情報環境の実現へ向けて，人，社会，情報環境を総合的な協調系としてとらえ，これらが共生する世界，すなわち「共生社会」の実現に大きな期待が寄せられている．このような共生社会へ向けて，筆者らの研究グループは，1994 年に「共生」に基づいた情報システムの概念 [1] を提唱し，研究開発を進めてきた [2)〜6)]．本稿では，その核となる「Symbiotic Computing」と応用について概説する．なお，詳細については，Web ページ [6)] を参照されたい．

現在のユビキタス情報環境では，現実空間とディジタル空間の間に大きなギャップが存在する．具体的には，ディジタル空間は，情報に関して特に量的に日々豊かになっている．一方，現実空間の多数の人は，このようなディジタル空間の恩恵を十分には受けていない．むしろ，ディジタルデバイドや情報洪水，IT 犯罪などによって不安感さえ持つ人々もいる．これは，主として，ディジタル空間側に人や社会について理解する仕組みが存在しないため，その結果，現実空間で必要な支援を提供できていないことに起因する．このような，ディジタル空間と現実社会の落差を「u-Gap」と呼ぶ．

Symbiotic Computing とは，共生社会へ向けて，u-Gap の解消，すなわち「u-Bridge」を構築するためのコンピューティングである．具体的には，次の 3 つの技術を核とするコンピューティングである．(1) パーセプチャルウェア：ディジタル空間が提供するサービスを直感的に理解するための感覚的現実感を実現するソフトウェアの総称，(2) ソーシャルウェア：ディジタル空間が提供する社会活動を支えるサービスの社会的現実感を実現するためのソフトウェアの総称，(3) ネットワークウェア：現実社会とディジタル社会の間のコミュニケーションを支援・強化するソフトウェアの総称である．Symbiotic Computing は，これら 3 種類のソフトウェアを実現するためのモデルと技術を提供することにより，人や社会の活動を能動的に支援する新しい情報環境を構築するための情報処理基盤技術である．これにより，ディジタル空間が現実空間に対して人間性，社会性に基づく情報サービスを発展的に提供することが可能となり，すべての人が，いつでもどこでも安全・安心・快適に，必要な情報やサービスを得ることができるポスト・ユビキタス情報環境に基づいた共生社会の創出が期待できる．本稿では，分かりやすさの観点から，まず開発事例を述べ，次に Symbiotic Computing の概念，基本モデル，アーキテクチャ，および技術について概説する．

Symbiotic Computing に基づく開発事例

Symbiotic Computing に基づいて筆者らが開発を進めている代表的な事例を紹介する．

(1) やわらかいネットワークシステム [2)]

（http://symbiotic.agent-town.com/01-j.html#fnet）

やわらかいネットワークシステムは，従来の TCP/IP などのネットワーク層とアプリケーションサービスの間に「やわらかいネットワーク層」を導入したネットワークアーキテクチャを持つ．ここで，「やわらかいネットワーク層」は，エージェントとよばれる自律的なソフトウェアモジュールから構成され，協調処理や自己組織化により，利用者，アプリケーションサービスとネットワーク層に対して，これらの協調に必要な機能を動的に創生する能力を持つ．これによって，利用者要求やアプリケーションの変化，およびネットワーク層の変化を自律的に吸収し，人とネットワークの共生を支援する安定したネットワークサービスを提供する．

これまで，「3 次元共生空間システム」や，「自律型アドホックネットワークシステム」などを研究開発してきている．さらに共生社会の基盤となるユビキタスネットワーク管理のための「Mobile IPv6-MIB」を提案，開発し，2006 年 4 月に IETF の国際標準に認定されている．

(2) 利用者にやさしい見守り支援システム

① Case 1：屋内（高齢者の見守り支援システム）

（http://symbiotic.agent-town.com/06-j.html#ueyes）

インターネットやカメラなどのデバイスを利用した，いつでもどこでも高齢者を遠隔から見守るための支援システム「uEyes」を開発している．たとえば心臓疾患を患っている高齢者を家族が遠隔から見守る場面においては，鮮明な映像で見たいという利用者要求に応じ，双方の位置情報を用いて，その周辺を探索し，利用可能な高精細 DV カメラと大型液晶 TV によって高齢者の顔色が鮮明に見えるシステムが自律的に構成された．このように，見守る，見守られる双方に重点を置いた高度な遠隔見守り支援が実現されている．

② Case 2：屋外（子供の見守り支援システム）

Symbiotic Computing を利用した子供見守り支援システムは，位置情報などの GPS からのデータに対して社会知，個人情報，地域情報などを効果的に組み合わせることにより，知的な支援を実現する．本システムは，子供の周辺のアウェアネスや，子供と周辺の人の意図の推定などを含めた見守り情報を適切に提示することにより，子供を見守っている関係者の負担を大幅に軽減することが期待できる．

(3) RUIS：ソーシャルウェアに基づく地域情報基盤

（http://symbiotic.agent-town.com/06-j.html#ruis）

地域情報基盤：RUIS (Regional Ubiquitous Information System) は，地域住民のコンテクストに基づいて「地域情報」を活用するための情報基盤を，アプリケーションに提供する．RUIS は，センサネットワーク，携帯電話などの情報端末，Web からの情報を自律的に取得し，分析することにより，その地域の社会知を形成することを支援する．この社会知とユビキタス環境からの信号により認知した情報を用いて，地域住民の活動の状況や意図を理解し，それを効果的に支援する．たとえば，スーパー A の特売情報をメール配信する場合，サービスの内容とサービスを受ける主婦との社会的な関係からサービスの提供範囲を変化させ，「スーパー A 周辺にいて買い物をしている，あるいは買い物ができる人のみに特売情報送る」といった処理を可能にする．詳細は上記 URL を参照されたい．

(4) 2015 年へ向けた高齢者支援システム

筆者らがすすめている，上記の 3 つの研究事例は，(a) ユビキタス環境からの信号を認知し，機械処理可能な現実空間認知モデルを形成する，(b) Web 空間の情報を自律的に検索・分析し，Web 空間認知モデルを形成する，(c) 2 つの認知モデルと，社会知を用いて，安全，安心，利便性の観点から社会活動を支援する，というコンピューティングの確立に向けたパイロット研究である．これらの研究を進めることにより，2015 年を目標に，このコンピューティングを用いて達成される技術のイメージを**図 -1** に示す．同図においてユビキタス情報環境は，センサネットワーク，情報家電，ITS，ロボットからの情報を，パーセプチャルウェアにより，リアルタイムで認知モデルに変換する．これと Web 空間に蓄積されている情報を使ってソーシャルウェアは，現実社会に必要な支援や情報サービスを提供する．たとえば，自走カーでの高齢者の送り迎えの指示，掃除ロボットへの指示，高齢者の健康や嗜好を配慮した食事の管理，離れて住んでいる家族の間のコミュニケーションの支援など，プライバシーを侵さず，かつ，必要な社会的サービスを提供する．

Symbiotic Computing

ユビキタス情報環境におけるu-Gap問題

現実空間（RS: Real Space）における人々が，ディジタル空間（DS: Digital Space）に存在するサービスを受けようとしても阻害され十分に受けられない．この阻害要因を u-Gap と呼ぶ．たとえば，ディジタルデバイドや

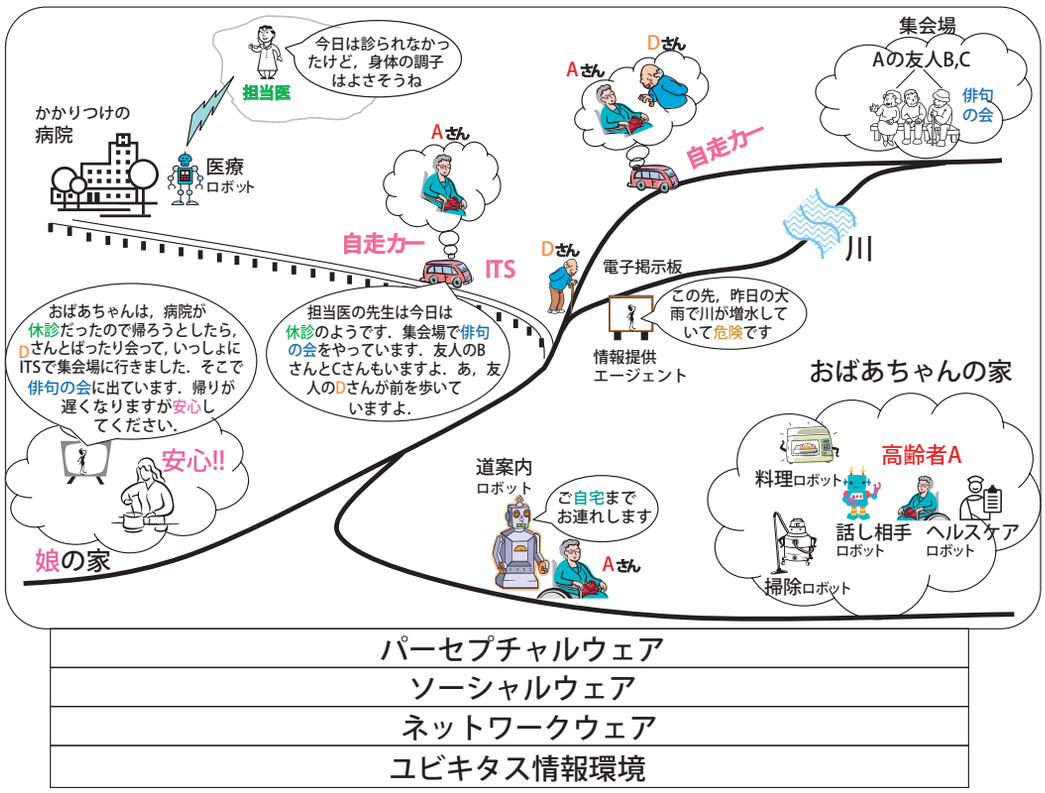

図 -1　2015 年へ向けた高齢者支援システムと未来社会

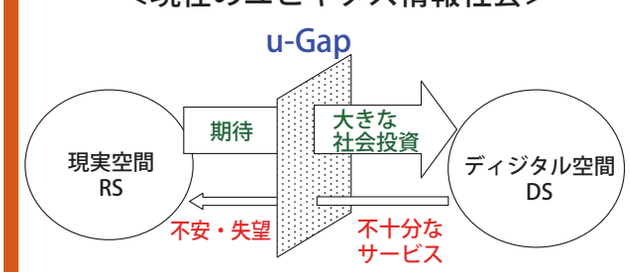

図 -2　u-Gap 問題

情報洪水の問題などが u-Gap の例である．**図 -2** に示すように，これまでディジタル空間の構築を目指して，技術的，人的，さらに財政的にも多大な社会投資を行い，大きな効果が期待されてきたが，地域の活性化や，国際的競争力の強化には十分つながっていない．これは，u-Gap を埋める技術の開発を怠ってきたことに起因する．

たとえば，ユビキタス環境を前提にした②の「子供の見守り支援」システムを例に，u-Gap を説明する．

これまでのシステムでは，通学路を外れた場合，警報と現在位置のみが携帯電話を利用して伝えられるが，警報が頻繁に発生し，そのたびに，関係者が安全を確認することの負担が大きいといわれている．すなわち，親の要求としては，子供が通学路を外れた事象だけではなく，はずれた理由，子供の周りの状況，子供の意図などが分かれば，危険と安全の判断を容易に行うことができる．しかしながら，現在の子供見守り支援は，このような親の希望をかなえることは難しい．

一方，Web 空間には，地域や学校の行事，地域の商店街や施設の情報が蓄積されている．また，地域住民の GPS 情報の獲得も困難なことではない．これらを用いると，親が真に期待しているサービスを十分提供できる可能性がある．このような，DS に存在する有用な情報の適切な提供が阻害されるとき，これを u-Gap と呼ぶことにする．

Symbiotic Computingとは

u-Gap 問題を解消するには，相手の状況をいかに理解するかがポイントである．具体的には，RS と DS における「共認知」を実現することである．ここで，共認知は **図 -3** のように，RS 認知と DS 認知からなる．RS 認知は，RS の社会知，個人の特性，環境情報などを DS が自律的に獲得することである．DS 認知は，DS の情報，知識，サービスなどを RS に適切に分かりやすく表示，提供することである．このように共認知とは，RS と DS に相互認知が実現された状態である．

たとえば，DS は，RS のコンピュータ，センサネットワーク，モバイル端末などから，RS の情報を自律的に

取得し，RS における人の活動を認識して，その要求・意図を理解し，RS に適切な情報，サービス，知識を能動的に提供する．u-Gap 問題の解消には，このような，DS と RS の共認知がきわめて重要である．

これまで，能動的な RS に対して DS は受動的であった．Symbiotic Computing とは，DS に自律性を創生し，RS と DS の共認知を実現するためのコンピューティングである．

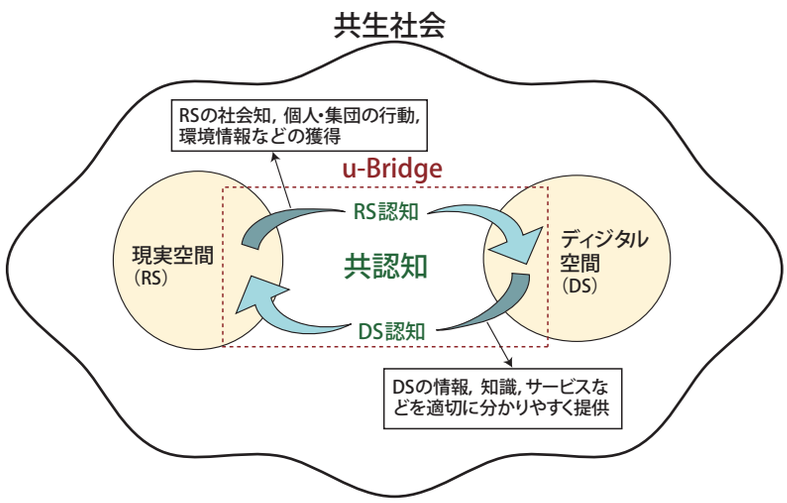

図 -3　RS と DS の「共認知」による u-Gap 解消（u-Bridge）と共生社会

Symbiotic Computing を実現する新しい軸

Symbiotic Computing は，**図 -4** に示すように，ユビキタスコンピューティングと Web コンピューティングに，新たに「P/S（Perceptual/Social）コンピューティング」を加えた 3 つの軸の統合により実現される．

従来のユビキタスコンピューティングは，モバイルとパーベイシブの 2 つの軸により構成され展開されてきた．モバイルコンピューティングは，ネットワーキングの高度化や，通信端末の小型化などによって，いつでも，どこでも，だれとでも通信可能な環境を実現するための技術である．また，パーベイシブコンピューティングは，Invisible/Ambient/Disappearing/Calm/Connected Computing などのように，計算能力の環境埋め込みによって，サービスがいたるところに，何にでも埋め込まれる環境を実現するための技術である．Web コンピューティングは，DS の情報やサービスを分かりやすく容易に RS の利用者に提供する技術である．Symbiotic Computing では，図 -4 のように新たな第 3 の機軸として「P/S コンピューティング」を導入する．P/S コンピューティングは，人と社会に着目し，現実社会の人間性や社会性を DS に効果的に組み込んで，人に最適な情報やサービス提供を実現するためのコンピューティングである．

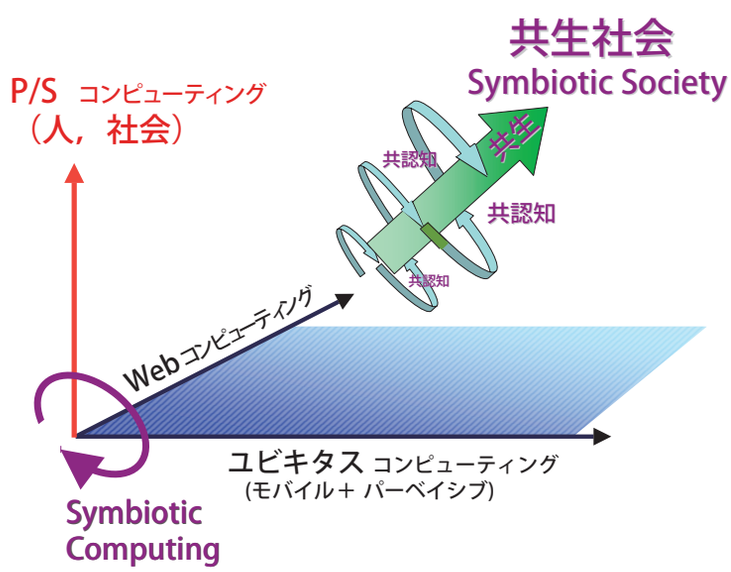

図 -4　Symbiotic Computing を実現する 3 つのコンピューティング軸

Symbiotic Computingのモデルとアーキテクチャ

Symbiotic Computing のモデル

図 -5 は，ユビキタス，Web と P/S コンピューティングに基づき，共認知を実現して u-Bridge を構成し，RS と DS の統合を実現する Symbiotic Computing のモデルを示す．ここで，P/S コンピューティングは，感覚的現実感のためのパーセプチャルコンピューティングと，社会的現実感のためのソーシャルコンピューティングからなっている．パーセプチャルコンピューティングは，RS と DS からの信号／データを獲得・処理（識別，表現，操作）しソーシャルコンピューティングへ伝達する．また，ソーシャルコンピューティングは，パーセプチャルコンピューティングからの信号／データを用いて社会知や個人モデルに基づき，社会における利用者の活動を理解し，それに対して適切なアドバイスや情報提供を行うために，図 -5 に示す諸機能・技術を実現する．

高齢者の見守り支援システムの例を用いて，u-Gap を解消する Symbiotic Computing について説明する．子

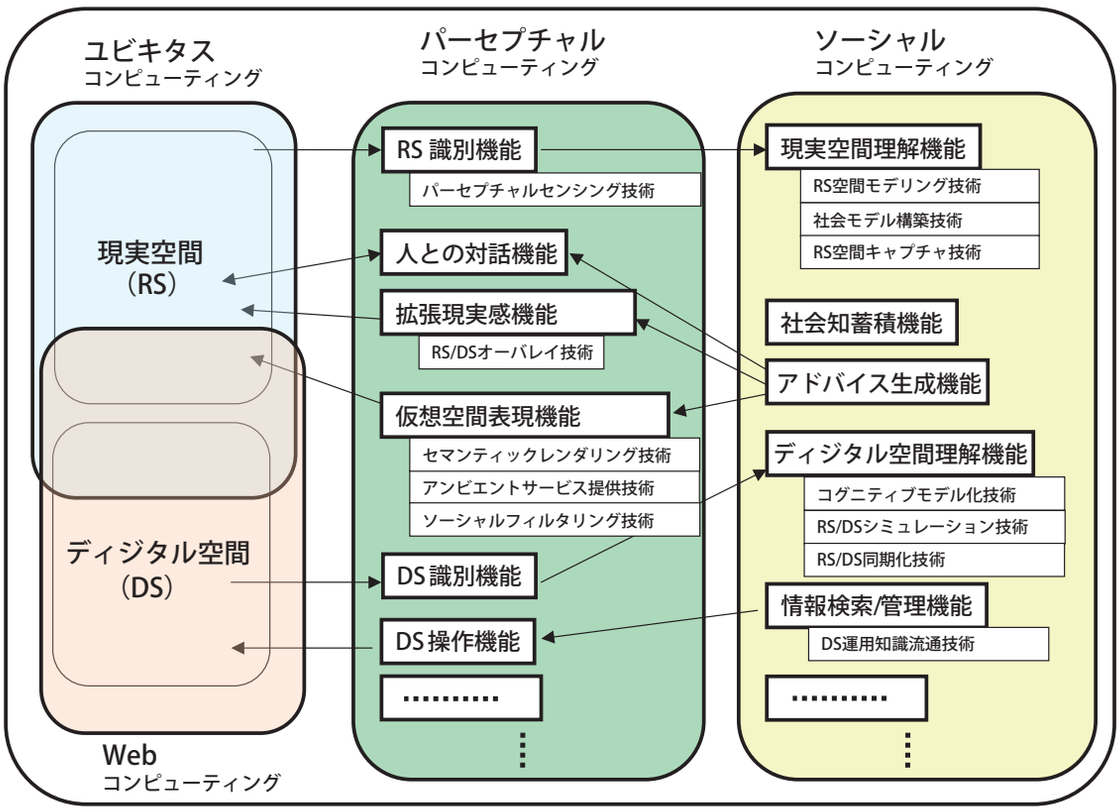

図 -5　ユビキタス，Web と P/S コンピューティングに基づく，RS と DS の統合および Symbiotic Computing のモデル

供の見守り支援と同様に，高齢者の見守り支援においても，従来システムのサービスのように，行動範囲からの逸脱に対して単にアラームを通知するだけでは，肉親は高齢者の周りの状況を確認するためにさまざまな行為をしなければならず，u-Gap の解消には十分に役立っていない．行動範囲の逸脱の理由や，高齢者のアウェアネスを提供することが重要である．この問題に対して，Symbiotic Computing では，以下の 2 つの機能の実現によって u-Gap を解消する．

- 高齢者の周りの状況を認識する機能（パーセプチャルコンピューティング）

　地域住民や近隣の親戚などに関する GPS などの位置情報を用いて，対象の高齢者のアウェアネスを獲得する．たとえば，高齢者の周りに人は大勢いるか，知り合いがいるか，天候はどうか，健康状態はどうかなどを認知する．

- 高齢者と周りの人の意図を推定する機能（ソーシャルコンピューティング）

　パーセプチャルコンピューティングにより得られた，高齢者と周りの人や環境の情報を使い，これと，地域イベント情報，地図情報，事故情報などの地域情報や個人の嗜好，習慣などを組み合わせることにより，高齢者と周りの人の意図を推定する．

　例として，高齢者 A が，W 病院に診察のために向かったが，W 病院が休診で，引き返す途中で知人 B に偶然出会い，近くの喫茶店 Y で話し込んでいるという状況を想定する．パーセプチャルコンピューティングの RS 識別機能は，各住民が持っている GPS の信号から，高齢者の周りの状況を識別し，ソーシャルコンピューティングの現実空間理解機能に伝える．具体的には，RS 識別機能は，高齢者 A が喫茶店 Y にいること，A の移動経路，人物 B が A の周りにいること，B はどれほど前から A の近くにいるのか，などの認知情報を獲得する．現実空間理解機能は，この認知情報に基づいて，B が A の友人であることを理解する．また，A はいつもその時間に W 病院に行くのだが，その日は急に休診になったことをソーシャルコンピューティングの情報検索／管理機能を使って知る．この後，DS は自律的に，A の帰宅を待つ肉親に対して，行動範囲逸脱のアラームだけではなく，たとえば，「W 病院が休診で，引き返す途中に，10:30 に知人の B さんと会う．5 分間一緒に歩いた後，帰宅の経路を外れて喫茶店 Y へ入った．」という

情報提供を行う．

Symbiotic Computingのアーキテクチャ

前節で述べた図 -5 のモデルに基づき Symbiotic Computing を実現するシステムアーキテクチャの概念を**図 -6** に示す．本アーキテクチャは，以下の 3 つのウェア，すなわち，パーセプチャルウェア，ソーシャルウェア，ネットワークウェアによって構成される．

(1) パーセプチャルウェア：ディジタル空間が提供するサービスを直感的に理解するための感覚的現実感を実現するためのソフトウェアの総称である．これらのソフトウェアは，現実空間のユビキタス機器などからの信号・データに基づき，人・集団の行動，環境の状態等を認知し，その情報をディジタル空間に提供する．また，ディジタル空間から提供された情報を，人の状況や嗜好を反映して，感覚的現実感を高める形式で提供することにより，提供された情報に対する利用者の認知性を高める．

(2) ソーシャルウェア：ディジタル空間が提供する社会活動を支えるサービスの社会的現実感を実現するためのソフトウェアの総称である．ソーシャルウェアは，パーセプチャルウェアの提供する情報と社会の仕組み，規範，常識を組み合わせることにより，人の意図，心理状況などを理解し，その情報をディジタル空間に提供する．また，ディジタル空間から提供された情報に社会的現実感を与えるための処理を行うことにより，これに対する利用者の安全，安心の感覚を高める．

(3) ネットワークウェア：現実社会とディジタル社会の間のコミュニケーションを支援・強化するソフトウェアの総称である．情報・知識・サービスを，現実空間やディジタル空間内で効果的に流通させるための機能を提供する．やわらかいネットワーク技術，ユビキタスネットワーク技術などが含まれる．

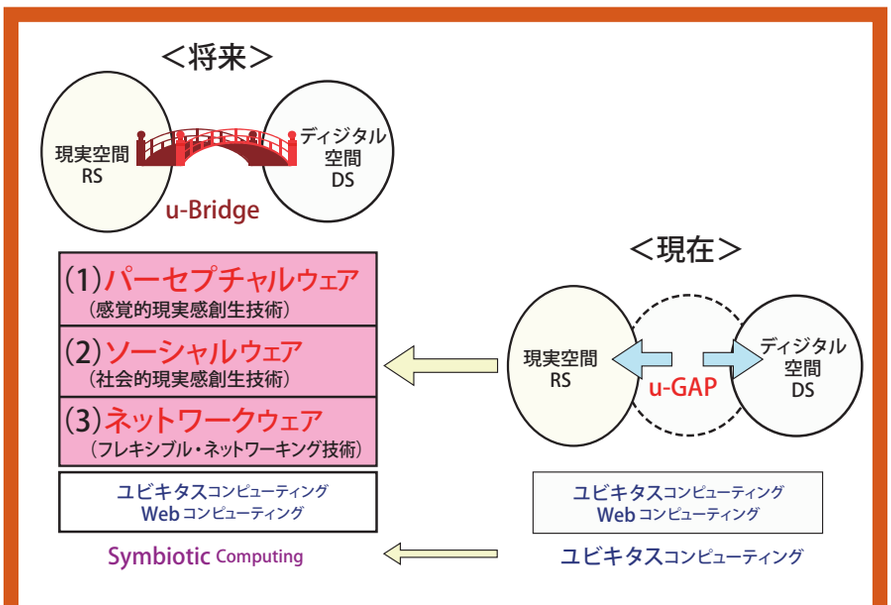

図 -6　Symbiotic Computing のアーキテクチャ

未来技術と共生社会

21 世紀は，ロボット技術，生命工学，ナノテクノロジーの研究が進展し，社会に大きな利便性を提供することが期待されている．一方，これらの新しい技術の暴走により，反ユートピア社会がもたらされるという警告もメディアをにぎわせている．そのため，情報技術も含めた，これらの未来技術について，人間社会に対する暴走を押え込むための安全装置を準備しておくことは重要である．

このような観点から Symbiotic Computing を捉えると，未来技術が提供する機能空間と，人間社会における活動の空間を，人間の英知に基づく図 -3 で導入した「共認知」の概念で繋ぐことにより共生空間を創生し，人間の活動を温かく支援するサービスを提供することが，Symbiotic Computing の役割になると考えることができる．このように Symbiotic Computing が技術基盤となり，図 -1 の未来社会がユートピアになるための一助になることを切に希望している．

参考文献

1) 白鳥則郎：ポスト・モダン分散システム，2010 年マルチメディア通信と高速・知能・分散・協調コンピューティングシンポジウム論文集（情報処理学会），pp.1-7 (1994).（基調講演）
情報処理，Vol.36, No.9, pp.811-814 (Sep. 1995).
2) Shiratori, N., Suganuma, T., Sugiura, S., Chakraborty, G., Sugawara, K., Kinoshita, T. and Lee, E. S. : Framework of a Flexible Computer Communication Network, Computer Communications, Vol.19, pp.1268-1275 (1996).
3) Fujita, S., Sugawara, K., Kinoshita, T. and Shiratori, N. : An Approach to Developing Human-Agent Symbiotic Space, Proc. of 2nd Joint Conference on Knowledge-based Software, pp.11-18, Bulgaria (1996).
4) 白鳥則郎，木下哲男，菅原研次：共生空間の実現に向けて–ポストモダン分散システム，電子情報通信学会誌，Vol.80, No.2, pp.165-168 (1997).
5) Shiratori, N. : Towards Future Development of Ubiquitous Information Society – Symbiotic Computing –, Proc. of 2005 NEC TECHNOLOGY FORUM: Symbiotic Computing for Ubiquitous Information Society, pp.5-20, Tokyo (2005). (Keynote Speech)
6) Symbiotic Computing Webpage, http://symbiotic.agent-town.com/

（平成 18 年 6 月 28 日受付）