

戦略的創造研究推進事業
－CREST タイプ－

研究領域

「実用化を目指した組込みシステム用
ディペンダブル・オペレーティングシステム」

研究領域事後評価用資料

平成 26 年 3 月 13 日

目次

1. 研究領域の概要	1
(1) 戦略目標	1
(2) 研究領域	2
(3) 研究総括	3
(4) 副研究総括	3
(5) 採択課題・研究費	4
2. 研究領域および研究総括の選定について	4
3. 研究総括のねらい	6
4. 研究課題の選考について	7
5. 領域アドバイザーについて	9
6. 研究領域の運営について	12
7. 研究を実施した結果と所見	16
8. 総合所見	21
9. 参考文献	22

1. 研究領域の概要

(1) 戦略目標

「高セキュリティ・高信頼性・高性能を実現する組み込みシステム用の次世代基盤技術の創出」

1) 具体的な達成目標

セキュアなオペレーティングシステム (OS) 技術やコンパイラ技術等のソフトウェア技術、超並列プロセッサアーキテクチャやシステムオンチップ (SoC) や再構成可能なハードウェア (リコンフィギャブル) 技術等のハードウェア技術、高信頼リアルタイム保証技術、大規模システム構築化技術等、組み込みシステムの次世代の基盤となる技術の研究開発を行い、高セキュリティ・高信頼性・高性能な国産 OS について、実用化を視野に入れた開発を行う。

これらの技術開発により、モバイル情報端末、車載機器、ウェアラブルコンピュータ等やそれらを応用した高性能コンピュータシステムの核となる組み込みシステムにおいて、高セキュリティ・高信頼性を保ちつつ、高性能、リアルタイム性を保証することで、利用者が安心して高度なシステムやサービスを利用できるようになる。

2) 目標設定の背景及び社会経済上の要請

①モバイル情報端末、車載機器、ウェアラブルコンピュータ等の我が国が得意とする組み込みシステムは、利用者のニーズに対して、高度な情報通信技術を活用することで、ユビキタスネットワーク社会における生活の利便性や快適性をもたらしている。また、最近では組み込みシステムの特性を活かし、高性能コンピューティング分野等の新しい分野への広がりを見せつつあり、ナノテクノロジーやライフサイエンスを始めとする科学技術や産業を革新し、国民や社会へ還元することがより一層期待されている。

②一方で、組み込みシステムは、利用者の多種多様なニーズへ対応するためにシステムが複雑化、高度化しており、さらなる性能向上や高機能化を図るためには、個別システムごとの対応ではない基盤となるシステム構築技術が必要である。

③加えて、情報漏洩、ウィルス、不正アクセス、大規模システムダウンなどの利用者の安全・安心を脅かす諸問題が世界的規模で急激に顕在化・増大化しており、組み込みシステムにおいてもこれらの問題に対する根本的な対応が必要かつ急務である。

3) 目標設定の科学的裏付け

様々な脅威から情報を守るセキュリティ性とシステムに対する高信頼性を保証した上で、利用者が安心して組み込みシステムを利用できるようにするためには、アクセス制御機能、高速・高信頼処理機能、高性能コンピューティング機能、高信頼システム構築機能、リア

ルタイム保証機能やソフトウェアバグからの保護機能の確保が必要になる。具体的には以下の技術開発・研究が必要である。

アクセス制御機能：

ユーザのアクセス権を制御するセキュリティポリシーの管理・検証を行う研究、セキュリティポリシーの設定で間違った設定がないことを保証する検証技術の研究等を行う。

高速・高信頼処理機能：

高速・高信頼処理を可能にするため、複数の OS が同時に動く環境（マルチプラットフォーム）の研究、デバイスの仮想化や様々なタイプのマルチコアに対して OS 自体の仮想化の研究等を行う。

高性能コンピューティング機能：

高性能コンピューティングのための超並列プロセッサアーキテクチャ、大規模システム構築化技術等の研究と、これらを集大成した超高速コンピュータ対応するモデル、アルゴリズムの見直し、再構成可能なハードウェア（リコンフィギャブル）技術等を含むアプリケーションの高度化および高速化の研究を行う。

高信頼システム構築技術：

コンパイラ技術、不具合が発生した時のリソースアイソレーション、動的コンフィグレーション、高速リスタートの研究、エラーが発生した時にその原因・影響をヴァーチャルマシン上でチェックするための研究、ネットワーク上に接続された機器の OS を仮想化し新しいアプリケーションを容易に構築することを可能とするミドルウェア開発等を行う。

リアルタイム保証機能：

組込みシステムの制御系において、やり取りする情報量が増大してもリアルタイム性を保証するための、細粒度の時間管理に関する研究、実行マネジメントに関する研究、新機能を追加した時のタイミングエラー等をモデルでチェックする研究等を行う。

ソフトウェアバグからの保護機能：

OS カーネルにバグがないということを数学的に保証・検証する研究、「安全さ」の基準設定方法に関する研究、客観的な「安全さ」基準でプログラム記述言語を含めて安全性を保証する研究等を行う。

これらの多岐にわたる先進的な必要技術の一部は大学や企業の研究機関では進められているものの、今後、組込みシステム全体を俯瞰し、さらに戦略的・統合的に世界の先駆けとなる研究開発を進めることにより標記の戦略目標は達成可能であると考えられる。

(2) 研究領域

「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」

(平成 18 年度発足)

コンピュータ技術の進展に伴い、基幹業務系や汎用 PC のみならず、ホームサーバ、デジタル TV、組み込み型高性能サーバ、車載制御装置、生産制御装置、通信制御装置、ロボット、携帯機器、モバイル・ウェアブルコンピュータ、センサー・アクチュエータなど、多数の情報機器・システムがネットワークに接続されるようになってきており、近い将来にいわゆるユビキタス情報社会を構成するであろうと見込まれる。この時、これらの要素システムの多くは目的別の組み込みシステムとして構築され、高い信頼性、応答性を確保しつつ、小さく、軽く実現することを要求される。加えて、それらを接続した情報システムの信頼性、安全性、セキュリティ、性能などの要求を満足でき、さらには将来の拡張性や変更に対応的に対応できなければならない。このようなディペンダブルなシステムを構築するためには、オペレーティング・システム (OS) のレベルからイノベーティブな研究開発を行う必要があると考えられる。本研究領域は、ディペンダブルな情報システムを構築するための組み込みシステム向けの OS の研究開発を行う。

本研究領域では、将来、社会で実際に広範に使用されうる OS 技術を創出するために、実用化を目指し、個別の研究成果を統合して実用システムとして実現が可能であることを実証し、オープンソースの形で将来の更なる研究開発の基盤を提供することを目指す。このため、本研究領域においては、研究総括の強い統率の下で、必要に応じて研究体制の再編や研究の進め方の調整を行うことにより、研究領域内の研究を横断・統合した推進体制をとり、適切な研究領域運営を行うこととする。

(3) 研究総括

研究総括 所眞理雄 (株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所
エグゼクティブ・アドバイザー/ファウンダー)

(4) 副研究総括

副研究総括 村岡洋一 (早稲田大学 理工学術院 名誉教授)

(5) 採択課題・研究費

(百万円)

採択年度	研究代表者	研究終了時の 所属・役職	研究課題	研究費*
平成 18年度	石川 裕	東京大学 教授	並列・分散型組込みシステムのための ディペンダブルシングルシステムイメージ OS	413
	佐藤 三久	筑波大学 教授	省電力でディペンダブルな組込み並列システム 向け計算プラットフォーム	450
	徳田 英幸	慶応義塾大学 教授	マイクロビキタスノード用ディペンダブル OS	135
	中島 達夫	早稲田大学 教授	高機能情報家電のためのディペンダブル オペレーティングシステム	290
	前田 俊行	東京大学 助教	ディペンダブルシステムソフトウェア 構築技術に関する研究	182
平成 20年度	加賀美 聡	産業技術総合研究所 副センター長	実時間並列ディペンダブル OS とその分散 ネットワークの研究	295
	木下 佳樹	神奈川大学 教授	利用者指向ディペンダビリティの研究	281
	倉光 君郎	横浜国立大学 准教授	Security Weaver と P スクリプトによる実行中の 継続的な安全確保に関する研究	623
	河野 健二	慶応義塾大学 准教授	耐攻撃性を強化した高度にセキュアな OS の創出	214
総研究費				2,883
JST DEOS センター	領域研究開発の総合的支援のため平成 19 年度設立			1,106
DEOS センターを含む総研究費				3,989

*平成 18 年度採択課題は 5 年間の確定額、平成 20 年度採択課題はその見込み額。

実用化を目指し、個別の研究成果を統合して実用システムとして実現する領域目標を達成するため、後述するように研究チームを統合して研究活動を進めてきた。18 年度採択チームでは石川研究代表、20 年度採択チームでは倉光研究代表が領域の研究チーム全体の中心となって DEOS センターと協力のもと研究成果の統合の役割を担ってきた。その体制を強化するために石川チーム・倉光チームを重点チームとして、予算の配分を行った。具体的には、研究の進捗に従って必要な研究分野をカバーし実装開発を強化するために上記チームの共同研究グループの強化および外注予算の重点配分を行った。

2. 研究領域および研究総括の選定について

「実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル・オペレーティングシステム」

本研究領域は、今後ますます複雑化、高機能化する次世代の組込みシステム向けのオペ

レーティング・システム (OS) を実現するための研究開発を対象とするものである。ここでは、個々の組込みシステム自身としての高信頼性・応答性等だけでなく、それらが接続される情報システム全体の信頼性・安全性・セキュリティ等を確保するための要求を充足できることが必要であるとの観点に立って、研究開発の対象を定めている。さらに、開発される OS 技術を実際に使用されるものとするために、研究総括の強い統率によって個別の研究成果を統合して実用システムとして実現可能性の実証を目指し、加えて成果をオープンソースの形で提供することとしており、実用化を視野に入れた OS 開発を目指す戦略目標の達成に向けて適切に設定されている。また、上述の通り組込みシステム単独においてのみならず、情報システムに接続された組込みシステムに求められる新しい技術項目をも広く対象としており、戦略目標の趣旨に沿う多くの優れた研究提案が見込まれる。

・研究総括 所 眞理雄

所眞理雄は国内外の大学においてプログラミング言語、コンピュータアーキテクチャ、コンピュータネットワーク等、幅広い分野で研究成果をあげており、並行計算モデルに基づいたオブジェクト指向プログラミング言語の開発などにおいて高い評価を受けている。その後、株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所（以下「ソニーCSL」）において、端末が移動しても継続してインターネット接続が可能な仮想インターネットプロトコル (VIP) の開発や、並行オブジェクト指向に基づいた OS の開発に携わり、それらの成果はプロトコルの標準化や商品での活用につながっている。以上より、所は本研究領域について実用化までを視野に入れた幅広い先見性・洞察力を有していると見られる。また、ソニー株式会社の依頼を受けて所が設立した上記ソニーCSLにて、取締役副所長、代表取締役社長を歴任して次々と新しい研究分野を開拓し、さらにソニー株式会社において執行役員・CTO (IT 分野) として全社的ソフトウェアプラットフォームを確立するなど、研究マネジメントおよび企業経営者としての経験をともに有することから、本研究領域について適切なマネジメントを行う経験・能力を有していると見られる。さらに ACM/IEEE ISCA、ECOOOP のプログラム委員長等を歴任するとともに、総務省情報通信審議会専門委員、日本オープンソースソフトウェア推進フォーラム顧問、日本経団連情報通信委員会委員および産業技術委員会委員、日本 ITU (国際電気通信連合) 協会理事等を歴任しており、関連分野の産学の研究者から信頼され、公平な評価を行いうると見られる。

・副研究総括 村岡 洋一

村岡洋一は、Illiac-IV ソフトウェア開発時におけるループ並列実行のための自動並列化アルゴリズムに関する先駆的研究、データ通信システム DIPS の OS および方式設計の研究および実用化、分散・並列化コンパイラの開発、世界初の Web ページ分散収集型ロボットの開発、Grid 上でオブジェクトの動的移動を可能とする世界初のアルゴリズムの考案・実装など、数々の優れた研究成果をあげており、本研究領域について先見性・洞察力を有し

ていると見られる。また、情報処理学会副会長、電子情報通信学会理事を歴任し、また、早稲田大学の副総長・常任理事の重責を果たすなど、本研究領域について、学を代表する立場から適切なマネジメントを行う経験・能力を有していると見られる。さらに、経済産業省産業構造審議会専門委員、学術振興会委員、文部科学省科学技術会議専門委員などを歴任し、IEEE Computing 誌 Editor、International Journal on High Speed Computing 誌 Editor、Parallel Processing Letter 誌 Editor、International Journal on Parallel Programming 誌 Editor など多くの国際論文誌の発行委員・編集委員を務めるなど、関連分野の研究者から信頼され、公平な評価を行っていると見られる。

本研究領域は、組込みシステム用の OS に関して、実用化可能な技術を開発し、その実証までを目指すことから、学・官の研究者と産業界との情報交換や実際の協働といった連携を図ることが重要であると考えられる。そのため、産業界の経験を有する所眞理雄氏と、学を代表する村岡洋一をともに共同の研究総括とすることが適切である。なお、研究領域の運営上、産を代表しかつ学の経験も有する所眞理雄を「研究総括」と位置づけ、村岡洋一を所眞理雄を補佐する「副研究総括」と位置づけ、共同して研究総括の役割を担うことにより、適切な運営が図られる。

3. 研究総括のねらい

本研究領域は、将来、社会で実際に広範に使用されうる OS 技術を創出するために、個別の研究成果及びそれらを統合したシステムとして研究成果を実用に供する事を目指し、オープンソース化等を行って将来の更なる研究開発の基盤を提供することを目標とした。戦略目標である「高セキュリティ・高信頼性・高性能を実現する組込みシステム用の次世代基盤技術の創出」の必要性は誰もが感じているが、一方で現代のコンピュータシステムはもはや単独で用いられるものでなく、ネットワークにつながれた大規模システムの一要素として存在している。ネットワーク化したコンピュータシステムは人間生活や社会のインフラストラクチャの基盤となっているが、コンピュータソフトウェアを開発し運用していくための研究はこのような複雑化しネットワーク化した環境に対応しているとは言い難いものが多い。

将来のコンピュータシステムの基盤となる技術を研究開発していくためには、従来の考え方の延長ではなく、実世界における問題をしっかりと把握したうえで新たな学問領域をうちたてるような発想で挑戦していく必要がある。本領域では企業が実感している現実の問題点を理解し、それらを解決していくための新たな視点や概念に基づく研究を期待し、その実現を目指している。このような目標は個々の研究機関がそれぞれの得意とする研究分野の研究を進めるだけでは実現できず、領域の研究機関が一丸となって一つあるいはいくつもの大きな課題に挑戦し、その中で研究分野を超えて個々の役割を果たしていくことが重要になる。また、基盤ソフトウェアのように成熟しつつある分野では純粋に技術を追求した研究よりもむしろ実用を強く意識した研究が真に社会に貢献するものと思われる。

本領域では、実用化を研究成果のゴールと定め、かつ個々の研究成果の実用化だけではなく全体を統合した研究成果の実用化を目標とした。

具体的な成果として、アルゴリズムや計算モデルなどの基盤研究の論文発表に留まることなく、実際にシステムを構築するなどによって、その実用可能性を実証することを求めた。すなわち、実用可能性を実証できる形で実現したソフトウェア自身を研究成果と考えた。更には、各研究チームはそれぞれ個別の成果のデモを行うとともに、研究チーム間の協力の下に統合システムとしてのデモを行うこととし、統合されたソフトウェア自身を本研究領域の最終的な研究成果と考えた。また、ディペンダブル・ソフトウェアやディペンダブル OS に関する国際標準への貢献も重要な研究成果と考えた。

上記の目標実現のため、本研究領域では研究総括の強い統率の下で、必要に応じて研究体制の再編や研究の進め方の調整を行うことにより、研究領域内の研究を横断・統合した推進体制をとることとした。チーム間の連携と成果物の統合を支援するために科学技術振興機構直属の研究開発センターとして「ディペンダブル組込み OS 研究開発センター (DEOS センター)」を設立し、研究チームと一体となった活動を行う体制を作ることとした。また実用に供することを実際に示すために、中間評価及び事後評価では、各チームのデモ実演並びに統合デモ実演を必須とした。加えて、研究成果はできる限りオープンソースソフトウェアとして一般に公開していくこととした。実用化を達成するためには領域終了後も成果物の保守やさらなる発展のための活動を継続していくことが必要なことから、コンソーシアムの設立も具体的な目標として掲げた。

基盤ソフトウェア、ツール、ソフトウェア開発プロセスなどの研究や実践が進む中でソフトウェアの脆弱性に起因する問題が散発しているが、上記の目標を持って研究を進めていくことによって、国民生活を支えるに足るソフトウェアの技術の研究の促進と実現への基盤作りが可能であり、これによって世界へ向けての日本の技術の発信ができるものと考えられる。

4. 研究課題の選考について

(1) 募集・選考に当たっての方針

研究開発されたディペンダブル OS は、要素技術としては3年から5年の内に、また、大きなまとまりとしても10年以内に実用に供され、広く世界で使用されるとともに、オープンソースの形で将来の更なる研究開発の基盤を提供することを目指す。従って、利用者や将来の研究開発者が受け入れやすい形で開発することが大切になる。そのためには、オープンソースの OS をベースとして研究開発を行うことが有効な方法であると考えた。ただし、そのような進め方においても、革新的な要素を含みイノベーションに貢献する技術を生み出す研究開発の提案であることが必須である。本研究の成果が実用システムとして利用可能なことを実証して行くためには、個別の研究成果を統合し、実際に応用システムを構築することが必須となる。このためには研究チーム間の連携のみならず、応用システムを持

つ企業との共同研究推進体制の構築や国内外の普及促進団体との連携など、単なる研究を超えた実用化ならびに普及促進のためのあらゆる方策を実施することも必要になる。

平成 18 年度は上記の基本方針に基づいた募集を行い、領域の大きな方針に沿ってディペンダブルなシステムに寄与し成果が実用につながっていく可能性が高いと期待されるもの、領域全体の成果の統合に寄与する技術的可能性を持ち領域全体の研究体制に対応して行けると判断されるチームを採択した。

平成 19 年度は、研究成果の統合に向けた検討ならびに基本アーキテクチャの設計をベースに、組込みシステム向けディペンダブル OS の機能の充実ならびに実用性の向上のための研究課題の提案を募集した。とりわけ、耐攻撃性の向上を目指し、高信頼通信制御技術やアクセス制御技術、高信頼ファイルシステム技術、故障解析技術、ハードウェアセキュリティーモジュールに関連する技術などに焦点をあてた研究課題の募集を行ったが採択に至らなかった。その理由は後に述べる。

平成 20 年度は平成 19 年度に補強できなかった耐攻撃性の向上のための高信頼通信制御技術やアクセス制御技術、高信頼ファイルシステム技術、故障解析技術、ハードウェアセキュリティーモジュールに関連する技術に加え、ソフトウェア検証技術、継続的かつ系統的な改良を可能とするソフトウェア・アーキテクチャ技術やソフトウェア・プロセス技術、安全規格などの国際標準関連技術などに焦点をあてて研究課題を募集した。さらに、20 年度新規採択課題は 18 年度採択課題と独立のものではなく、一体として統一的な最終目標に向かって研究開発を進めるものであることを理解したうえでの研究課題提案を求めた。

(2) 選考の結果

平成 18 年度には研究総括・副研究総括による 2 度のコンセプト説明会を開催し、募集を行った結果 18 件の応募があり、領域の大きな方針に沿ってディペンダブルなシステムに寄与し成果が実用につながっていく可能性が高いと期待されるもの、個別の成果を領域全体として統合できる技術的可能性を持つもの、領域の他の研究チームやユーザ企業などと連携しながら研究を進めていく体制に対応していけると判断されるものから 5 つのチームを採択した。これらのチームは採択決定直後の合宿を皮切りに、領域アドバイザーや研究推進委員からのアドバイスのもとで相互に緊密に連絡を取り、領域の統合目標を設定し、提案課題を修正しつつディペンダビリティに関する概念、基本アーキテクチャ、並びに要素技術の研究開発を進めた。

平成 19 年度の募集に当たって、研究領域の目的ならびにこれまでの進捗状況、今後の進め方についての基本的な考えを応募者に伝えるため、前年度と同様に研究総括・副研究総括出席のもと 2 度のコンセプト説明会を開催し、進捗中の研究内容などの関連資料はホームページで公開した。その結果 5 件の応募があった。選考に当たっては、研究提案が研究としての十分な新規性を備えること、研究実施者がそのアイデアをソフトウェアとして期間内に完成することが十分期待できること、個別の研究成果を前年度に採択した研究チー

ムの成果とも統合してひとつの実用性のあるディペンダブルな組込みシステムを実現するために積極的に貢献する意思があること、を主たる基準として選考を行ったが、残念ながら採択に至る研究提案がなかった。不採択とした研究提案の中には極めて独創性の高いものや研究としての価値が高いものがあったが、実用化を目指した組込みシステム用ディペンダブル OS を構築するとの観点から、不採択とせざるを得なかった。

平成 20 年度もこれまでと同様にコンセプト説明会を開催し、平成 18 年度チームの課題と一体化して統一的な最終目標に向かって研究開発を進めることを理解した提案を求めて研究課題を募集し、9 件の応募があった。これらの中から高セキュリティ技術、ソフトウェア・アーキテクチャ技術、応用システム技術、国際標準関連技術、について高度な提案を行った 4 件を採択した。この結果、平成 18 年度チームと併せて本研究領域の研究を推進するための基本的な研究分野をカバーすることができた。

各研究チームの評価については、領域全体の統合的成果に対する貢献と個々の研究チームのテーマに沿った成果とを共に勘案して評価する、ということを研究代表に対して明確に示した。これにより、従来型のチームごとの研究の展開と同時にチームを横断した領域全体での活動を具体的に推進することができた。

5. 領域アドバイザーについて

領域アドバイザーは、研究課題の選考や採択された課題の研究の進め方について、中間評価、事後評価あるいはシンポジウム等での発表に際し、研究総括・副研究総括に助言等を行う目的で設けられている。当領域の目標を実現するために、それぞれの研究分野の第一人者であるとともに、利用者の視点でも研究テーマを見ることができるように入選した。また、領域の研究成果を実用化に繋げるという点を意識して大学の視点と企業の視点とをバランス良く取り入れるよう努めた。

後で述べるように領域の研究が進展するに従ってその分野のアドバイザーも強化する必要性が出てきたため、その分野の専門家から新たにアドバイザーとして参加を得た。

領域アドバイザー名	現在の所属	役職	任期
岩野 和生	三菱商事株式会社企画業務部 兼 ビジネスサービス部門	顧問	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月
落水 浩一郎	北陸先端科学技術大学院大学 同高信頼組込みシステム教育研 究センター	副学長 特任教授	平成 23 年 5 月～ 平成 26 年 3 月
菊野 亨	大阪学院大学 情報学部	教授	平成 19 年 2 月～ 平成 26 年 3 月
妹尾 義樹	NEC 事業イノベーション戦略本 部 ビッグデータ戦略室	シニアエキスパー ト	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月

田中 英彦	情報セキュリティ大学院大学	学長・教授・情報セキュリティ研究科長	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月
西尾 章治郎	大阪大学大学院情報科学研究科	研究科長・教授	平成 18 年 6 月～ 平成 19 年 12 月
松田 晃一	独立行政法人情報処理推進機構	顧問	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月
安浦 寛人	九州大学	理事（副学長）	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月

実用化を推進するために当領域では領域運営アドバイザーを設けた。企業の役員クラスを領域運営アドバイザーとして迎え、研究成果発表・普及等に関する助言とともに、将来の実用化に向けてのアドバイスやユーザとの橋渡しの役割を依頼した。

領域運営 アドバイザー名	現在の所属	役職	任期
梶本 一夫	パナソニック(株)	所長	平成 21 年 5 月～ 平成 26 年 3 月
戸井 哲也	富士ゼロックス(株)	執行役員	平成 24 年 4 月～ 平成 26 年 3 月
田中 謙	北海道大学大学院	教授	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月
鶴保 征城	学校法人 HAL 東京	校長	平成 18 年 6 月～ 平成 26 年 3 月
貴家 和保	富士ゼロックス(株)	本部長・執行役員	平成 21 年 5 月～ 平成 23 年 3 月
鎌田 富久	(株) ACCESS	取締役 副社長兼 CTO	平成 18 年 6 月～ 平成 22 年 3 月
丸山 好一	NEC ディスプレイソリューションズ(株)	顧問	平成 18 年 6 月～ 平成 22 年 3 月
勝丸 泰志	富士ゼロックス(株)	執行役員	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 3 月
櫛木 好明	松下電器産業(株)	シニアフェロー	平成 20 年 4 月～ 平成 21 年 3 月
菊野 亨	大阪大学	教授	平成 18 年 6 月～ 平成 19 年 1 月

研究開発を進めるにあたってユーザ企業の立場から具体的に意見や要求を提示してもらいながら研究内容にフィードバックしていくために、研究推進委員を設けた。研究推進委員は、研究成果のユーザになる可能性のある企業の技術的なリーダーで、研究テーマをよく理解でき実用に向けて研究開発をどのように進めていったら良いかを研究者と対等に議論できる力を持った方の中から人選し、領域のニーズに応じて適宜メンバーを変えて運営してきた。

研究推進委員は研究者の合宿への参加や、DEOS センターにおける月2回程度の研究者との会議を行って、研究の方向性や実用価値などについて議論や意見交換を行った。

研究推進委員名	現在の所属	役職	任期
浅井 信宏	日本アイ・ビー・エム(株)	ディスティングイ シュット・エンジニ ア	平成18年6月～ 平成26年3月
大野 毅	横河電機(株)	課長	平成20年2月～ 平成26年3月
神谷 慎吾	エヌ・ティ・ティ・データ先端 技術(株)	グループ長	平成25年4月～ 平成26年3月
中川 雅通	パナソニック(株)	グループマネージ ャー	平成20年2月～ 平成26年3月
森田 直	(元)ソニー(株)		平成22年5月～ 平成26年3月
山浦 一郎	富士ゼロックス(株)	グループ長	平成18年6月～ 平成26年3月
横手 靖彦	ソニー(株)	センター長	平成20年4月～ 平成22年3月
横山 和俊	NTTデータ	課長	平成18年6月～ 平成24年10月
柴田 次一	日本電気(株)	グループマネージ ャー	平成18年6月～ 平成22年3月
高澤 真治	日本SGI(株)	チーフLinuxコン サルタント	平成18年6月～ 平成20年7月
上田 理	ソニー(株)	テクニカルマーケ ティングマネージ ャー	平成18年6月～ 平成20年3月

6. 研究領域の運営について

(1) 運営の基本方針

本研究領域では、実用化と将来の更なる研究開発の基盤を与えることを目標とするため、各研究課題の研究成果を統合し、全体システムとして実用に近い形でデモを行い、その有効性ならびに実用性を実証することとした。研究チームの研究の初年度には、研究総括ならびに領域アドバイザーと共に、研究チーム相互の頻繁な議論を行い、全体システム像を明確にし、個々の研究課題の研究開発テーマを再定義し、研究ならびに開発を行った。

各研究チームには、初年度中に再定義された研究計画をもとに中間評価時に成果のデモを行い、その結果によって研究の継続、変更、中止が判断されること、研究の継続や変更を条件に継続と判断された研究課題についても、研究の最終年度における総合的な成果に向けて研究総括ならびに領域アドバイザーと議論を行い、研究開発を進めることを伝え、この方針に基づいた運営を行った。

研究チーム間の緊密な連絡を可能にし、共同作業を効率よく進め、研究開発者・技術者を集結し、あるいはリソースを共用し、想定される利用者等との情報交換を行い、最終的な研究成果をより有益なものにするために平成 19 年 4 月より研究開発センター (DEOS センター) を設置した。DEOS センターにはセンター長、若干名の研究・開発要員を置き、研究開発の一部を研究チームとの連携の下に行い、研究成果を統合し、最終デモを各研究チームと一体になって行った。また、研究成果の広報ならびに利用推進を図ってきた。研究計画書作成に当たっては、DEOS センターの各種機能を有効かつ効果的に利用することとした。DEOS センターの機能は、最終的にはコンソーシアムを設立し、研究成果の国際標準化ならびにその実用化と普及に繋げるようにした。

(2) 運営の状況

領域の発足から凡そ 2 年間をかけて、上記の方針に従いどのようにチーム全体で統合した成果をあげるか、その成果は真に実用に値するものか、実用化を促進するためには何が必要かなどを中心に、領域全体で合宿や全体会議を繰り返し、研究総括の下、研究チーム、領域アドバイザー、研究推進委員が一体となり検討を行った。その結果システムあるいはサービスの視点で技術を評価することの重要性やシステムのライフサイクルを考慮したアーキテクチャの重要性など、後に述べる考え方の基礎が確立した。DEOS センターが発足してからはセンターにおいて産学で連携した議論を繰り返し、社会に役に立つディペンダブルなソフトウェア技術の研究課題と研究を進める方法を追求してきた。

そして 2008 年の夏にそれまでの議論を集約する形でマネージメントプロセス、システムアーキテクチャ、及び要素技術を統合する「オープンシステムディペンダビリティ」のコンセプトに纏められ、2008 年 11 月に開催された「組込み総合技術展 2008 (ET2008)」においてその考え方を初めて発表した。そして、「オープンシステムディペンダビリティ」を実現するためのアーキテクチャ、プロセス、要素技術は本領域の達成目標である高セキュリティ

ティ・高信頼性・高性能な基盤ソフトウェアの創出ならびに実用化に合致していると判断し、これを当領域の主要な研究対象と決めた。

この方針に基づいて 2008 年夏に研究チームを横断する形で石川研究代表を中心に「コアチーム」を立ち上げ、2009 年からは DEOS センターを中心に「オープンシステムディペンダビリティ」実現のためのソフトウェア実装の枠組みとなる「フレームワーク」の開発を開始した。それぞれの研究チームは「並列・分散型システム OS」、「並列システム向けプラットフォーム」、「ユビキタスノード OS」、「情報家電 OS」、「ソフトウェア構築技術」、「実時間 OS」、「利用者指向ディペンダビリティ」、「スクリプトによる継続的な安全確保」、「セキュア OS」という研究テーマに従って研究をすすめた。その結果、課題募集時に掲げた研究課題「アクセス制御機能」、「高速・高信頼処理機能」、「高信頼システム構築技術」、「リアルタイム保証機能」がカバーされ、その中から、ハイバーバイザー、アイソレーション、リアルタイム、マルチ OS、セキュリティ、スクリプト、モニタリング、などの技術が開発され、後に D-RE (DEOS Runtime Environment) と呼ばれる統合実行環境を構成する技術となった。

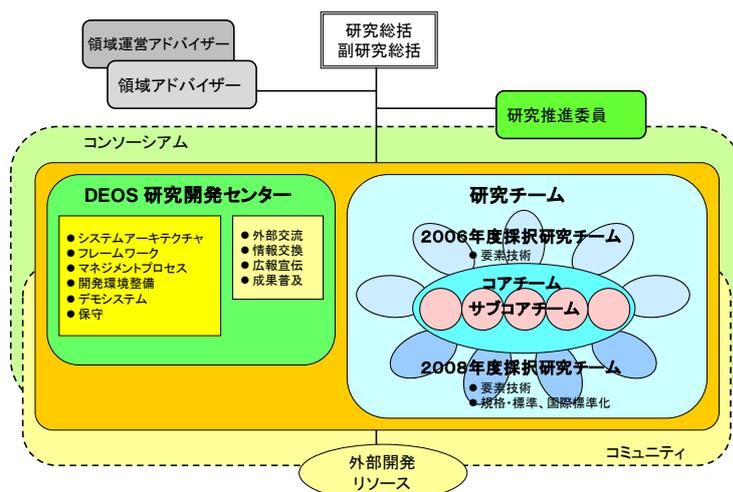


図1 研究開発体制とコアチーム

2010 年 4 月からはコアチームをテーマごとに 6 つのチームに分けて「サブコアチーム」を編成し、それぞれの課題の研究を進めた (図 1)。全体の考え方、目標・方針、進め方、などは DEOS Project White Paper として 2009 年 9 月に Ver. 1、2010 年 10 月に Ver. 2、2011 年 11 月には Ver. 3 として公開した。サブコアチームは以下の構成で 2010 年から 2012 年 3 月まで活動した。

- D-Case & Metrics チーム：ディペンダビリティメトリクスと合意形成の研究
リーダー：松野 裕 (石川チーム、メンバー 9 名)
- EBI チーム：システム監視とエビデンス分析
リーダー：菅谷みどり (倉光チーム、メンバー 6 名)

- VM & Multi-OS チーム：仮想化技術とその応用の研究
リーダー：追川 修一(中島チーム、メンバー9名)
- Systems Software Verification チーム：システムソフトウェア検証の研究
リーダー：前田 俊行(前田チーム、メンバー3名)
- DS-Bench & D-Cloud チーム：ディペンダビリティ計測と評価の研究
リーダー：石川 裕(石川チーム)、佐藤 三久(佐藤チーム、メンバー7名)
- Framework チーム：フレームワーク・アーキテクチャとシステム開発
リーダー：横手 靖彦(石川チーム、メンバー10名)

2011 年からはコアチームに代わって DEOS Process/Architecture チームを発足させ、平成 18 年度採択チームの研究期間終了後の体制を考慮しながら研究を進めた。DEOS Process/Architecture チームは倉光研究代表と横手靖彦研究メンバーを中心に、研究チームから研究代表を含む主な研究メンバー、DEOS センターメンバーなど 20 名あまりが常時参加し、研究総括も参加して月 2 回、それぞれ半日にわたり DEOS センターで会議を行い、統合システムとしての DEOS Process/Architecture の研究を進め、各研究チームの採択時のテーマに基づく要素技術との統合、整合、実用に向けた統合システム開発を行った (図 2)。

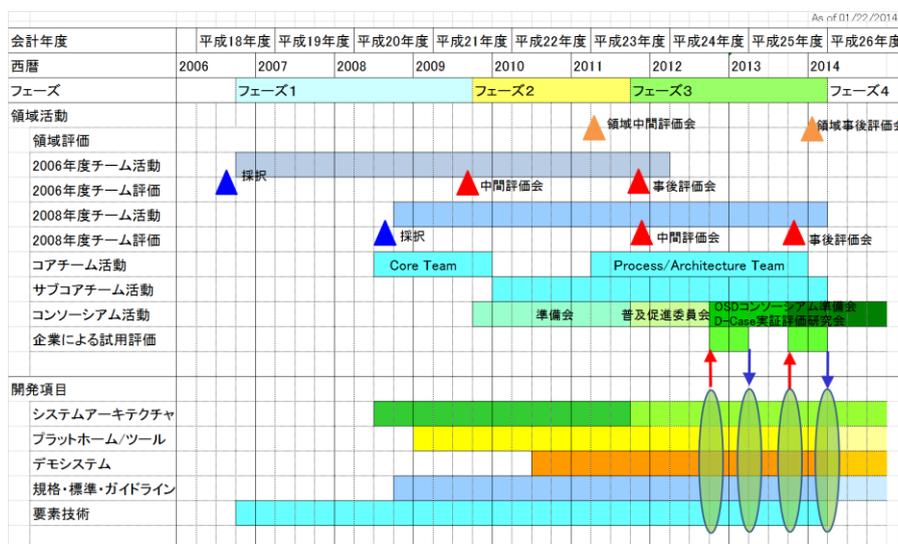


図 2 領域研究開発ロードマップ

領域の成果や進捗状況を広く公開し、フィードバックを得るために、毎年秋に行われる「組み込み総合技術展 (Embedded Technology)」において 2008 年から毎年、特別セッションを設けて講演を行い、また展示を行った。2013 年度の展示に用いられたポスターを参考文献 4 に示す。これらを通じて参加者と積極的に意見交換することにより研究内容の実用化を加速し、賛同者を増やすことができた。

本領域は国際連携についても重点的に推進した。2010 年度にはディペンダビリティ研究

で世界的な重要拠点であるフランスの LAAS-CNRS との共同研究を開始し、DEOS の全体の概念および上記 6 つのサブコアチームの研究項目についての研究の方向性や国際的な研究との位置づけなどの議論を行った。

また、学会での成果報告にも努めた。領域として開催している国際シンポジウムだけでなく、2010 年 1 月に石垣島で行われた IFIP WG10. 4、2010 年 12 月に東京で開かれた PRDC (The 16th IEEE Pacific Rim International Symposium on Dependable Computing) など領域の研究課題を統合した発表を行っている。また、2011 年 6 月には Hong Kong で開かれた DSN (Dependable Systems and Networks) Workshop において当プロジェクトの成果を中心とした第 1 回 WOSD (Workshop on Open Systems Dependability) を開催した。

(3) 中間評価以降の運営の状況

中間評価後も年度ごとの計画は採択時に提案された研究計画と共に、領域全体の統合された成果につながる研究にも人と予算を配分するように指導した。またソフトウェアの開発実施のための外注は可能な限り DEOS センターを通して行うことにより、外注の費用・品質・ドキュメンテーションの整備などの一元管理を行い、成果物の統合と実用化を目指すようにした。年度ごとに承認された予算に関しては、研究の進捗に応じて研究計画が年度途中で変わった場合には追加・削減を柔軟に行って領域を運営してきた。

領域全体の研究が進むに従い、「オープンシステムディペンダビリティ」を実現するためのプロセス、システムアーキテクチャ、及び要素技術に関するソフトウェアエンジニアリングの分野の研究者の増強ならびに、成果を活用した研究開発を進めていくための企業メンバーの増強が必要になった。このため、倉光チームの共同研究グループとして研究者が新たに加わった。領域の研究分野の拡張に伴ってソフトウェアエンジニアリングの専門家に領域アドバイザーに加わって頂いた。

その結果、オープンシステムディペンダビリティの概念の精緻化、DEOS プロセスの深化、柔軟なシステム運用に必須である D-Script や DEOS プロセスの運用の中核となる合意記述データベース (D-ADD) の実応用に向けた開発、セキュリティシステムの D-RE への統合、DEOS プロセス全体のロボットへの応用などが積極的に進められた。

D-Case については、「D-Case & Metrics チーム」が進めてきた議論が富士ゼロックス社との共同研究に発展した。これと並行して、D-Case 実証評価研究会を開催し企業や領域外の研究者が事例を作り実用と研究のための情報交換をしている。また、国際的な貢献並びに普及の加速のために、当該分野における最重要拠点である City University London 及び University of York との交流を開始し、現在に至っている。

これらの研究開発活動に合わせ特許化を推奨した結果、特許化の難しいソフトウェアの分野にもかかわらず、13 件が申請され、すでに 2 件成立している。これらの権利化活動は、以下に述べる標準化ならびに将来の産業化において大きな力を発揮することが強く期待できる。

標準化については、中間評価以降にその活動を活発化させ、ISO/IEC や The Open Group、OMG において成果を挙げている。本研究領域の成果の中でもっとも重要な基本概念である Open Systems Dependability を IEC 62853 として国際標準化を行うための部会が 2013 年 1 月に IEC TC 56(Dependability)委員会に設立され、活動が続けられている。2011 年より活動を行ってきた The Open Group においては、DEOS プロセスを中心に当領域の成果を採用した “Open Dependability Through Assuredness™(O-DA)Framework 標準 V1.0” が 2013 年 7 月に採択され、発表された。また、OMG においては D-Case の管理に必須となると考えられる Machine Checkable Assurance Case の標準化活動が続けられている。

前述の WOSD については、第 1 回に引き続き、2012 年 11 月には第 2 回をテキサス州ダラスで、2013 年 11 月には第 3 回をカリフォルニア州パサディナで、それぞれ ISSRE に併設して開催し、今後も継続してゆきたいと考えている。これらの活動により「オープンシステムディペンダビリティ」および DEOS プロセスの新しい考え方が国際的に理解されてきた。

領域の研究成果を活用するためのコンソーシアムが 2013 年 10 月に設立され、現在、企業 15 社と領域の主な研究員が参加して領域終了後の成果物の活用と標準化・規格化を進める計画をたてている。また、2013 年 11 月に開かれた ET2013 において特別セッションの開催並びに展示がおこなわれ、本領域の最終的な成果がデモとともに示された。これに併せて DEOS プロジェクト研究成果集（参考文献 2）が発行された。2014 年 2 月には東京で領域の最終成果の公開報告会を行う予定である。

7. 研究を実施した結果と所見

コアチームの活動を通じて、組込みシステムのディペンダビリティ実現のために必要な技術の検討を重ねた。その中で、ディペンダビリティの実現には端末側だけを考えれば良いのか、と言う議論が起こり、その結果、バックエンドにあるサーバと連動して動く端末上のプログラムとして捉え、実世界とつながり社会インフラストラクチャを担う事のできる実世界システムを対象として技術開発を行っていくことにした。

この考えを基に、サーバ連動型組込みシステム用ディペンダブル OS としての D-RE (DEOS Runtime Environment)が開発された。D-RE は階層化をベースとし、マルチコア型プロセッサを含む各種のプロセッサ上でリアルタイム OS を含む複数の OS が独立あるいは連携して稼働する環境を提供し、さらにその上で動作するアプリケーションプログラムのためのプロセス隔離機能を備え、OS やプロセスの監視・記録機能、障害回復機能を有する、世界最先端レベルの実行環境を実現した。加えて、ディペンダビリティの向上のためのプログラムの型・モデル検証、障害挿入機能を備えたベンチマークツール、などの高度な研究開発の成果も統合された（図 3）。

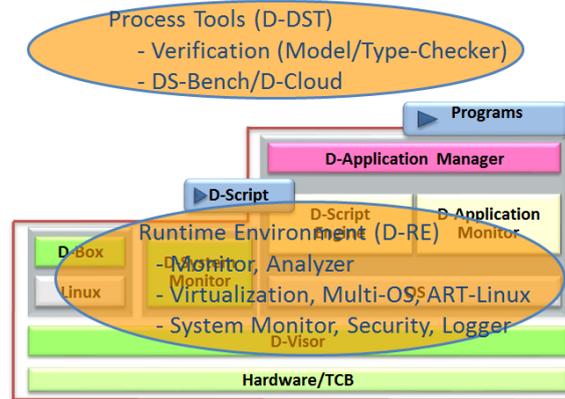


図3 DEOS Runtime Environment

その他、D-RE に統合されなかったが、並列・分散処理技術、高速通信機構、低消費電力技術などのレベルの高い研究成果もあげられた。これらの成果は国際ワークショップ WOSD(International Workshop on Open Systems Dependability)やその他多くの国際会議で発表された。また、これらに関する特許は8件申請された。

これに引き続き、コアチームや DEOS Process/Architecture チームはディペンダビリティとは何か、絶対的なディペンダビリティはありうるのか、などディペンダビリティに関する本質的な議論を行った。その結果、既存のソフトウェア開発、運用プロセスは以下の理由により今後のディペンダビリティの要求に対応できていないことを明確にした。①近年の実世界システムの多くは長期にわたって継続的に利用され、そのライフサイクルにおいてサービス目的の変化、ユーザの要求の変化、技術革新による変化、法規制並びに標準の変化を原因とするシステムの変更がなされる。②それらのシステムはレガシーソフトウェアや出来合いのソフトウェアを含み、またネットワークを介して外部のサービスを利用したり、外部の環境(クラウド環境など)で実行されたりすることがある。③にもかかわらず、ビジネス継続性と説明責任の遂行に関する要求は増大している。

以上の分析に基づいて、変化しつづけるシステムのためのオープンシステムディペンダビリティの概念が提案された。「オープンシステム」は物理学などで用いられる概念であり、システムの機能、構造、境界が時間の経過とともに変化するシステムを言う(図4)。当領域で対象とするソフトウェアはまさにこの性質を持っているため、我々が対象とするディペンダビリティをオープンシステムディペンダビリティと呼ぶ事とした。オープンシステムディペンダビリティの概念はこれまでのディペンダビリティの概念とは一線を画す大きな発展である。我々はオープンシステムディペンダビリティを「継続的に変化に対応でき、サービスを継続的に提供でき、説明責任を全うするための支援を行える」性質として定義した。また、その実現には、変化対応機能、障害回避・迅速対応・再発防止機能、システム要求の合意・証憑・ログデータなどの履歴の管理・保存が必要であることが示された(参考文献1、2、3)。

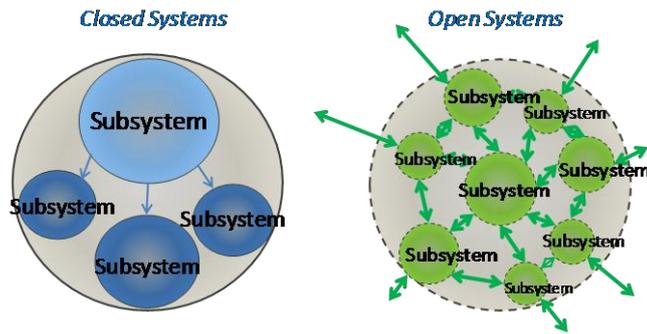


図4 クローズドシステムとオープンシステム

オープンシステムディペンダビリティの概念を実現するために、DEOS プロセスが提案された(図5)。DEOS プロセスは通常運用から始まる変化対応機能を実現する変化対応サイクル、障害回避・迅速対応機能を実現する障害対応サイクル、システム要求の合意・証憑・ログデータなどの履歴を管理・保存する合意記述データベースを主な構成要素とし、①開発と運用を統合した反復的プロセスであること、②再発防止機能を実現するために障害対応サイクルから変化対応サイクルへのパスがあること、を特徴とする斬新かつ有効なプロセスであり、既に特許として成立している。

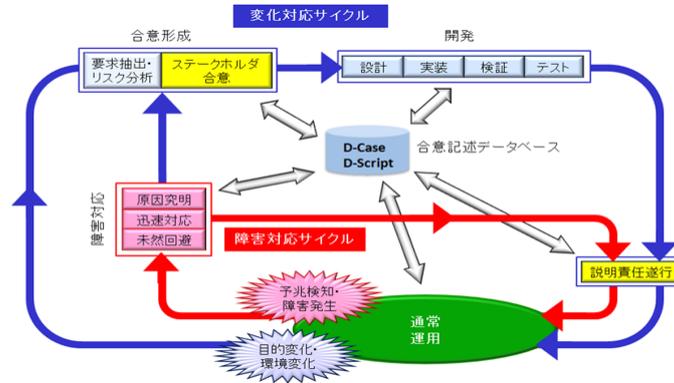


図5 DEOS プロセス

また、DEOS プロセスにおいて、要求とその実現方法についてステークホルダが確信を持って合意し、これを記述するためにD-Case手法が考案された。D-Caseは開発と運用に共通に利用できる初めての Assurance Case 記法であり、前述の特許の請求項目に含まれている。関連ツールも開発されており、実利用が始まっている。D-Case 記述や証憑、ログデータの履歴を含む膨大なデータを蓄積して DEOS プロセスを実践する中心的役割を果たす D-ADD の開発も行われ、DEOS プロセスの実用化への準備が整った。加えて、システムの柔軟な運用を実現する D-Script の研究及び開発が行われ、D-ADD に統合された。また、新たなセキュリティシステムの D-RE への統合もおこなわれた。これらは DEOS プロセスを実践するため

の DEOS アーキテクチャとして統合された (図 6)。DEOS アーキテクチャは、図 6 の左下に示された D-ADD を中心とし、図の上方に示された開発時に用いられるツール群と右下に示される実行環境 D-RE をその主要な構成要素としている。

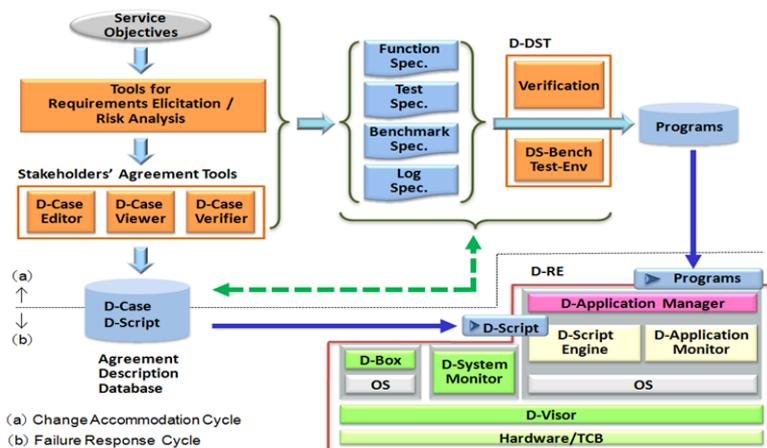


図 6 DEOS アーキテクチャ

これらの研究開発と並行して、ロボットや自動車などを対象とした D-Case や DEOS プロセスの応用がなされ、本領域が考案した概念、方法、技術の有効性が示された。これらの成果も WOSD その他の国際会議で発表された。DEOS プロセスに関連した分野では上述の特許を含む 5 件の特許が申請され、2 件がすでに成立している。

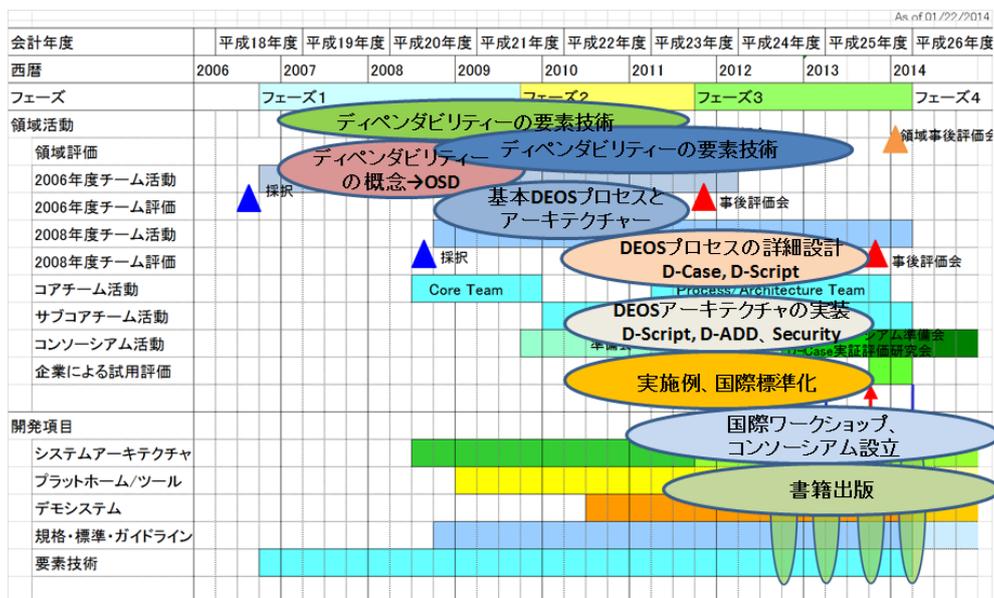


図 7 最終成果物

主な成果物を時間経過とともにまとめたものを図 7 に示す。ソフトウェアのほとんどが

オープンソースソフトウェアとしてすでに公開されている。特段の記述の無いものは DEOS センターホームページからダウンロード可能である。詳細は DEOS プロジェクト研究成果集 (参考文献 2) を参照いただきたい。

D-Case Tools

- ステークホルダ合意形成支援ツール(D-Case Editor)
- Web ブラウザ版 D-Case Editor(D-Case Weaver)
- パワーポイント用 D-Case ステンシル(D-Case Stencil)
- D-Case 整合性検査ツール(D-Case/Agda)
- D-Case モデリング環境連携(D-Case OSLC)

D-ADD

- DEOS Process/D-Case を支えるリポジトリ(D-ADD)- 公開準備中

D-Script

- アプリケーションプログラム動的制御 Script (Konoha)- 横国 HP にて公開中

D-DST

- ソフトウェア検証ツール(モデル検査器)
- テスト支援ツール(DS-Bench/Test-Env (DS-Bench/D-Cloud))

D-RE

- シングル IP アドレスクラスタ(Dependable Single IP Address Cluster(SIAC))
- 仮想マシンモニタと OS 監視ツール(D-Visor + D-System Monitor))
- 改竄検知機能付き記録装置(D-Box)
- システムレコーダー(System Recorder)
- DEOS を実現するサービスを提供するための実行環境 (DEOS Runtime Environment (D-RE))
- 実時間 Linux (ART-Linux)- 産総研 HP にて公開

国際標準も重要な研究成果である。IEC/ISO では領域の研究者が IEC TC56 の中心的なメンバーとして参加して活動を進め、オープンシステムサイエンスの概念そのものを IEC 62853 Open Systems Dependability として標準化すべく活動が進めている。また、ISO/IEC JTC1/SC7 においても関連した規格化活動に参加している。また、The Open Group では RTES 部会において標準化活動が行われ、DEOS プロセスの考え方を中心とした “Dependability through Assuredness™ (O-DA) Framework 標準 V1.0” が制定され、2013 年 7 月 15 日に発表された。加えて、OMG においては D-Case in Agda をベースとした “Machine Checkable Assurance Language” を提案して審議を進めている。

以上まとめると、本研究領域の研究開発は、要素技術およびソフトウェアの開発に関して、当領域の戦略目標に基づいた研究開発が行われ、D-RE としてまとめられ、当初の目標が達成された。これと並行して、今後の実世界システムにおけるディペンダビリティに関する要求を根本から議論することによって、変化しつづけるシステムを対象とした新しい

ディペンダビリティの概念であるオープンシステムディペンダビリティが提案され、その実現のための DEOS プロセスならびに DEOS アーキテクチャが考案され、これらに関連した D-Case、D-ADD、D-Script、セキュリティ技術、それらのためのツール群の研究開発が行われた。ロボットや自動車などを対象とした D-Case や DEOS プロセスの応用も行われ、本領域が考案した概念、方法、技術の有効性ならびに実用性が示され、本研究領域の当初の目標を超えた大きな成果を出すことができた。これらの成果の主要な部分が IEC/ISO、The Open Group、OMG などにおける標準化活動により、国際標準規格として制定されつつある。また、WOSD や当領域が主催したシンポジウム、さらには多くの国際会議での講演を通して、オープンシステムディペンダビリティの考え方や DEOS プロセス、D-Case などについて国際的に認知されるようになった。また、研究成果の普及とさらなる発展のために一般社団法人ディペンダビリティ技術推進協会（略称 DEOS 協会）が設立されて、企業における成果の活用が進められている。

オープンシステムディペンダビリティの考え方及びそれを支える技術は ITC の世界に限らず多くの分野において、変化しつづけ長期的に運用される巨大で複雑な複合システムのディペンダビリティ向上の重要な技術になっていくことが期待できる。今後もオープンシステム工学およびその重要な手法として発展していくことを期待している。

8. 総合所見

ソフトウェアは巨大化・複雑化し、近年ではそれらは相互に接続されてサイバー・フィジカルシステムとして我々の生活を支えるインフラストラクチャを構成するようになってきている。しかるに、ソフトウェアあるいはソフトウェアを含むシステムのディペンダビリティの向上は現在そして今後の最重要課題であると言っても過言ではない。本研究領域はまさにその要求に応える重要な成果を挙げる事が出来たと考えている。

以下当領域の成果による科学技術の進歩および社会・経済の発展に対する重要な貢献をまとめる。

(1) 科学技術の進歩に貢献する成果（科学技術のブレークスルー、フロンティア開拓等）

- 1) これまでのクローズドシステム に対するディペンダビリティの手法を根本的に変えるオープンシステムディペンダビリティの概念を考案し、これに基づいて DEOS プロセスならびに DEOS アーキテクチャを開発し、これらを統合して、オープンシステムのためのディペンダビリティ工学（DEOS）を提唱した。これにより、変化する環境の中で変化しつづけるシステムのディペンダビリティの向上に対する考え方と手法を初めて世に示した。
- 2) DEOS プロセスの重要な要素である合意形成のための手法・ツールとして D-Case を開発した。D-Case はシステムの開発・変更と運用を統合的に記述できる世界初の手法・ツールであり、普及が始まっている。

(2) 社会・経済の発展に貢献する成果

- 1) オープンシステムディペンダビリティの概念にもとづく DEOS は、それぞれのシステムのディペンダビリティの向上を達成できるだけでなく、独立に開発されたシステムを統合し、あるいは相互運用した場合のディペンダビリティの向上を達成できる。これにより、今後のわれわれのインフラストラクチャを支えるソフトウェアのディペンダビリティ向上に大きな貢献ができる。
- 2) これを加速するために、IEC/ISO、The Open Group、ならびに OMG において国際標準化を進めており、既に The Open Group では Open-Dependability Through Assuredness™ (O-DA) Framework が制定されている。IEC においては OSD の概念そのものが IEC 62853 として標準化されるべく活動が進められている。また、普及並びに今後の発展のために一般社団法人ディペンダビリティ技術推進協会（略称 DEOS 協会）が設立されている。
- 3) 本研究領域の成果はソフトウェアのみならず、多くの対象領域に適用できる。そのために、コンソーシアムを通して多くの団体との交流を始めており、多くの分野で発展することが期待できる。

本研究領域の運営において領域横断的なタスクフォースを作り、研究目標を再定義し、それに向けた研究をチームの枠を超えて遂行するという新しい試みを行った。また、研究チームが相互に議論を行う場を提供し、研究成果の統合を行うために、DEOS 研究センターを設立した。その結果、研究者が一丸となって斬新かつインパクトのある大きな成果を出し、当研究領域の戦略目標に合致し、当初の研究開発目標を大きく超えた「オープンシステムのためのディペンダビリティ工学」という新しい研究分野を創造する事ができ、また、これを実現するための十分な実用性を備えた DEOS プロセスならびに DEOS アーキテクチャを開発することができた。

本研究領域の成果が学術界においてさらに発展し、ディペンダビリティに関する国際標準に貢献し、ソフトウェアをはじめとする広範なシステムのディペンダビリティ向上に貢献し、経済産業の発展に寄与することを心から期待する。

9. 参考文献

1. M. Tokoro (ed) Open Systems Dependability - Dependability Engineering for Ever-Changing Systems. CRC Press, 2012.
2. DEOSプロジェクト研究成果集 DEOS-FY2013-SS-01J, 2013/11/15.
(<http://www.dependable-os.net/osddeos/data/DEOS-FY2013-SS-01J.pdf>)
3. 所真理雄 編著. DEOS - 変化しつづけるシステムのためのディペンダビリティ工学. 近代科学社, 2014年5月(予定).
4. DEOSポスター集. 2013年11月.

以上