

共生情報システム：自律・進化・持続可能な分散システムの提唱

藤田茂¹ 白鳥則郎² 滝雄太郎³

概要：情報システムは社会の重要な基盤となっており、その動作が人・自然・人工物に及ぼす影響は大きい。そのため情報システム内外の変化（利用者要求、技術の変化、災害、自然環境、社会制度・規範の変化など）への迅速な対応が喫緊の課題となっている。課題の解決へ向けた対応の方策（システム開発）として、特定の評価基準、例えば合理性（効率、経済、機能）に基づく対応は、近代化に成功し豊かな工業社会、情報社会を構築した。一方、自然破壊や温暖化を招き、これらの克服が課題となっている。そこで本稿では、これらの課題を解決するために、人・自然・人工物の持続性が共に維持されることを達成する共生情報システムの提案を行う。共生情報システムのコア技術は、1)共生、2)持続可能化技術、3)人とシステムの信用・信頼の3つからなり、本稿ではこれらの技術について述べる。応用例としてデジタル寺院と *Never Die Professor* について紹介する。

キーワード：持続可能な開発、共生情報システム、秘密計算、秘密分散

1. はじめに

インターネット、クラウドシステムなど情報システムが社会の基盤の一つとなっている。我々は五感による情報に加えて、情報システムを介して得られる社会の様々な情報を使って個々の目的を達成しており、情報システム無くして社会的な活動が営めない程である。

図1と図2に、情報システムの変遷とパラダイムシフトを示す。1946年にENIACが登場して以来、情報システムはコンピュータを基盤として、飛躍的な発展を遂げた。当初の情報システムは、コンピュータを中心としたデータの集中処理を中心として発展し、工業社会の実現に貢献した。その後コンピュータと通信ネットワークが結びつき、分散処理システムへ移行し、更にインターネットの登場と相まって、情報社会の実現に大きく貢献した。

これまでの情報システムは主として合理性（効率、経済、機能）に基づいて開発・構成・利用されてきた。その結果、大量生産、大量消費、自然開発、などにより近代化に成功し、豊かな工業社会、情報社会を形成してきた。

一方、生活の豊かさの獲得と同時に、公害、自然破壊、地球温暖化などの負の側面をもたらしている。

そこで本研究では、これらの負の側面の解決へ向けて、情報システムの開発にあたっての評価基準として、従来の合理性に加えて、もう一つの評価基準 α を導入し、共生情報システムのコンセプトとコア技術について述べ、応用事例を示す。

従来の情報システムの評価基準は、実行速度であったり、低レイテンシーであったり、ある種の合理性・合理的な基準であった。一方、本研究で提唱する共生情報システムの評価基準 α は、従来の合理性に加えて、例えば今後の地球

環境の保全との両立を目指すグリーンコンピューティングであったり、人口減、高齢化を迎える世界の中でのシニアコンピューティング（シニア活動支援）であったり、人と社会との関係を支援するソーシャルコンピューティングであったり、人の人間性と情報システムの振る舞いと関係であったりする。

情報システムを公害、自然破壊、地球温暖化のために専ら使うのみならず、情報システム自体が、それらの負の側面の発生検知と解消に向けて動作すること。情報システムをシニア活動支援のために専らに設計開発せずとも、シニア支援のために必要な機能が自律的に情報システムに取り込まれること。ソーシャルコンピューティングの一つとしてのSNSに過度な個人情報が含まれる写真を投稿しようとしたときに、情報システムの側から利用者へ警告が発せられることなどが、今後の情報システムに求められる。

1.1 共生情報システムのコンセプト

共生情報システムの基本コンセプトは合理性++ α コンピューティングで表現される。 α はこれまでの情報システムが個別に設計開発して対応して来た、グリーンコンピューティング、シニアコンピューティング、ソーシャルコンピューティングなどが含まれる。

情報システムに対する利用者要求は、刻々と変化し、情報システムは、利用者要求に迅速に対応することが求められる。例えば、自然破壊、ネットワーク途絶への対応、グリーンコンピューティングの実現などである。

また、近年、頻発する豪雨による水害に伴う災害や、2011年3月11日の東日本大震災のように、情報システムそのものが稼働する基盤であるネットワーク物理層の破壊や電力や通信の途絶に対しても、迅速な回復が求められている。これに対して、我々の研究グループでは、*Never Die Network*の研究を行ってきた[1,2]。

また、情報システムを介して人が情報を得ているために、変化する社会制度や社会規範に対しても迅速な対応が求められる。いわゆる、“炎上”が参加者の心理的な負担となるので、これを避けるための対策を情報システムの側から提

1 千葉工業大学情報科学部
Faculty of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology
2 中央大学研究開発機構
Research and Development Initiative, Chuo University
3 千葉工業大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information and Computer Science, Chiba Institute of Technology

案することや、SNS への投稿前に、警告を発することなどである。

ソーシャルコンピューティングの範疇では、例えば、著作権の侵害を行っているウェブサイトの発見や、違法薬物取引、反社会的勢力の活動の場の発見などが求められる。

これら情報処理システムに対する要求変化、環境変化、

社会環境変化への追従を実現するために、特定の評価基準 α を導入することを考える。これまでのように合理的基準のみに従って情報システムを最適化すると、人・自然・人工物の調和を乱し、人と社会に対する負担が大きくなり、情報システムが持続可能なシステムとは言えなくなる。

Problems & Solutions

	Modern ➔ <Paradigm Shift> ➔ Post Modern	
	<ul style="list-style-type: none"> • Data & Information • Industrial → Information Society 	<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge & Wisdom • Symbiosis society
Evaluation Criterion	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Rationality 合理性 <ul style="list-style-type: none"> • Economic Efficiency 経済性 • Efficiency 効率性 • Functionality 機能性 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Symbiosis and Harmonization 共生と調和 <ul style="list-style-type: none"> • Global Warming → Green Computing • Major Disaster → Never Die Network • COVID-19 → Symbiotic Computing
Major Emphasis	Manufactures	Human and Our Planet
Industries	Mass Production & Mass Consumption	Small quantity production of wide variety of goods & Recycle
Characteristics	Pandemic of COVID-19 Global Warming Major Disaster	Symbiosis and harmonization among human, COVID-19, nature and AI 人と新型コロナ、自然、AIの共生
21 st Century	◆ 20th Century: Human conquers Nature	◆ 21th Century: Symbiosis among Human, COVID-19, Nature and AI

©Norio Shiratori.

図1 パラダイムシフト

<Towards Post-modern Information Systems>

- Challenges to overcome : 1) COVID-19 and 2) AI Singularity

	1946	1980s	2020 COVID-19	2030	2045 AI Singularity
Computer	Data	Information	Big Data	Knowledge & Wisdom	Wisdom (AI)
Network	LAN	Distributing System Internet 1995	→ 3G,4G 2010	→5G → Post 5G	Harmonization and Symbiotic Environment
Society	Industrial Society	Information Society • Global Warming (Green ICT) • Natural Disaster • Decline of Birthrate and Aging Society • Pollution	Pre-Symbiotic Society 準・共生社会 • Pandemic of COVID-19	Symbiotic Society 共生社会 • Sublation: Human, COVID-19, Nature and AI 止揚: 人、新型コロナウィルス、自然、AI	
Paradigm	Modern	Post-Modern1	Post-Modern2	Symbiosis	
	Quantity	Quality	Pre-Symbiosis	Symbiosis	

©Norio Shiratori.

図2 情報システムの変遷

例えば、人の情報システムに対する信頼性を向上させるために従来であれば、二重化、三重化の予備系を準備する設計となるが、環境負荷、コストの負担は大きくなり、情報システム維持が困難になる。また、利用者要求に対応するために、迅速なシステム開発を優先すると、しばしばセキュリティが疎かになり、人のシステムに対する信用を失わせる。

そこで本稿では、人の情報システムに対する信頼性、信用を高めるための、新しい評価基準 α を導入し、合理性に基づく性能などの最適化のみではなく、新しい調和的な生活情報システム環境を自律的に提供する共生情報システムを提案する。

以下、2章では共生情報システムの要求仕様を示し、3章では共生情報システムのコア技術を示し、4章では実装について述べる。5章では、共生情報システムの応用例として、デジタル寺院、Never Die Professor を示し、6章でまとめを述べる。

2. 共生情報システムとは

共生情報システムは、環境、利用者要求、社会の変化を自律的に認識し、変化に対して自律的に柔軟に対応する複数の計算機、ネットワーク、プログラムからなる持続可能な分散処理システムである。

共生とは、人と機械の相互認識からなる、信用を確立できる基盤の上に構築される共存を継続する関係である。従来の情報システムが、システムに組み込まれた目的を達成するための合理的な手法を実行し、フィードバックを得て手法を最適化していたことに対して、共生情報システムは、人・自然・人工物の関係を認識した上で、相互の信用を尺度として、自らの目的のみならず、人・自然・人工物の維持を考慮して自らの機構を進化させる。

我々はこれまでに、共生コンピューティングの概念の提唱を行ってきた[5-10]。共生コンピューティングの基盤技術の一つが共認知[11]である。共認知は、人と情報システムが互いに、相手が自分を認識していることを認識しているという状態を指す。共生情報システムでは、この共認知に基づいて、信用の土台となる基盤技術とする。人が認知する津対象である情報システムの信頼性は根本である。人は情報システムが永続的に存在することを想定してサービスを受け、また、情報システムに対して一貫した応答を求めている。このように持続可能な情報システムでない、人は情報システムを信用できない。

信頼性に関する技術は数多く研究開発実用化されているが、信用を土台とする情報システムに関する研究は少ない。文献[33]では、「信用に基づく持続可能なネットワーク」のためには、社会、環境、経済の3つの調和が必要である

ことを述べている。

信用は信頼よりも検証コストが少ないと考えられる。また、トラスト（信用）の欠如が疑念を招き、社会の負担となっている[12]という指摘がある。

共生と持続可能を両立するためには、情報システム自体に、環境認識、自律進化を含めた機能が必要である。

単独の計算機に情報を保存することは、セキュリティの面で課題がある。我々は秘密計算・秘密分散に関する研究を行ってきた[13]。本稿で述べる共生情報システムの基盤として、秘密分散上の秘密計算の上に、情報システムを構築する実装処理系を構築する（4章）。

3. コア技術

3.1 共生

これまで、筆者らは人と情報システムの共生を実現する機構の設計について研究してきた[15-18]。

人と情報システムの共生に先立って、人のコミュニケーションを考察した。人と人とのコミュニケーションは、互いに互いを認識していることを前提としてなされる。人と情報システムの間でのコミュニケーションにおいても、この互いに認識していることを前提としていることが必要であり、その上立って情報システムからのコミュニケーションを行う枠組みが、共生情報システムに必要である。その基盤技術の一つが共認知である[11]。

また、人の要求を充足するのみならず、情報システムの維持管理のために人が作業することを組み込むことが、共生情報システムに必要である。

Human in the loop, Human out of the loop のどちらでもなく、人と情報システムが互いに相補的に動作する系が共生情報システムである。

3.2 持続可能化技術

情報システムが高度化するにつれて、その維持が課題となっている。例えば、クラウドシステムを支えるデータセンターは、大規模化し、電力消費量が過大となっている。ひところ流行した bitcoin のマイニングでも、電力利用量に依存して、マイニングサイトが立地するという傾向が見られた。また、情報システムの開発自体、セキュリティ維持、情報システムを取り巻く計算機/OS 環境の変化への追従に必要な保守的な開発も課題である。

カナダのある原子量発電所では、今もって DEC PDD-11 が主要なシステムとして利用されており 2050 年までの運用が予定されている[14]。このような極端な例を待つまでもなく、社会インフラを支える情報システムには、持続可能化技術が必要である。

ほぼ全ての情報システムが、なんらかの OS の上で稼働しており、その OS や開発言語、運用環境の版に依存して

いる。このため、ある情報システムを持続可能にするためには、計算機アーキテクチャ、ネットワーク環境、OS、開発言語、情報システムのみドルウェアやフレームワークの全てを、持続して維持する必要がある、情報システム維持に必要なコストは上昇する一方である。

永続的な保存を目指して物理レベルの頑健性を確保する研究[19]もある。しかし、単なるデータではなく、情報システムとして持続的に利用可能なサービスを維持するためには、データのみならず命令を実行可能な情報システムとして、持続可能性を実現する必要がある。

このために、共生情報システムは、特定の計算機アーキテクチャ、OS、ミドルウェア、フレームワークに依存しない抽象的なデータ構造と命令体系の集合として定義され、実装にあたって、個別の計算機アーキテクチャ、OS、ミドルウェア、フレームワークに展開される。

3.2.1 自律的対応

情報システムの維持管理に人手が必要である。しかし、その時間、費用、労力は上昇する一方であり、結果として、情報システムの寿命を縮め、セキュリティリスクや陳腐化によるサービス低下を生んでいる。

短時間の通信途絶に対してはインターネットプロトコルにより、別の経路が利用されるなどの、自律的な対応が実現している。また、短時間の電源断に対しては、無停電電源装置の利用等によってサービスが維持されている。

共生情報システムとしてサービスを提供する場合には、短時間の通信途絶、電源断を超えて、数日～数十年に渡るサービスを維持する必要がある。

しかし、この維持管理に人手を割くことはコストの高騰を招き、持続可能な共生情報システムという目的を達成することの障害となる。そこで、共生情報システム自らが、計算機環境、ネットワーク環境、社会環境を認識し、システムを持続させ、サービスを維持し、利用者の意図を実現するための処理を自律的に実行する仕組みが必要である。

3.2.2 進化機構

共生情報システムが自律的に変化に対応し、持続可能な技術となり、人との共生を実現するために、共生情報システム自身が、その構造やパラメータを変化させる。この変化は、利用者の側からみると、共生情報システムの進化として観測される。

打矢らは、マルチエージェントシステムの中に、それまでの動作履歴に基づいて、環境に対応したパラメータを取り込み、マルチエージェントシステムの構成を変化させる仕組みを示している[20]。

3.2.3 マルチエージェント

自律的対応を実現する共生情報システムは、自律的に動作するソフトウェアエージェントのグループによって構成される。このため、ある共生情報システムは、エージェントの集まりから構成されるマルチエージェントシステムで

ある。また、複数の共生情報システムが集まってサービスを構成する。今後の分散処理システムの構成として、マルチエージェントシステムベースとなることを、共生情報システムの提唱で示している。

マルチエージェントシステムの研究として、プロトコルを定めることで、所与の目的を効果的に達成する方法[21]や、公平性を達成するためのプロトコルの研究[22]などがある。これらの研究は、マルチエージェントシステムを効果的に利用するためのプロトコルを定めている。

共生情報システムでは、所与のプロトコルも存在する。一方で、設計時には存在しなかった新たなプロトコルが持続可能性、自律的対応、進化機構から生まれ、新たな社会の要請に基づいて導入されたりする。

共生情報システムを構成するエージェントには、新たなプロトコルに従って、自らの動作を変更する機構が必要である。すべての新規プロトコルを受け入れる必要はなく、旧来のプロトコルを利用する可能性もある。しかし、多くの共生情報システムで受け入れられたプロトコルを拒絶することは、将来の持続可能性を下げることから、エージェントの自律的対応によって受け入れられると考えられる。

例えば、IPv4のネットワークを利用してきたエージェントが、情報システムの維持のために、新たにIPv6のネットワークに参加することは、プロトコル変更の受諾とエージェントが利用するモジュールの取り込み、変更という進化機構によって実行される。

3.2.4 ネットワーク管理

共生情報システムは、クラウドコンピューティングからIoT デバイスを使った、エッジコンピューティング、フォグコンピューティングなどの上に構築される。このため、共生情報システム自身が、ネットワーク管理の知識を有して、人と協調してネットワーク管理を行う。

現在の情報システムは、ネットワーク管理者の設定の下で動作しており、ネットワークの安定性、セキュリティ維持が人手に依存している。このため、情報システムの自律的な動作によって、ネットワークが変更されることはないが、ヒューマンエラーによって、インターネット全体に影響を及ぼすような障害が発生している。また、事業者レベルでは、ネットワーク監視が行われ、通信量の急な増大や通信途絶が監視されているが、一般利用者レベルでは、ネットワーク状況の監視や、ネットワークに何が起きているかを把握することは、今も困難であり、利用する情報機器に通信由来の不具合が発生した時の対応が困難なままである。

共生情報システムが人と協調してネットワーク管理を実行することで、安定したネットワーク運用が可能になり、かつ一般利用者が情報システムに発生している不具合を理解して、適切な対応あるいは通信回復へ向けた動作を実行

出る。

3.2.5 他

機械学習によるアルゴリズムの発見[23,24]や、StackOverflowの投稿データを使い deepfix による機械学習を用いたプログラム修正の研究[25]など、人手に依らない情報システムの維持管理に関係する研究がある。これらの機能も共生情報システムの一部として取り込む。

広く人工知能の一部である深層学習を使った画像認識について、人種差別的であるという批判[26,27]から、その技術やデータセットが利用できなくなる場合がある。共生情報システムでは、特定の画像データ、画像認識技術を想定していないが、倫理や法の変化に対しても、自律的に対応できることを目指している。

5.1 デジタル寺院で述べるように、超長期にわたるデータの保管や、利用者の死後に実行される指示が実行時に社会的に受諾可能なものであるのか、を共生情報システムが自律的に判断することで、共生情報システム自体の持続可能性を維持している。端的に表現すると、反社会的なデータの利用・実行は共生情報システムの環境上では、実現不能である。

3.3 人とシステムの信用(Trust, Reliability)

現在、人が情報システムの動作をすべて検証することは、その規模の膨大さ故に事実上不可能となっている。情報システムに対する人の信用(Trust)は、漠然とした情報システムへ対する信用に基づいている。このため、利用者によっては過度に情報システムを信用せず、ありとあらゆる個人情報情報を情報システムに対して開示することに抵抗がある。一方で、人の信用を逆手にとって、詐欺を働こうとする勢力は後を絶たない。

これまで、情報システム構築研究の中で信用とは、信頼性(Reliability)を向上させることに等しく、平均故障間隔の指標などを使って表現されてきた。これらの研究開発が情報システムの信頼性を向上させたことは大きな貢献である。一方で、合理的な目標としての信頼性向上には、高いコストが必要であり、情報システムの社会負担を大きなものにしてきた。

たとえば、通信路の信頼性を上げる回線交換技術が、ベストエフォートで良しとするインターネット技術に変わったように、パラダイムシフトによって、情報システムの社会負担が軽減される。これと同様に、确实、かつ合理的な目標のみを達成する従来の情報システム構築手法から、持続可能な共生情報システムへと置き換えることによって、社会負担を軽減し、社会の持続可能性を向上する。

共生情報システムの信頼性技術は既存の技術の上に立つ。信用を実現する技術の詳細は4章で述べる。

4. 秘密計算の上での実装処理系

4.1 秘密計算/秘密分散

秘密を保持するための暗号化は、一方で危殆化の危機に常に晒されており技術発達に伴って更新することが必要である。また単独のサーバに暗号化したデータを保持することは、繰り返し攻撃の可能性がある。また、信頼性を向上したサーバを保持したとしても、大災害においては、サーバ喪失の危機があり、バックアップを分散する必要がある。一方でバックアップが複数存在することは、情報漏洩の可能性を高める。

そこで共生情報システムでは、秘密を分散して、複数のサーバで保持する秘密分散[28,29]を基本的なデータ保持機構として想定する。我々の研究グループでは、秘密計算、秘密分散の研究を実施してきた[30,31]。

複数の計算機による秘密計算/秘密分散技術によって、人の情報システムに対する信頼性と信用を確保する。

4.2 秘密分散/秘密計算に基づく仮想計算機

秘密のデータを分散して保持するシェアと、そのシェアを結合して元のデータを復元して計算を実行する秘密計算の枠組みの上に、仮想計算機を構成する。これにより、複数の計算機の上に、抽象的な仮想計算機が実体を持たずに構成される。

シェアを複数の計算機上に保存し、かつ特定の計算機やOSに依存せずに、仮想計算機を構築可能である。このため共生情報システム自身が、計算機、ネットワーク独立に持続可能になる。

仮想計算機はデータ構造と命令のセットで定義される。この仮想計算機上に、プログラミング言語、ファイルシステム、ネットワーク、認証機構、外部機能呼び出し等を作成する。

5. 応用例

5.1 デジタル寺院

我々の研究グループでは、デジタル・アイデンティティが危殆化し、近い将来において参照不能状態になることを指摘し、これを解決するために「デジタル寺院」の概念を提唱した[34]。

デジタル寺院(図3)では、現在、企業やコミュニティが自主的に管理しているデジタル・アイデンティティを永続的に参照可能にするコミュニティベースの保管庫を持続可能な形で運用する。これまでに関連して設計について発表してきた[3,4]。共生情報システムの一応用として、このデジタル寺院を構築することが可能である。

共生情報システムによってデジタル寺院を構成する際の階層モデルの概念を図4に示す。

デジタル寺院は当初、デジタル・アイデンティティの保存を目的としたが、研究の過程で、権利者の意図を死後にも維持する、適切なタイミングで実行するという機能が必

要であるとなった。これは、紙の書簡が遺族の手によって、書簡の著作者の意図に反する形で公開されることになったという事例などを受けてのことである[35]。

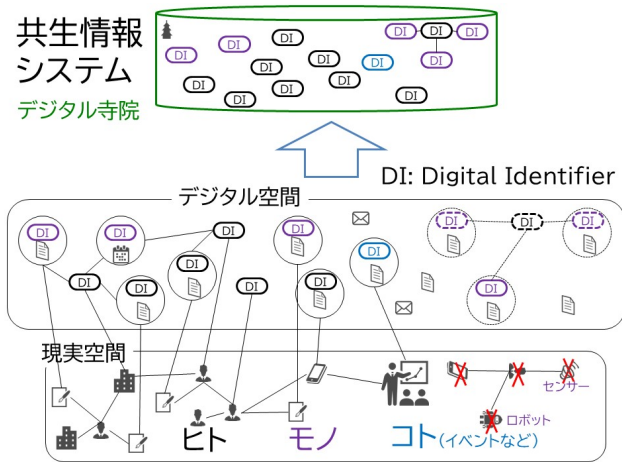


図 3: デジタル寺院概念図

階層モデル

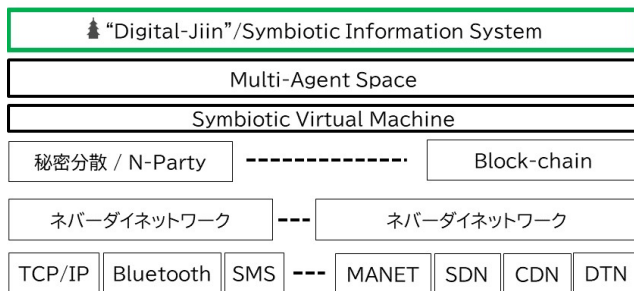


図 4: 共生情報システムとデジタル寺院構成の階層モデル

5.2 Never Die Professor

知を探求し、新たな知を人類の共通基盤として確立するという広い意味での研究活動も、永続的な営みが求められる活動である。これまで、知の蓄積は紙媒体での出版によるところが大きかったが、現在、急速に電子ジャーナル化が進み、利便性が大きく向上する一方、文献[32]では、学術団体の破産によって知の継承というもつとも重要な学問の持続性が破壊される可能性のあることが指摘されている。

プレプリントサーバである arXiv は、査読前の論文の投稿であるが、2020 年以降猛威を振っている新型コロナウイルスに関して、その速報性の高さから、必ずしも専門家でないジャーナリストが参照して記事にした結果、信頼性の低い学説を元に一般向け記事が作成された。

プレプリントサーバに限らず、学術論文は出版後に取り消されたり、掲載を取り下げられたりすることがある。一般に健全な研究活動の世界では、後世の検証に耐えうる良質な論文が残るのが良いとされている。しかしながら、後世改めて取り下げられた論文の検証を行ったり、あるいは

なぜ論文の取り消しや取り下げが発生したりしたのかを検証するためには、否定された論文すらも参照可能な形で保存することが必要である。

研究活動の本質的部分は知的な活動であって、いまもって人でなければ遂行が困難であると考えられる。一方で、研究の補助的な活動に関しては、共生情報システムによって支援が可能である。一つは研究データの蓄積である。歴史的なデータに関して、プライバシーや、その当時の倫理では世に受け入れられなかった活動の記録など、関係者の死後でなければ公にできないデータを、確実に後世へ伝える仕組みとなる。また研究の意図にそった網羅的なサーベイ実施は、共生情報システムによって構築される研究コミュニティの中で研究者、エージェントの協調によって実行される。

現在、個々の研究者の業績の最終的な一覧は、国立国会図書館のインデックスあるいは、research map 等のサービスに依存する。しかし、国立国会図書館のインデックスも完全ではなく、また research map 等では、死後の情報の取り扱いには本人による削除希望無いは、遺族による削除希望によってなされる可能性があり、研究者の意図に必ずしも沿うものではない。

共生情報システムにより、研究者の意図に沿った研究成果の公表、研究意図を反映した自律的なデータ交換、研究プログラムの実行によって研究者の死後にも、研究者の研究分野が存続する可能性を遺すことが可能になる。

6. おわりに

本稿では、共生情報システム：自律・進化・持続可能な分散システムの提唱を行った。

情報システムのパラダイムシフトによって、新たな人類社会の評価基準に適合する情報システムの基盤技術として、人と情報システムの共生に基づく概念を示した。

実装処理系として、秘密計算/秘密分散に基づく仮想計算機を提案し、その処理系が持続可能性の観点で、他の信頼性を高めた手法よりも、環境負荷を低くして、人の信頼を得ることが可能であることを述べた。

共生情報システムの応用例として、人の意図を考慮してデータと命令を長期に渡って維持し遂行可能な、デジタル寺院の概念と Never Die Professor の概念を示した。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP18K11273 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Norio Shiratori, Noriki Uchida, Yoshitaka Shibata, Satoru Izumi “, Never Die Network towards Disaster-resistant Information Communication Systems,” ASEAN Engineering Journal Part D, Vol.1, No.2, pp.1-22, March 2013 [Invited Paper] .

- [2] 白鳥則郎, 稲葉勉, 中村直毅, 菅沼拓夫, “災害に強いグリーン指向ネバーダイ・ネットワーク,” 情報処理学会論文誌, Vol.53, No.7, 1821-1831, July 2012 [招待論文]
- [3] 藤田茂, 樋地正浩, 滝雄太郎, 宮西洋太郎, 角田篤泰, 菅原研次, 白鳥則郎, “デジタル寺院”: 設計と開発へ向けて, 情報処理学会研究報告, Vol.2019-DPS-180, Vol.2019-EIP-85, No.10, pp.1-8, 2019/9/19.
- [4] 藤田茂, 樋地正浩, 滝雄太郎, 宮西洋太郎, 角田篤泰, 菅原研次, 白鳥則郎, “デジタル寺院”: モデルと基盤技術”, 情報処理学会研究報告, Vol.2019-MBL-92, Vol.2019-CDS-26, No.10, pp.1-8, 2019/8/30.
- [5] 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.
- [6] Takahide Maemura, Shigeru Fujita Tetsuo Kinoshita, "Flexible Distributed System for Symbiotic Computing," 8th IEEE International Conference on Cognitive Informatics (ICCI 2009), pp. 141-144, 2009.
- [7] Kenji Sugawara, Shigeru Fujita, "Non-verbal Interface of a Personal Agent based on Symbiotic Computing Model," ICCI*CC2011, 2011.
- [8] Shigeru Fujita, Kenji Sugawara, "A Design Method for User Centric System Development by Symbiotic Computing," Centric2012, 2012.
- [9] Kenji Sugawara, Shigeru Fujita, "Mobile Symbiotic Interaction between a User and a Personal Assistant Agent," ICCI*CC2012, 2012.
- [10] Norio Shiratori, et.al., "Symbiotic Computing Based Approach Towards Reducing Users Burden Due to Information Explosion", Journal of Information Processing, 2012.
- [11] Kenji Sugawara, Shigeru Fujita, "Interaction Zone between an office worker," CSCWD 2011, 2011.
- [12] 西田豊明, @toyoakinishida, on Twitter, 2020/08/17, <https://twitter.com/toyoakinishida/status/1295171859747463168>.
- [13] 滝雄太郎, 藤田茂, 宮西洋太郎, 白鳥則郎: 軽量 N パーティ秘匿関数計算の一般化, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 10, pp. 1895-1902, 2018.
- [14] Richard Chirgwin, “Nuke plants to rely on PDP-11 code UNTIL 2050! Programmers and their walking sticks converge in Canada”, Wed 19 Jun 2013 // 05:59 UTC, https://www.theregister.com/2013/06/19/nuke_plants_to_keep_pdp_11_until_2050/ (last accessed 2020/08/19).
- [15] 藤田茂, “スマートシステムのための共生コンピューティングモデル”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-DPS-160(11), pp.1-8. 2014/07/17.
- [16] 藤田茂, “エージェント指向システムによる情報システム構築のためのエージェントに対する要求仕様”, 情報処理学会研究報告, 2013-DPS-157(11), pp. 1-6, 2013/10/10.
- [17] 藤田茂, “共生コンピューティング基盤の設計(2)”, 情報処理学会研究報告, 2012-DPS-152(2), pp.1-6, 2012/09/06
- [18] 藤田茂, “共生コンピューティング基盤の設計(1)”, 情報処理学会研究報告, 2012-DPS-151(12), pp.1-5, 2012/05/14
- [19] Eternal 5D data storage could record the history of humankind, published: 18 February 2016, <https://www.southampton.ac.uk/news/2016/02/5d-data-storage-update.page> (last accessed: 2020/08/19)
- [20] Takahiro Uchiya, Tetsuo Kinoshita, "Surveillance Architecture of Evolutional Agent System on Repository-based Agent Framework", Proc. of the 8th International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA2013), pp.614-617, 2013.
- [21] HORLING, BRYAN; LESSER, VICTOR., “A survey of multi-agent organizational paradigms”, The Knowledge Engineering Review; Cambridge, Vol.19, No. 4, pp. 281-316, 2004/12.
- [22] Yokoo, M., Sakurai, Y., & Matsubara, S., “Robust multi-unit auction protocol against false-name bids”. IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1089-1094, 2001
- [23] Esteban Real, Chen Liang, David R. So, Quoc V. Le, “AutoML-Zero: Evolving Machine Learning Algorithms From Scratch”, <https://arxiv.org/abs/2003.03384>, last revised 30 Jun 2020, (last accessed: 2020/08/19)
- [24] Esteban Real, “AutoML-Zero: Evolving Code that Learns”, July 9, 2020, <https://ai.googleblog.com/2020/07/automl-zero-evolving-code-that-learns.html>, (last accessed: 2020/08/19).
- [25] 高橋裕太, 佐藤亮介, 亀井靖高, 鶴林尚靖, “Stack Overflow 投稿を用いた深層学習による自動バグ修正にむけて”, 情報処理学会研究報告, Vol.2018-SE-200, No.3, pp.1-7, 2018
- [26] Zack Whittaker, “Amazon’s facial recognition moratorium has major loopholes”, <https://techcrunch.com/2020/06/10/amazon-rekognition-moratorium/>, June 11, 2020, (last accessed: 2020/08/19).
- [27] Devin Coldewey, “IBM ends all facial recognition business as CEO calls out bias and inequality”, <https://techcrunch.com/2020/06/08/ibm-ends-all-facial-recognition-work-as-ceo-calls-out-bias-and-inequality/> June 9, 2020, (last accessed: 2020/08/19).
- [28] Adi Shamir, “How to share a secret”, Communications of the ACM, Vol. 22, No.11, pp.612-613, 1997.
- [29] Blakley, G.R., “Safeguarding Cryptographic Keys”, International Workshop on Managing Requirements Knowledge, (AFIPS) Vol.48, pp. 313-317, 1997
- [30] 樋地正浩, 橋祐一, 菊池一彦, 藤田茂, 宮西洋太郎, 白鳥則郎, “秘密分散法が切り開くデジタルコンテンツの相続 — デジタル寺院の実現に向けて —”, 情報処理学会東北支部研究報告, Vol.2019, 2020/02/08, pp.1-5
- [31] 宮西洋太郎, 韓嘯公, 北上眞二, 金岡晃, 佐藤文明, 浦野義頼, 白鳥則郎, “クラウドサービス利用者の安心感を高める簡易的秘蔵計算法の提案”, 電子情報通信学会情報・システムソサエティソフトウェアインタプライズモデリング研究会, 2014 年度, 第 1 回 SWIM 研究会
- [32] 橋本誠志, “ペーパーレス社会における学会の破産と知的成果のサステナビリティに関する一考察”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2019-EIP-85, No. 12, pp.1-8, 2019/09/20
- [33] Jin-Hee Cho, Kevin S. Chan, “Building Trust-Based Sustainable Network”, IEEE Technology and Society Magazine, Summer, pp.32-38, 2013
- [34] 角田篤泰, 山澤昌夫, 五太子政史, 白鳥則郎, “デジタル・アイデンティティの危殆化に抗う「デジタル寺院」構想”, 日本セキュリティマネジメント学会, 第 32 回全国大会研究報告書, pp.1-6, 2018/6.
- [35] 日本経済新聞, “007 作者の恋文競売, ボンド顔負けの色男?”, <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO52147930U9A111C1CR0000/>, (last accessed: 2019/12/13)